

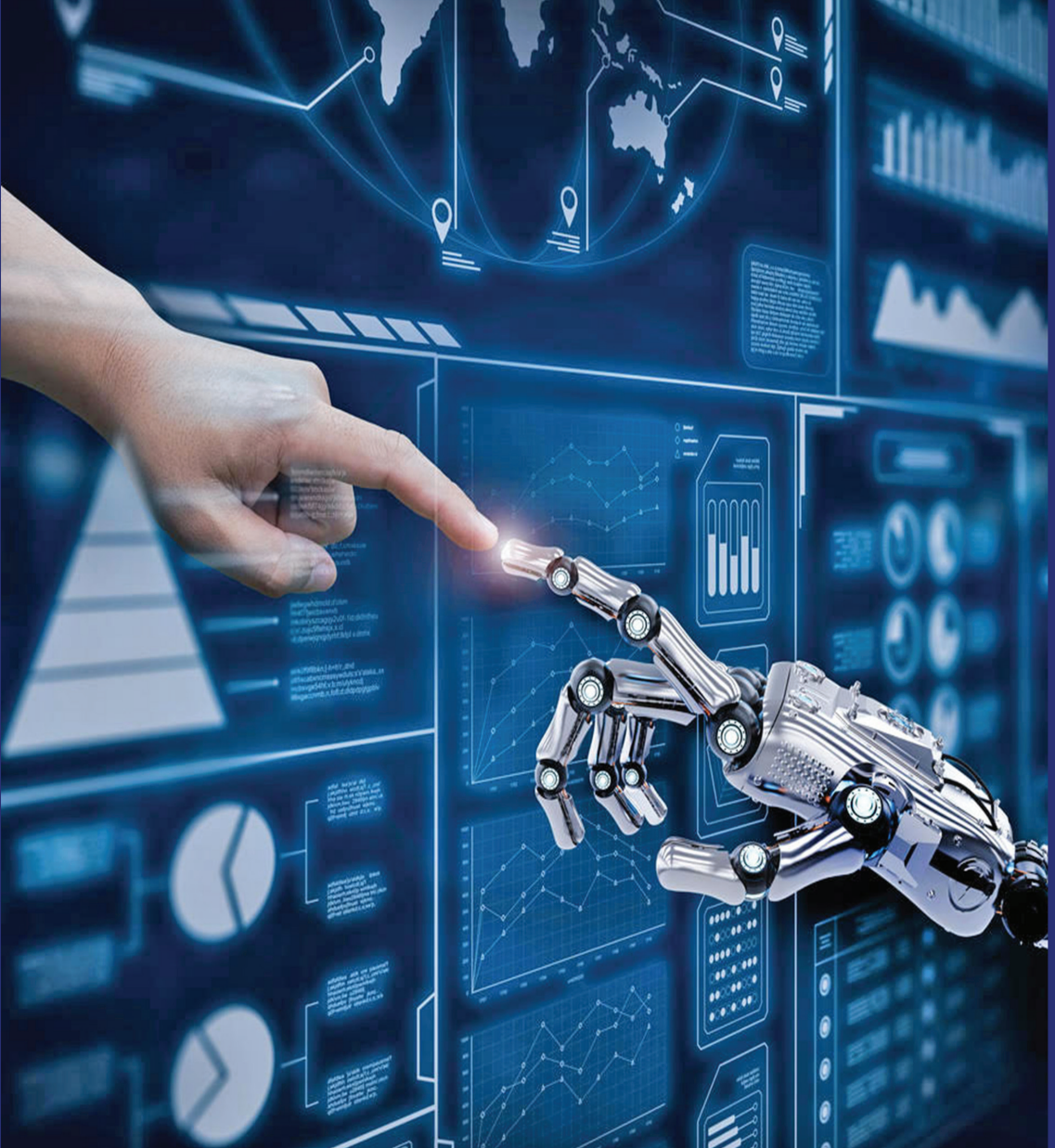
TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Prof. Dr. Rakesh JAIN

Dr. Öğr.Üyesi Senai YALÇINKAYA



TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Prof. Dr. Rakesh JAIN

Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Prof. Dr. Rakesh JAIN

Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları: 16/2022
20 ARALIK 2022

Yayıncı Sertifika No: 52866

E-ISBN: 978-625-7367-38-7

Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları

Bu bilimsel kitabının her türlü yayın hakkı GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI'na aittir. Yayınevinin yazılı izni olmadan, bilimsel/akademik kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayını, çoğaltımı ve dağıtımını yapılamaz. **Kitapta yer alan her bölüm ve makalenin sorumluluğu, görseller, grafikler, direkt alıntılar ve etik kurul ve kurum iznine yönelik sorumluluk ilgili yazarlara aittir. Bu yönde Oluşabilecek Herhangi Hukuki bir olumsuzlukta Yayınevi başta olmak üzere kitabın hazırlanmasına destek sağlayan kurumlar, kitabın düzenlenmesi ve tasarımından sorumlular kurum(lar) ve kitap editörleri, hakemler, düzenleme kurulu, bilim kurulu ve diğer kurullar ile yayınevi hiçbir konuda "maddi ve manevi" bir yükümlülük ve hukuki sorumluluğu kabul etmez ve etmesi istenemez; hukuki yükümlülük altına alınmaz. Her türlü hukuki yükümlülük ve sorumluluk "maddi ve manevi" yönden ilgili bölüm yazar(lar)ına aittir. Bu yöndeki haklarımızı maddi ve manevi yönden GÜVEN PULUS GRUP DANIŞMANLIK "YAYINCILIK" A.Ş. olarak ve kitap bilim/editörler kurulları adına saklı tutarız. Herhangi bir hukuki sorunda/durumda İSTANBUL mahkemeleri yetkilidir.** Güven Plus Grup Danışmanlık bünyesinde hazırlanan ve yayınlan bu eser ISO: 10002:2014-14001:2004-9001:2008-18001:2007 belgelerine sahiptir. Bu eser TPE "Türk Patent Enstitüsü" tarafından "Güven Plus Grup A.Ş.2016/73232" ve "2015/03940" nolu tescil numarası ile markalı bir eserdir. Bu bilimsel/akademik kitap ulusal ve uluslararası nitelikte olup, İstanbul Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü İstanbul Basma Yazı ve Resimleri Derleme Müdürlüğü'nün Sayı: 37666426-207.01[207.02.02]-E.62175 Tarih: 21.01.2019 bilgileri ile resmi olarak belgelendirilmiştir. **"2019 yılı akademik teşvik kriterleri kapsamında olup, 17/01/2020 tarihi ve 31011 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 16/1/2020 tarihli ve 2043 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı Uyarınca ilgili yayınlanan yönetmelik kapsamında değerlendirilmekte"** olup, akademik teşvik kriterlerini karşılamaktadır. Çok bölümlü ve yazarlı olan bu bilimsel kitabı E-ISBN'li olup Kültür Bakanlığı Milli Kütüphaneler tarafından ve 18 Farklı Dünya Ülkesiyle Anlaşmalı olan Milli Kütüphanenin E Erişim sistemi tarafından da taranmaktadır. Bu kitap maddi bir değer ile alınıp satılamaz. Kitap yer alan bölüm, makalelerden alıntı yapmak ve ilgili bölüm ile makaleye atfı yapılmak koşulu ile kaynak gösterilmek üzere bilimsel ya da ilgili araştırmacılar tarafından kullanılabilir. **Yayın evimiz ve kitap editörler kurulu kişisel verilerin korunması ve özel hayatın gizliliği kanunlarına uygun hareket eder. Bilimsel kitap bölüm yazarlarının da bu yönde hareket etmesini zorunlu kılar. Kişisel verilerin korunmasına ilişkin olarak işbu akademik/bilimsel kitabına sahip olan bireylerin ilgili kanun, yönetmelik ve uygulamalara göre hareket etmesi bir zorunluluktur. Bunun aksi hareket edenler hakkında oluşan hukuki, maddi ve manevi sorun ile zorunlulukları peşinen kabul etmiş sayılır.**

Metin ve Dil Editörleri

Doç. Dr. Gökşen ARAS (Türkçe – İngilizce)

Dr. Öğr. Üye. L. Santhosh KUMAR (İngilizce)

Kapak ve Grafik Tasarım

Öğr. Gör. Ozan KARABAŞ

Ozan DÜZ

Sayfa Düzeni

Burhan MADEN

Baskı-Cilt

GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®

Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul Tel: +902128014061- 62 Fax:+902128014063 Mobile:+9053331447861

KİTAP İMTİYAZ SAHİBİ

GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®

Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul Tel: +902128014061-62-63 - +905331447861 info@guvenplus.com.tr, www.guvenplus.com.tr

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	4
KALP HASTALIĞI TESPİTİNDE SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	6
<i>Güneş HARMAN</i>	
34CrNiMo6 MALZEMESİYLE YAPILAN GELİŞMELER.....	28
<i>Gözde ALTUNTAŞ, Bülent BOSTAN</i>	
PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI	53
<i>Mustafa GÖKTAŞ, Abdulmecit GÜLDAŞ</i>	
EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI.....	89
<i>Adem Yasin ÇIPLAK, Ayşe Sevcan BİLGİN, Ali KULLUKÇU</i>	
BEBEK HAZIR GIYİMİNDE DÜŞÜK FORMALDEHİT MİKTARINI TESPİT EDEBİLEN HASSAS ALGILAMA YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ.....	105
<i>Reyhan DÖŞEME</i>	
BULANIK AHP VE TOPSIS METODLARI İLE E-TİCARET REKABET STRATEJİSİ SEÇİMİ.....	132
<i>Mahmut Mahir KURT, Osman YAZICIOĞLU</i>	
GEMİ DİZEL MOTORLARINDA AMONYAK KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	154
<i>Kubilay BAYRAMOĞLU</i>	
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA MEYDANA GELEN GELİŞMELER	181
<i>Mustafa Raşit TURGUT, Senai YALÇINKAYA</i>	
ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA	202
<i>Mehmet ÖZDEMİR, Ayhan ONAT</i>	
GAZ METAL ARK KAYNAĞINDA ETKİNLEŞTİRİCİ TOZ KULLANIMI.....	251
<i>Memduh KURTULMUŞ</i>	
YANMA OLUĞU DERİNLİĞİ VE UZUNLUĞUNUN KAYNAK STATİK GERİLME YIĞILMASINA VE SÜNEKLİĞİNE ETKİLERİ.....	272
<i>Memduh KURTULMUŞ</i>	
KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME.....	294
<i>Yalçın BOZTOPRAK, Ebru KAYMAZ</i>	

ÖNSÖZ

Dünyamızda doğa, sağlık, sosyal vb. alanlarda birçok olumsuzluk yaşanırken; bunların ve diğer problemlerin çözümüne yönelik olarak genel anlamda en-düstride de teknolojik gelişmeler zorunluluk halini almaktadır. Kalite rekabeti, konfor arzusu, korku ve endişenin de tetiklediği teknolojik gelişmeler, takipte zorlanılacak derecede ve çok sayıda yüzleştığımız bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda yapılan akademik çalışmalar; kimi zaman açık erişimli siteler, kimi zaman da kongre, panel, süreli yayınlar ve bilimsel kitaplar şeklinde muhataplarıyla buluşturulmaktadır.

Biz de, birbirinden kıymetli akademisyenlerin araştırmalarını kapsayan, yirmi altı farklı bölümden oluşan “Teknolojik Gelişmeler ve Mühendislik Uygulamaları” adını verdiğimiz bu akademik kitap çalışması ile çorbada tuzumuz olsun istedik. Bu kitabı; yayınlarının önemli bir bölümünü akademik kitaplardan oluşan, Ulusal ve Uluslararası alanda nitelikli faaliyetleriyle oldukça saygınlık kazanmış olan “Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları” aracılığı ile siz değerli bilim insanları ve en-düstri çalışanlarının hizmetine sunuyoruz.

Bu kitap, birçok mühendislik konuları ve deneysel çalışmalar ile uygulama yapılmış akademik konulardan meydana gelmiştir.

Bu kitapta:

Modern Motorlarda Meydana Gelen Gelişmelerden başlayarak, Toz Enjeksiyon Kalıplama Metodu, Gemi Dizel Motorlarında Amonyak Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlar, Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma, Isı Pompası Sistemleri, 34CrNiMo6 Malzemesiyle Yapılan Gelişmeler ve Bulanık Ahp ve Topsis Metotları ile E-Ticaret Re-

kabet Stratejisi Seçimine kadar birçok önemli konuda değerli araştırma ve deneysel çalışmaları bulacaksınız.

Mühendislik teknolojilerinin birçok ilgi çekici konularına değinilen bölümlerin yer aldığı kitabın, çok sayıda araştırmacının akademik çalışmalarına ışık tuta-cağına, Yükseköğretim Kurumu kataloglarında, kamu kütüphanelerinde ve kişisel arşivlerde oldukça değerli bir yer bulacağına inanıyoruz.

Uzun zaman alan ve büyük bir titizlikle yapılan çalışmaların sonucu olarak ortaya çıkan bu önemli eserin gerçekleşmesinde emeği geçen saygıdeğer editörlerimize, yazarlarımıza, hakemlerimize ve kitabımızı edinen siz sevgili okurlarımıza teşekkürlerimizi sunarız. Aralık 2022.

Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Prof. Dr. Rakesh JAIN

Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

KALP HASTALIĞI TESPİTİNDE SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Güneş HARMAN¹

Öz: Denetimli Öğrenme yöntemlerinden *k-en Yakın Komşuluk*, *Yapay Sinir Ağları*, *Destek Vektör Makineleri*, *Naive Bayes sınıflandırıcısı*, *Karar Ağaçları sınıflandırıcısı* ve *Lojistik Regresyon* yöntemleri girdi olarak verilen bilgiler aracılığıyla test sonuçlarını doğru bir şekilde sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Bu yöntemleri insan sağlığını ciddi şekilde etkileyen hastalıklar üzerinde tanı ve sınıflandırma amacıyla kullanılmasıyla, tanı hızını arttırmak ve hastalıkların risk faktörlerinin o hastalık üzerindeki etkilerini doğru yorumlamak hem zamandan hem de iş gücünden kazanç sağlamak açısından önem arz etmektedir. Kalp hastalıkları, dünya genelinde insan ölümlerinde en çok karşılaşılan sebeplerin başında gelmektedir. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen sınıflandırma yöntemleri kullanılarak kalp hastalarının doğru sınıflandırılması ve hastalığa sebep olan risk faktörlerinin hastalık üzerindeki etkisinin öğrenilmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda *Anjina* geçmişi yani kalbe yetersiz kan ve oksijen gelmesi sonucu oluşan ağrıyı ifade eden terim, yaş ve göğüs ağrısının, hastalığı doğrudan etkileyen risk faktörlerinin başında geldiği belirlenmiştir. Sınıflandırma sonucunda ise Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve Naive Bayes sınıflandırıcısı ile eğitilen modellerden daha yüksek verim elde edildiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kalp Hastalıkları, Sınıflandırma Yöntemleri, Denetimli Öğrenme, Yapay Sinir Ağları

1 Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yalova / Türkiye, e-mail: guenes.guclu@yalova.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-5413-124X

GİRİŞ

Kalp, dolaşım sistemindeki damarlar yardımıyla kan pompalayan kaslı bir organdır. Pompalanan kan vücuttaki dokulara oksijen ve besin taşıırken karbondioksit benzeri atıkları da akciğerlere iletir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre kalp hastalıklarını içeren kardiyovasküler hastalıklar, dünya genelinde ölüm nedeni olarak ilk sıralarda yer almaktadır. Bu hastalıklar kalp ve kalp damarlarının bir grup rahatsızlığıdır. Ritim bozuklukları, kalp kası hastalıkları, koroner arter gibi kalbin çalışmasını etkileyen bir dizi durum sonucunda meydana gelmektedir. Kalp hastalıklarında teşhis için elektrokardiyografi (EKG) ve kan testlerinin yanı sıra kolesterol, kan şekeri, tansiyon, kalp atış hızı gibi vücutta ölçülen çeşitli değerler kullanılmaktadır. EKG, cilde yerleştirilen elektrotlar yardımı ile kalbin ritmini ve elektriksel aktivitesinin zamana bağlı değişiminin kaydedilmesini sağlar. EKG sonucunda elde edilen grafik üzerinden kalbin performansı değerlendirilir.

Gelişen teknolojiyle birlikte sağlık alanında daha verimli sonuçlar elde etmek için klinik yöntemlerin yanı sıra bilgisayar sistemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Hastaların bilgileri, teşhisler, rapor sonuçları, tıbbi test görüntüleri veri tabanlarında kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Günümüzde makine öğrenimi yöntemleri de gelişimini sürdürmektedir. Makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak eğitilen sistemler, eğitim aşaması sonrasında girilen test verileri üzerinde mantıklı tahminlerde bulunmak, çeşitli sınıflandırma problemlerinde doğru sınıflandırmayı yapabilmek ve regresyon problemlerinin çözümünde kullanılabilirler.

Sağlık alanında erken teşhis, insan sağlığını doğrudan etkilediği için diğer problemlere nazaran daha çok önem arz etmektedir. Bu sebeple makine öğrenimi yöntemlerinin bu problemin çözümünü sağlamak için günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Makine öğrenmesinde denetimli öğrenme yöntemleri, oluşturulan bir modeli eğitim verisi ile eğittikten sonra test verisini eğitilen modele göndererek doğru sınıflandırmalar yapabilmeyi amaçlamaktadır.

(Golande ve Kumar, 2019) yaptıkları çalışmada kalp hastalığının sınıflandırılmasında kullanılabilecek çeşitli makine öğrenmesi algoritmalarını incelemiştir. Sınıflandırma için kullanılabilecek Karar Ağaçları, K-en Yakın Komşu (KNN) ve K-Means algoritmaları ile sınıflandırma yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda Karar Ağaçları ile elde edilen doğruluk oranlarının en yüksek doğruluk oranını verdiği gözlemlenmiştir. Farklı tekniklere ek olarak parametre ayarlarının değiştirilmesiyle verimli hale getirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bir başka çalışma (Nagamani vd., 2019) *MapReduce* algoritmasıyla birlikte madencilik tekniklerini kullanan bir sistem test edilmiştir. Elde ettikleri doğruluk, *Bulanık Yapay Sinir Ağı* kullanılarak elde edilen doğruluktan daha yüksek olmuştur. Doğrusal ölçekleme kullanılması ile kullanılan algoritmanın doğruluğu iyileştirilmiştir. Ayrıca (Alotaibi, 2019) kalp hastalığı üzerinde beş farklı algoritmayı karşılaştırmıştır. Karşılaştırma aracı olarak Rapid Miner kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Matlab ve Weka araçlarıyla kıyaslamıştır. Rapid Miner kullanıldığında diğerlerine göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, Rastgele Orman, Naive Bayes ve Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritmalarının karşılaştırıldığı çalışmada en yüksek verim Karar Ağacı algoritmasıyla elde edilmiştir. (Repaka vd., 2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada, veri sınıflandırılması için Naive Bayes ve hastalık tahmininde güvenli veri akışı için Gelişmiş Şifreleme Standardını (AES) kullanan bir model önermiştir. (Thomas ve Pricny, 2016) ise kalp hastalığı tahmini için dört farklı algoritmayı karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Sınıflandırma yöntemleri olarak Naive Bayes, K-en Yakın Komşu (KNN), Karar Ağacı ve Yapay Sinir Ağları (YSA) seçilmiştir ve doğruluk oranları, farklı sayıda öznitelik kullanılarak analiz edilmiştir. Bir başka çalışmada ise (Nagarj vd., 2019) Naive Bayes sınıflandırıcısı ve Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanarak kalp hastalığı tahmininde bulunmuşlardır. Analizde performans ölçütü olarak *Ortalama Mutlak Hata*, *Toplam Hata Karesi* ve *Ortalama Kare Hatası* seçilmiştir.

Sonuç olarak Destek Vektör Makineleri (DVM)' nin doğruluk açısından Naive Bayes'e göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca (Takçı., 2018) yaptığı çalışmada İkili Lojistik Regresyon, Polynominal Destek Vektör Makineleri, CRT, Lineer Destek Vektör Makineleri doğ-

rusal olmayan Radial Basis Function (RBF) fonksiyonlu Destek Vektör Makineleri, Sigmoid Destek Vektör Makineleri, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Multinomial Lojistik Regresyon, Naive Bayes, ID3 ve C4.5 algoritmaları, öznitelik seçimi yapılmadan ve yapıldıktan sonra elde edilen doğruluk değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda öznitelik seçimi yapıldıktan sonra gerçekleştirilen sınıflandırmaların daha yüksek başarımları gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında ID3 ve Polynomial DVM algoritmalarının ise öznitelik seçimi sonucunda doğruluk değerlerinde bir değişiklik olmadığı ve aynı sonuçları verdiği sonucuna ulaşılmıştır. (Mienye vd., 2020) yaptıkları çalışmada KNN, Lojistik Regresyon, DVM, Rastgele Orman, Lineer Diskriminant Analizi (LDA), Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (CART) ile Topluluk Öğrenme Metodu karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre en yüksek başarıyı gösteren model topluluk öğrenmesi modeli, en düşük başarıyı gösteren model ise KNN olmuştur. (Punith vd., 2020) yaptıkları çalışmada ise kalp hastalığı tahmini için Naive Bayes, DVM, Karar Ağacı, Rastgele Orman, KNN ve Lineer Regresyon modelleri kullanılmıştır. En yüksek başarıyı elde eden model Rastgele Orman olurken KNN modeli en düşük verim gösteren model olmuştur. Son olarak (Purusothaman ve Krishnakumari., 2015) yaptıkları çalışmada Karar Ağacı, KNN, YSA, DVM, Naive Bayes, Hibrit yaklaşım ve Birlikte Kuralı yöntemleri karşılaştırılmıştır. En yüksek başarımlı Hibrit Yaklaşım modelinde elde edilmiştir. En düşük verim ise KNN modelindedir.

Bu çalışmada, kalp hastalığı şüphesiyle çeşitli klinik testlerden geçen insanların verilerini içeren veri seti üzerinde makine öğrenimi yöntemlerinden Naive Bayes sınıflandırıcısı, k-En Yakın Komşu (KNN), Karar Ağaçları sınıflandırıcısı, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak, bu yöntemlerin kalp hastalığı tespitinde gösterdikleri performanslar ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

VERİ SETİ ve DENEYSEL YÖNTEMLER

Veri Seti Öznitelikleri

Bu çalışma kapsamında, kardiyoloji raporlarından oluşturulan UCI kalp hastalığı veri seti kullanılmıştır. Kullanılan kalp hastalığı veri seti

KALP HASTALIĞI TESPİTİNDE SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

14 öznitelik ve 303 örnek içermektedir². Kullanılan veri setindeki 14 öznitelik kalp hastalığı üzerinde etkisi olan risk faktörlerinden oluşmaktadır. Öznitelikler veri setinde, Tablo 1’de gösterildiği gibi yer almaktadır. Öznitelikler yaş, cinsiyet, EKG sonuçları, açlık kan şekeri, kolesterol seviyesi, dinlenmiş haldeki tansiyon, anjina geçmişi, göğüs ağrısı tipi, ST segment tepe noktası, ST segmentinin tepe noktası eğimi, maksimum kalp atış hızı, büyük damar sayısı ve talyum stres testi değerlerinden oluşmaktadır.

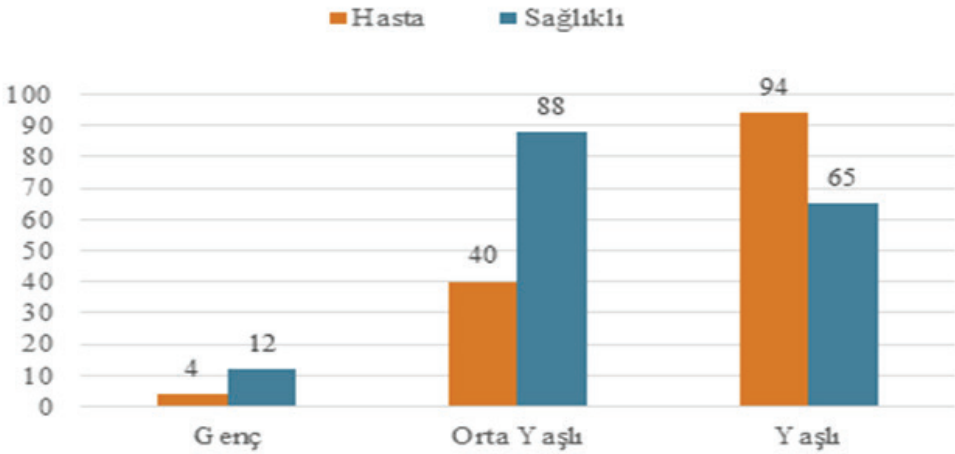
Tablo 1. Öznitelik Dağılımı

No.	Öznitelik Tanımı	Değerler
1	Yaş: Kişinin yaşı.	29 ile 77 arasında nümerik değerler.
2	Cinsiyet: Kişinin Cinsiyeti.	Erkek, Kadın
3	Göğüs ağrısı: Kişinin göğüs ağrısı tanımlar. 4 farklı değer ile temsil edilmektedir.	Tipik, atipik, asemptomik, anjinal olmayan
4	Dinlenmiş haldeki tansiyon: Kişinin istirahat halinde iken ölçülen kan basıncı.	94 ile 200 arasında mg/dl cinsinden nümerik değerler
5	Kolesterol: Kişinin kolesterol seviyesi (mg/dl cinsinden).	126 ile 564 arasında mg/dl cinsinden nümerik değerler
6	Açlık kan şekeri: Aç karnına ölçülen kan şekeri.	126mg/dl’yi değişim noktası olarak kabul eden ikili sınıf (0,1)
7	EKG sonuçları: Kişinin istirahat halinde iken ölçülen EKG sonuçları.	Normal, ST-T dalgasında anormallik, sol ventrikül gözlemlenen
8	Kalp atışı: Kişinin ölçülen maksimum kalp atış hızı.	71 ile 202 arasında bpm cinsinden nümerik değerler
9	Anjina: Kişinin egzersize bağlı anjina geçmişi	Egzersize bağlı anjina geçirenler ve geçirmeyenler
10	Tepe noktası: ST çökmesi durumundaki tepe noktası.	0 ile 6,2 arasında nümerik değerler

11	Eğim: ST segmentinin tepe noktası eğimi.	Yukarı eğim, düz, aşağı eğim.
12	Damar sayısı: Kişinin büyük damarlarının sayısı.	0 ile 3 arasında nümerik değerler
13	Talyum: Kişinin talyum stres testi sonuçları	Normal, sabit kusurlu, dönüşümlü kusurlu
14	Hedef: Kişinin sağlık durumu.	Hasta, sağlıklı

Risk Faktörlerinin Veri Seti Üzerinde Dağılımı

Veri setinde bulunan 303 veriden 165'i sağlıklı, 138'i hasta sınıfında yer almaktadır.² Veri setinde bulunan öznelikler kalp hastalıklarını etkileyen risk faktörleri açısından değerlendirildiğinde hastalığa etki eden yaş, cinsiyet, kolesterol düzeyi, göğüs ağrısı tipi ve egzersize bağlı anjina geçmişlerinin veri setindeki dağılımları incelenmiştir. Grafik 1'de verilerin yaş aralıklarına göre dağılımı yer almaktadır.



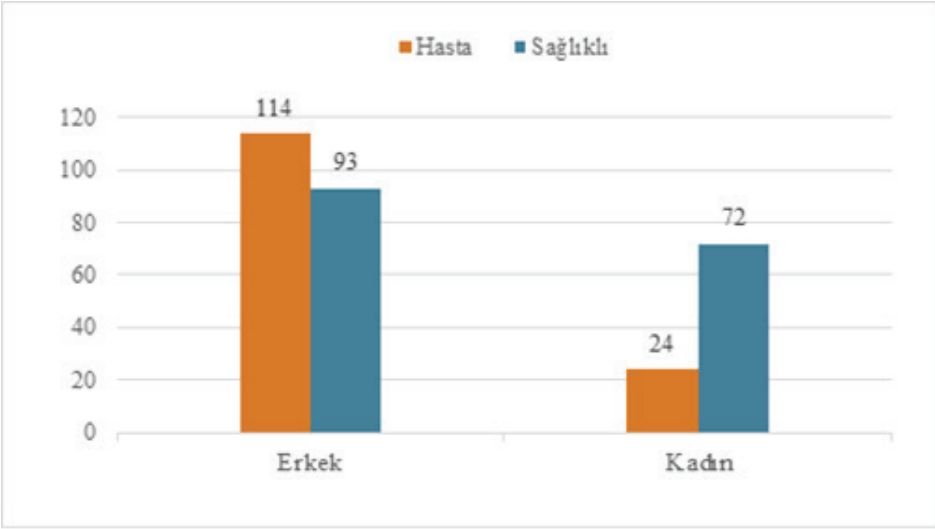
Grafik 1. Kişilerin Yaş aralığına Göre Dağılımı

2 University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences. Heart Disease Data Set. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Heart+Disease>. Yayın tarihi Mart 13, 2014. Erişim tarihi Mayıs 10, 2021

KALP HASTALIĞI TESPİTİNDE SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Grafik 1 göz önüne alındığında kişilerin yaşı arttıkça kalp hastalığına sahip olma oranları da artmaktadır. 29-40 yaş aralığındaki bireyler genç, 40-55 yaş aralığındaki bireyler orta yaşlı ve 55 yaşından büyük bireyler ise yaşlı olarak kategorize edilmiştir. Gençlerin %25'i, orta yaşlıların %31'i, yaşlıların ise %59'u hasta sınıfındadır.

Yaş arttıkça kalp hastalığı riskinin artmasının temel sebebi, yaşlanmayla birlikte vücuttaki damarların da yaşlanması ve daha az esnek hale gelmesidir. Daha az esnek hale gelen damarlarda kan akışı zorlaşmaktadır (Stern vd., 2003) . Risk faktörü olarak nitelendirilen diğer bir öznelik olan cinsiyet dağılımı Grafik 2'de yer almaktadır.



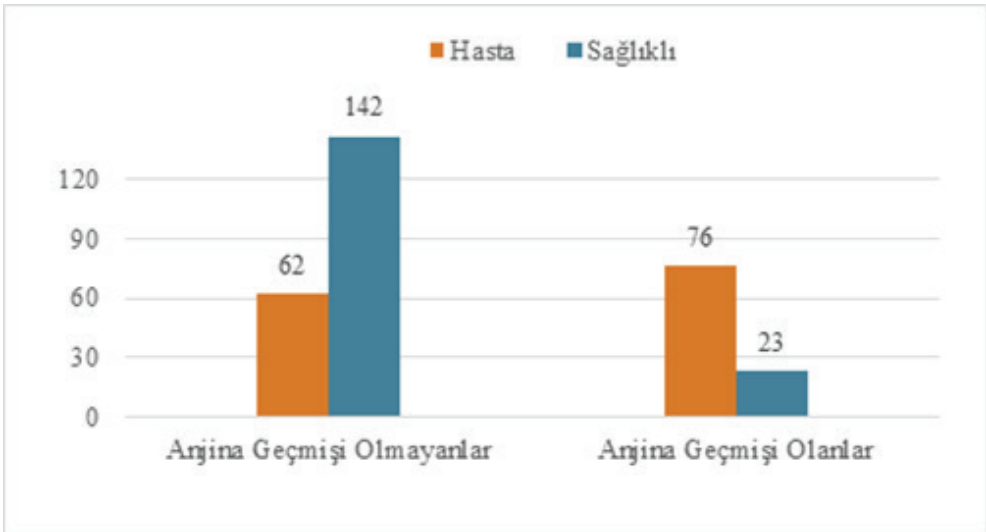
Grafik 2. Kişilerin Cinsiyetlerine Göre Dağılımı

Grafik 2 incelendiğinde ise veri setindeki erkeklerin %55'i, kadınların ise %25'inin hasta sınıfında olduğu görülmektedir. Veri setinde bulunan hasta erkeklerin oranı hasta kadınların iki katından fazladır. Kardiyovasküler hastalıklar, erkeklerde görülme olasılığı daha yüksek olduğundan erkek hastalığı olarak da bilinmektedir. Bunun yanı sıra kadınların erkeklere oranla kalp hastalığına yakalanma oranı daha düşük olmakla birlikte kadınların mortalite oranları daha yüksektir. *Mortalite*, her bin kişi başına ölüm oranını temsil etmektedir. Buna ek olarak sosyoekonomik statünün ve kişilerin psikolojik sağlık durumlarının da

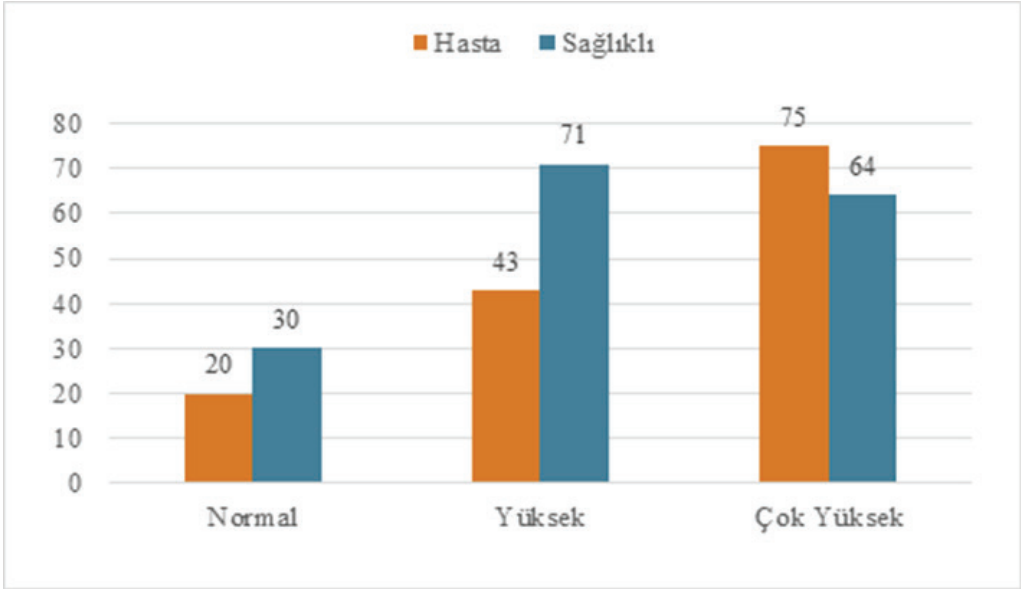
hastalık üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kadınlarda kardiyovasküler hastalığa sahip olma oranı en yüksek olan kesim, düşük sosyoekonomik statüye sahip bekar anneler, düşük gelirli çalışan anneler ve yalnız yaşayıp çok az sosyal destek alan yaşlı kadınlardır (Maas ve Appelman., 2010). Grafik 3'te kişilerin anjina geçmişlerinin veri seti üzerindeki dağılımı gösterilmektedir.

Grafik 3 incelendiğinde egzersize bağlı anjina yaşamayanların %30'u, yaşayanların ise %76'sı hasta sınıfındadır. Veri setindeki dağılıma göre egzersize bağlı anjina geçirenlerin kalp hastalığına sahip olma olasılığı çok daha yüksektir. Bunun yanı sıra bu veri seti üzerinde egzersize bağlı anjinanın kalp hastalığı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Anjina, kalbe giden kan akışının azalmasından kaynaklanan bir göğüs hastalığıdır. Koroner arter hastalığının bir belirtisidir. Egzersize bağlı anjina, egzersiz yaparken kalp daha çok çalıştığında meydana gelir. Kısa sürelidir, beş dakika veya daha az sürer. Dinlenildiği zaman belirtiler ortadan kalkar (Franklin vd., 2012). Grafik 4'te yer alan grafikte kişilerin kolesterol seviyelerini içeren grafik bulunmaktadır.



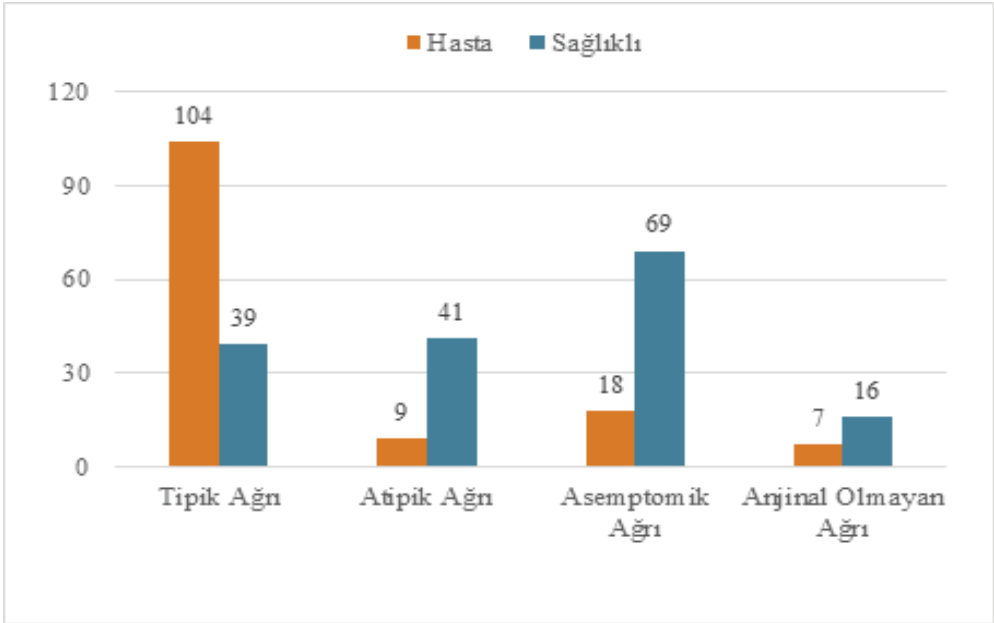
Grafik 3. Kişilerin Anjina Geçmişlerine Göre Dağılımı



Grafik 4. Kişilerin Kolesterol Seviyelerine Göre Dağılımı

Grafik 4 incelendiğinde kolesterol düzeylerinin kategorize edildiği gözlemlenmektedir. Kolesterol değeri 126-200 mg/dL arasında olanlar normal, 200-246 mg/dL arasında olanlar yüksek, 246 mg/dL'den büyük olanlar ise çok yüksek olarak gruplandırılmıştır. Veri setindeki kolesterol düzeylerine göre normal olanların %40'ı, yüksek olanların %37'si, çok yüksek olanların ise %54'ü hasta sınıfında yer almaktadır. Bu dağılımdan yola çıkarak en yüksek oranda hastalık riski taşıyan grup kolesterol seviyesi çok yüksek olanlardır. Kolesterol, insan vücudundaki tüm hücrelerde bulunan mumsu ve yağ benzeri maddedir. Hormonlar, D vitamini ve yiyecekleri sindirmeye yardımcı olan bileşenleri üretmek için kolesterole ihtiyaç duyar. Ancak kanda yüksek miktarda kolesterol varsa plak oluşumuna sebep olur ve bu plaklar atardamarların duvarına yapışır. Bunun sonucunda da koroner arter hastalığı meydana gelebilir. Kolesterol düzeyi lipoproteinler ile ölçülmektedir. Yağların kanda hareket edebilmeleri için proteinlere bağlanması gerekmektedir. Lipoproteinler, yağ ve protein kombinasyonlarıdır. Lipoproteinler, High Density Lipoprotein (HDL), Low Density Lipoprotein (LDL) ve Very-Low

Density Lipoprotein (VLDL) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. HDL, iyi kolesterol olarak da adlandırılmaktadır. Bunun sebebi, kolesterolü vücudun diğer bölümlerinden tekrar karaciğere taşımıştır. Karaciğer daha sonra kolesterolü vücuttan atar. LDL ise kötü kolesterol olarak da bilinir. Bunun sebebi ise yüksek LDL seviyesinin atardamarlarda plak birikmesine yol açmasıdır. Grafik 5'te ise kişilerin farklı göğüs ağrısı tiplerinin veri setindeki değerler üzerindeki dağılımı gösterilmiştir.



Grafik 5. Kişilerin Göğüs Ağrısı Tipine Göre Dağılımı

Grafik 5 incelendiğinde tipik göğüs ağrısına sahip olanların %72'si, atipik göğüs ağrısına sahip olanların %18'i, asemptomik göğüs ağrısına sahip olanların %20'si, anjinal olmayan göğüs ağrısına sahip olanların ise %30'u hasta sınıfındadır. Veri setindeki bu dağılıma göre tipik göğüs ağrısına sahip kişilerin hasta olma olasılığı diğer ağrı tiplerine göre oldukça yüksektir.

Göğüs ağrısı, hissedilen kısımdan görülen belirtilere kadar birçok etmen sebebiyle farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Veri setinde ağrı türlerinden dört tanesi bulunmaktadır. Tipik ağrı, substernal, göğsün ön tarafında yanma veya göğüste ağırlık özelliği gösterir. Efor sarf edildi-

ğinde meydana gelebilmektedir. Dinlenme sonrasında belirtiler kaybolur. Boyun, sol omuz veya sol kola yayılabilmektedir. Atipik ağrı, genellikle geçicidir. Saniyeler ile bir dakika aralığında sürmektedir. Göğsün ön tarafında değildir ve keskin karakterli bir ağrıdır. Atipik ağrı eforla oluşmaz. Erkeklerde genellikle hipertansiyon, sigara kullanımı, diyabet, aile öyküsü gibi bilinen risk etmenlerine sahip olmayan hastalarda ortaya çıkmaktadır [19]. Asemptomik ağrı, semptomlar olmadan altta yatan iskemiye gösteren ambulatuvar EKG’de kaydedilen EKG değişiklikleri olarak tanımlanmaktadır. Ambulatuvar EKG ise günlük yaşamdaki aritmileri saptayabilmek için ölçülen uzun süreli EKG’lerdir. Anjinal olmayan ağrı ise kalp hastalığı olmayan kişilerde kalp ağrısına benzeyen göğüs ağrısını tanımlamak için kullanılan bir ağrı çeşididir. Göğüs kemiğinin arkasında hissedilen baskılı bir ağrıdır. Boyna, sol kola veya omurgaya yayılabilir. Gıda tüketiminden sonra meydana gelebilir. Değişken uzunluklarda sürebilir, saatlerce sürdüğü durumlar da gözlemlenmiştir. Ayrıca mide ekşimesi veya sıvı yetersizliği gibi reflü semptomları da gözükülebilmektedir.

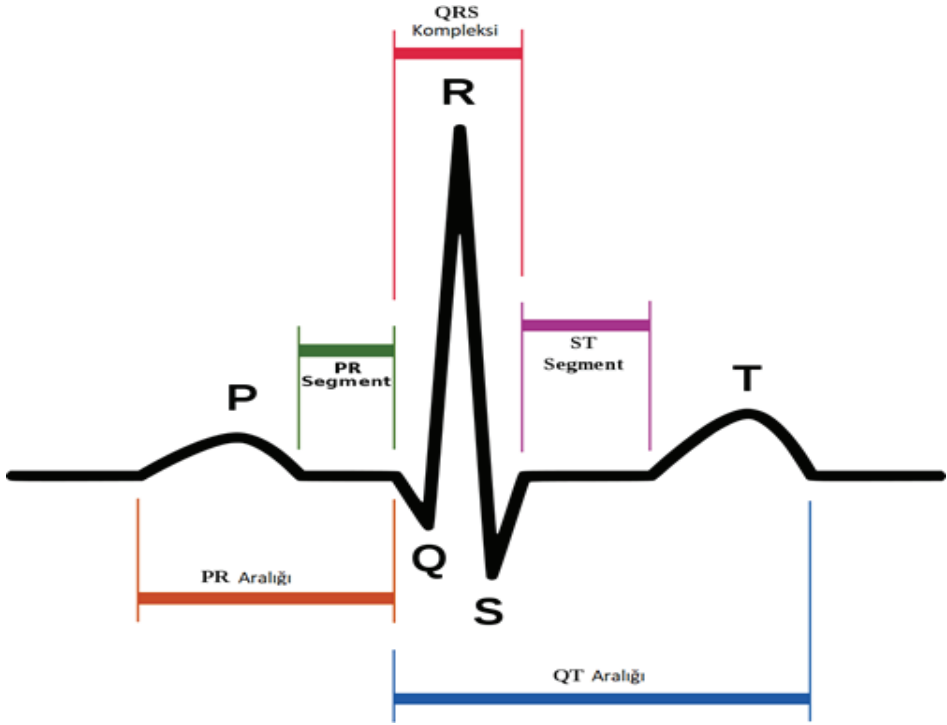
Grafiklerde gösterilen risk faktörlerine ek olarak veri setinde açlık kan şekeri, istirahatteki tansiyon, maksimum kalp atış hızı gibi risk faktörleri ve talyum test sonuçları, istirahatteki EKG sonuçları ve ST segmentinin tepe noktası eğimi gibi kalp sağlığı açısından doktorlar tarafından yorumlanması gereken test sonuçları da bulunmaktadır.

Açlık kan şekeri, kanda bulunan ana şekerin açlık durumunda ölçülen değeridir. Bu değer in sağlıklı bir insanda 99 mg/dL veya daha düşük olması beklenirken 99-125 mg/dL aralığında olduğu durumlar şeker başlangıcı, 125 mg/dL ve üzerinde ise kişinin diyabet hastası olma olasılığı oldukça yüksektir. İstirahatteki tansiyon, kişinin dinlenmiş haldeyken ölçülen tansiyonunu yani kan basıncını ifade etmektedir. Sağlıklı bir insanda 120/80 mm/Hg olması beklenmektedir (Chaney ve Eyman., 1988).. Kalp atış hızı, sağlıklı bir insanda dakikada 60 ile 100 arasındadır. Egzersiz sırasında dakikada 150’ye kadar çıkabilmektedir³Talyum testi, kanın akış rezervinin ölçülmesini sağlayan görüntüleme testidir. Düşük

3 Medical News Today, Heart rate, <https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710>. Yayın tarihi Ocak 20, 2021. Erişim tarihi Mayıs 15, 2021

miktarda radyasyon içeren radyoaktif ilaç uygulanarak damar yoluyla enjekte edilir. Bu ilaç kan akımı yoluyla kalbi kendisini besleyen damarlara ve oradan kalp kasına ulaşmaktadır. Ardında radyoaktif maddenin kalpte nasıl dağıldığını gösteren görüntüler elde edilir. Kalp kasına giden kan miktarı ile doğru orantılı olarak radyoaktif ilaç miktarı da artar ya da azalır.

Son olarak EKG sonuçları ve bu sonuçlar üzerinden yorumlanan değerler bulunmaktadır. EKG, elektrotlar yardımıyla ölçülür. Kalbin ritmini ve elektriksel aktivitesini zamana bağlı grafik olarak yansıtmaktadır. Şekil 1 'de örnek bir EKG grafiği gösterilmektedir.



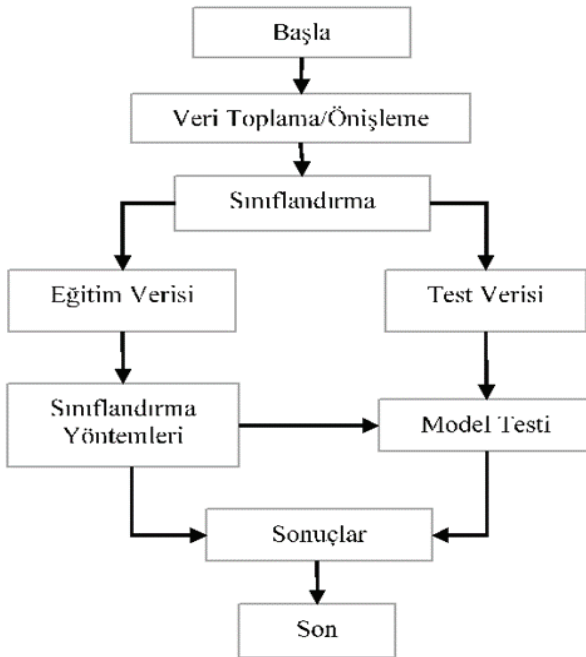
Şekil 1. Elektrokardiyografi Şablonu

Şekil 1'de yer alan EKG şablonunda T dalgası, her QRS'den sonraki pozitif sapmadır. Normalde T dalgası simetrik değildir ve EKG'nin en kolay değişebilen bileşenidir [24]. Veri setinde EKG sonuçları normal olanlar, ST-T dalgasında anormallik olanlar ve sol ventrikül gösterenler

olarak üç farklı kategoride bulunmaktadır. ST segmentinin tepe noktasındaki eğim ise ST segmentinden T dalgasına geçiş yapıldığı anda temsil edilen eğimdir. Bu eğimin düz veya aşağı yönlü olması miyokardiyal iskemiye göstermektedir. Sağlıklı bir insanda bu eğim yukarı yönlüdür.

KALP HASTALIĞININ TESPİTİNDE KULLANILAN SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Sınıflandırma, yeni bir gözlem değerinin kategorilerden hangisine ait olabileceğini, önceki gözlemlerden ve kategorilerden oluşan bir çalışma seti kullanılarak bulunmasıdır⁴Denetimli öğrenme, makinenin iyi etiketlenmiş verileri kullanarak eğitim aşamasını gerçekleştirmesini sağlayan öğrenme çeşididir (Alpaydın., 2004). Şekil 2’de modellerin sınıflandırma yaparken izledikleri aşamalar adım adım gösterilmiştir.



Şekil 2. Sınıflandırma Modelinin Aşamaları

4 ECG Learning Center, An introduction to clinical electrocardiography, <https://www.ecg.utah.edu/lesson/10>. Yayın tarihi Haziran 4, 2017. Erişim tarihi Mayıs 15, 2021

Bu çalışmada, YSA, DVM, Naive Bayes sınıflandırıcısı, Lojistik Regresyon, Karar ağaçları ve KNN denetimli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak Tablo 1'deki girdiler üzerinden Şekil 2'deki aşamaları takip ederek kalp hastalığı tespiti yapan sistem oluşturulmuştur. Bu yöntemler ile yapılan sınıflandırmalar sonucunda doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve kesinlik parametreleri ile karşılaştırılan modeller arasından en yüksek performansa sahip yöntemler belirlenmiştir.

YSA, her biri bilinen bir girdi ve sonuç içeren ve ağırlık kendi veri yapısı içinde depolanan, ikisi arasında olasılık ağırlıklı ilişkiler oluşturan örnekleri işleyerek öğrenen bir makine öğrenmesi yöntemidir. YSA'lar katmanlardan ve her katmanda bulunan nöronlardan oluşmaktadır. Her girdinin değeri o girdiye ait ağırlık değerleriyle toplama fonksiyonlarında işlenerek elde edilen sonucun aktivasyon fonksiyonlarına sokulması neticesinde oluşan çıktının bir sonraki katmandaki nöronlara iletilmesiyle gerçekleştirilir (Öztemel., 2006). Bu çalışmada YSA ile sınıflandırmada eğitimden önce modelin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyduğu parametreler tanıtılmıştır. Tek gizli katmanlı ağların, çoklu gizli katmanlı ağlara göre lineer hedef işlevlerine daha hızlı yaklaşmasından ve derin yapay sinir ağı oluşturmamak için çalışmada tek gizli katmanlı YSA modeli kullanılmıştır (Sheela ve Deepa., 2013). Gizli katmandaki nöron sayısı 16 olarak belirlenmiştir ve gizli katmanda kullanılan aktivasyon fonksiyonu ReLU, çıkış katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonu ise Sigmoid olarak seçilmiştir. Çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun sigmoid olarak seçilmesinin temel sebebi çıkış değerinin 0 ve 1 arasında olmasını sağlamaktır. Böylelikle çıkış değerinin eksi bir değer almasının önüne geçilmiştir.

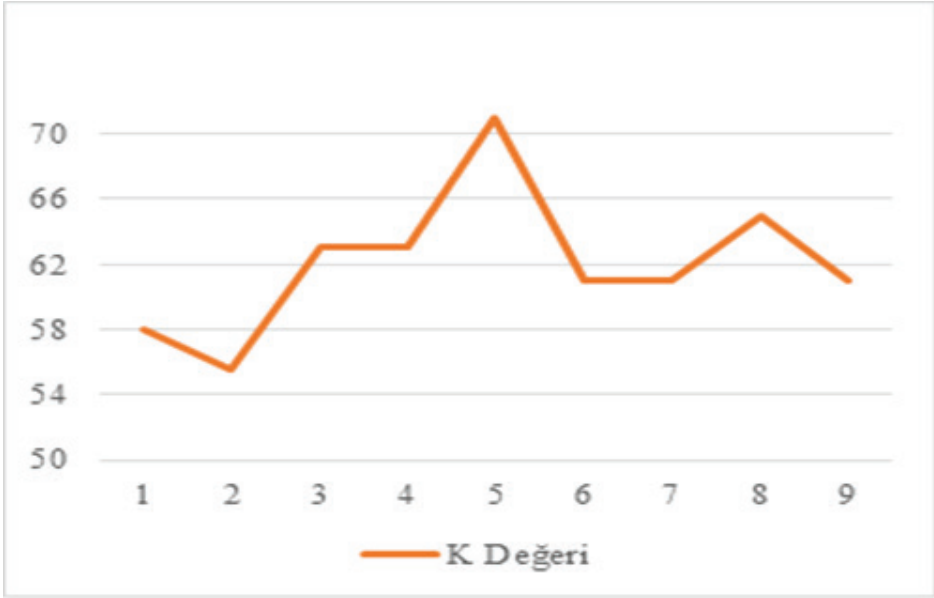
DVM, ayırıcı bir hiper düzlem ile tanımlanan ayırt edici bir sınıflandırıcıdır. Diğer bir ifadeyle, modele etiketli eğitim verileri verildiği zaman, DVM yeni örnekleri kategorize eden optimum bir hiper düzlem çıkarır. İki boyutlu uzayda bu hiper düzlem, bir düzlemi her bir sınıfın her iki tarafta bulunduğu iki parçaya bölen çizgidir (Chang ve Lin., 2011). Bu çalışmada DVM ile yapılan sınıflandırmada ise çekirdek fonksiyonu olarak *lineer fonksiyon* seçilmiştir. Lineer fonksiyon, veriler doğrusal olarak ayrılabilir olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Naive Bayes sınıflandırıcısı, Bayes teoremine dayanan olasılıksal bir sınıflandırıcıdır. Sınıfların önsel olasılıkları ile ardıl olasılıkları arasındaki bağıntıdan yararlanarak yeni örnekleri sınıflara atar. Bir eleman için her durumun olasılığını hesaplar ve olasılığı en yüksek olana göre sınıflandırır (Koutroumbas ve Theodoridis., 2008).

Lojistik Regresyon, Naive Bayes sınıflandırıcısı gibi olasılıksal bir sınıflandırıcıdır. İkili bağımlı değişkeni modellemek için lojistik bir fonksiyon kullanan istatistiksel bir modeldir. Her bir girdinin özellikleri vektör olarak gösterilir. Daha sonra sınıflandırma fonksiyonu ile çıktı hesaplanır ve bu çıktının hatasının hesaplanması için çapraz-entropi gibi kayıp fonksiyonlarına sokulur. Son aşamada ise gradyant inişi gibi bir algoritma ile bu fonksiyonları optimize eder. Bu çalışmada Lojistik Regresyon sistemde varsayılan olarak tanımlı 12 ceza fonksiyonu kullanılmıştır. Kayıp fonksiyonuna ceza olarak katsayının kare büyüklüğü eklenmektedir. Daha sonra karar fonksiyonunda da *bias* değeri eklenmektedir. İterasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir.

Karar Ağaçları, tahmine dayalı yaklaşımlardan biridir. Kök düğüm, karar düğümleri ve yapraklardan oluşan bir tahmin modelidir. Yapraklar sınıf etiketlerini, dallar ise sınıf etiketlerine götüren özelliklerin birleşimini ifade etmektedir (El-Diraby ve Pirayonesi., 2020). Bu çalışmada Karar ağacı sınıflandırıcısında bölme algoritması olarak gini, düğüm bölünmesi için *best choice* seçilmiştir. Bu seçim ile düğümler en yüksek olasılığı veren değerden bölünecektir. Yaprak düğümlerde olması gereken minimum örnek sayısı 1 olarak belirlenmiştir.

KNN, en temel ve basit sınıflandırma yöntemlerindedir. Sınıfları belli olan bir örnek kümesindeki verilerden yararlanılarak kullanılır. Sınıflandırma sırasında çıkarılan özelliklerde, sınıflandırılmak istenen yeni bireyin önceki bireylerden k tanesinin yakınlığına bakılmasıdır. k harfi komşu sayısını ifade eder (Guo vd., 2003). Bu çalışmada k -en yakın komşuluk algoritması kullanılırken Grafik 6'dan yola çıkılarak k değeri 5 olarak belirlenmiştir.



Grafik 6. K Değerin Doğruluk Oranına Etkisi

Model, döngü aracılığıyla k parametresini 1 ile 10 arasındaki değerler arasında kıyaslamıştır. Şekil 8’de yer alan grafikteki sonuçlar göz önüne alındığında en iyi başarımlı oranı veren k değeri 5 çıkmıştır. Bu sebeple yapılan sınıflandırma, en yakın 5 komşuya göre gerçekleştirilmiştir.

Karmaşıklık Matrisi ve Performans Ölçücü Parametreler

Makine öğrenmesindeki performans ölçütleri Tablo 2’de yer alan karmaşıklık matrisindeki değerler kullanılarak elde edilmektedir. Karmaşıklık matrisi yöntemin yaptığı tahmin ile verinin gerçek sınıfı arasındaki ilişkiye dayalı bir formdur. Sütunlar tahmini değerleri, satırlar ise gerçek değerleri temsil etmektedir.

Tablo 2. Karmaşıklık Matrisi

	Pozitif	Negatif
Pozitif	DP	YN
Negatif	YP	DN

- *DP: gerçek sınıfın değeri pozitiftir ve kullanılan yöntem tarafından pozitif olarak tahmin edilmiştir.*
- *DN: gerçek sınıfın değeri negatiftir ve kullanılan yöntem tarafından negatif olarak tahmin edilmiştir.*
- *YN: gerçek sınıfın değeri pozitiftir ancak kullanılan yöntem tarafından negatif olarak tahmin edilmiştir.*
- *YP: gerçek sınıfın değeri negatiftir ancak kullanılan yöntem tarafından pozitif olarak tahmin edilmiştir.*

Sınıflandırma yöntemlerinin performansları değerlendirilirken modelin doğruluğu, özgüllüğü, duyarlılığı ve modelin kesinliği karmaşıklık matrisinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Doğruluk, modelin hedef sınıfları tahmindeki başarısını, özgüllük, modelin pozitif sınıfını tahmindeki başarısını, duyarlılık, modelin negatif sınıfını tahmindeki başarısını, kesinlik ise pozitif olarak tahmin edilen verilerin ne kadarının pozitif olduğunu gösteren bir ölçüttür.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{n_{DP+YP+YN+DN}} \quad (1)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{n_{NM+VD}} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{n_{DP+YP}} \quad (3)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{n_{DP+YP}} \quad (4)$$

Bu çalışmada doğruluk, modelin genel başarısını temsil eden değerdir. Özgüllük, sağlıklı sınıfı tahmindeki başarıyı, duyarlılık, hasta sınıfını tahmindeki başarıyı gösterirken kesinlik ise hasta sınıflandırmadaki kesinlik oranını göstermektedir.

BULGULAR

Tablo 3'te sınıflandırma sonucu oluşan karmaşıklık matrisi değerleri yer almaktadır. Doğru pozitif doğru sınıflandırılan hastaları, yanlış

pozitif yanlış sınıflandırılan hastaları, yanlış negatif yanlış sınıflandırılan sağlıklı veriyi, doğru negatif ise doğru sınıflandırılan sağlıklı veriyi temsil etmektedir.

Tablo 3. Sınıflandırma Sonucu Elde Edilen Karmaşıklık Matrisi

Algoritmalar	Doğru Pozitif	Yanlış Pozitif	Yanlış Negatif	Doğru Negatif
YSA	28	4	5	39
KNN	22	13	9	32
Karar Ağacı	26	8	6	36
Naive Bayes	29	7	5	35
DVM	25	5	4	42
Lojistik Regresyon	28	14	3	31

Tablo 3'te yer alan karmaşıklık matrisi değerleri incelendiğinde YSA, DVM ve Naive Bayes sınıflandırıcılarının hasta veriyi sınıflandırmada daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra kullanılan sınıflandırma yöntemleri sağlıklı veriyi sınıflandırmada hasta veriye göre daha yüksek performans gösterdiği de belirlenmiştir.

Karmaşıklık Matrisi ve Performans Ölçücü Parametreler

Sınıflandırma yöntemleri sonucunda oluşan karmaşıklık matrisindeki değerler kullanılarak elde edilen özgüllük, duyarlılık, kesinlik ve doğruluk parametreleri, yöntemleri performanslarını karşılaştırırken kullanılan değerlerdir. Tablo 4'te performans ölçücü parametreler sınıflandırma sonucunda elde edilen değerler şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 4. Sınıflandırma yöntemlerinin yüzde olarak başarımları

Algoritmalar	Özgüllük	Duyarlılık	Yanlış Negatif	Doğru Negatif
YSA	28	4	5	39
KNN	22	13	9	32
Karar Ağacı	26	8	6	36
Naive Bayes	29	7	5	35
DVM	25	5	4	42
Lojistik Regresyon	28	14	3	31

Tablo 4'te yer alan değerler sırasıyla incelenmiştir. Sınıflandırma sonucunda özgüllük oranı en yüksek olan yöntemler %94,1 ile Lojistik Regresyon, %91,3 ile DVM ve %88,6 ile YSA şeklindedir. Özgüllük, sağlıklı veriyi doğru sınıflandırmadaki başarıyı temsil ettiğinden, bu sonuçlar göz önüne alındığında sağlıklı sınıfını en iyi sınıflandıran yöntemler bunlar olmuştur.

Tablo 4'teki değerler göz önüne alındığında sınıflandırmalar sonucunda duyarlılık oranı en yüksek olan yöntemler %87,5 ile YSA, %83,3 ile DVM ve %80,5 ile Naive Bayes şeklindedir. Duyarlılık, hasta veriyi doğru sınıflandırmadaki performansı ölçen parametre olduğundan, bu sonuçlar dikkate alındığında hasta sınıfını en iyi şekilde sınıflandıran yöntemler YSA, DVM ve Naive Bayes olmuştur.

Tablo 4'te bulunan diğer bir parametre olan kesinlik oranında en yüksek başarıyı gösteren yöntemler %90,3 ile Lojistik Regresyon, %86,2 ile DVM ve %84,8 ile YSA olmuştur. Kesinlik, hasta olarak sınıflandırılan verilerin ne kadarının gerçekten hasta olduğunu yani hasta sınıflandırmadaki kesinliği belirtmektedir. Bu nedenle bu veri seti üzerinde Lojistik Regresyon, YSA ve DVM hasta sınıflandırmada daha kesin sonuçlar vermektedir.

Yapılan sınıflandırmalar sonucunda bir yöntemin yüksek performans veren yöntem olduğuna karar vermek için performans parametrelerinin yüksek yüzdelerde olması beklenmektedir. Bunun yanı sıra bu

çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında Lojistik Regresyon yöntemi en yüksek özgüllük oranına sahip olmasına rağmen düşük duyarlılık oranı sebebiyle istenen performansı sergileyememiştir. Duyarlılık ve özgüllük arasındaki fark ne kadar az olur ve bu iki oran ne kadar yüksek olursa eğitilen modelin yüksek verimli olduğu söylenebilir. İki değer arasındaki farkın fazla olması, modelin sadece bir sınıfı doğru sınıflandırmada başarılı olduğunu göstermektedir. Lojistik Regresyon yönteminde bu iki değer arasındaki fark %30'a yaklaşmaktadır. Bu da doğrudan modelin doğruluğunu etkilemektedir. Modelin doğruluğu bu iki parametreyle doğru orantılı olduğundan elde edilen sonuç daha düşük kalmıştır. Bunun dışında KNN yöntemin de benzer bir fark gözlemlenmiştir. Bu yöntemde ise özgüllük ve duyarlılık arasındaki fark %15'e yaklaşmıştır. Bu sebeple de KNN yönteminin doğruluğu düşük kalmıştır. Özgüllük ve duyarlılık oranlarının çok yüksek olduğu durumlarda ise aralarındaki fark tolöre edilebilir. Tablo 4'e bakıldığı zaman DVM yönteminde de özgüllük ve duyarlılık oranları arasındaki fark %8 olarak gözükmektedir. Ancak bu iki parametre beklenildiği gibi yüksek sonuçlar verdiğinden aradaki fark tolöre edilmiştir.

Son olarak tablo 4'teki doğruluk oranları incelendiğinde doğruluk oranı en yüksek olan yöntemler %88,1 ile YSA, %88,1 ile DVM ve %84,2 ile Naive Bayes şeklindedir. Doğruluk, modellerin genel doğruluğunu temsil ettiğinden sınıflandırma sonucunda diğer parametrelerin yanı sıra en çok dikkat edilen değerdir. Bu değerler göz önüne alındığında YSA, DVM ve Naive Bayes sınıflandırıcısının en yüksek doğruluk oranlarına sahip olduğu ve bu veri seti için en yüksek performansı gösterdikleri söylenebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada kalp hastalığı verileri üzerinde YSA, KNN, Karar Ağacı, Naive Bayes sınıflandırıcısı, Lojistik Regresyon ve DVM yöntemleri ile sınıflandırma yapılmıştır. YSA, DVM ve Naive Bayes yöntemleri ile kalp hastalığı tespitinde en yüksek verim elde edildiği gözlemlenmiştir. KNN ile yapılan sınıflandırmada ise önceki çalışmalarda olduğu gibi istenen başarı sergilenememiştir. Bu sebeple KNN yönteminin bu veri seti ve öznitelik dağılımına uygun olmadığı söylenebilir.

Kalp hastalığı tespitinde makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak erken teşhis imkanlarının geliştirilebileceği ve teşhislerde zaman ve iş gücü kazancı sağlanabileceği söylenebilir. İleride yapılacak olan kalp hastalığı tespit çalışmalarında veri setine kalp sağlığını iyi veya kötü anlamda doğrudan etkileyebilecek egzersiz düzeyi, sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları, kişinin yaşadığı iklim koşulları, kişinin obezite durumu vs. gibi farklı özneliklerin eklenmesi hem daha yüksek verim elde etmek hem de hangi faktörlerin kalp hastalıkları üzerinde daha çok etkiye sahip olduğunu araştırmak açısından yararlı olacaktır. Elde edilecek sonuçların kalp sağlığı konusunda uzman kişiler tarafından yorumlanması sağlanarak bu yöntemleri tıbbi olarak kabul görür hale getirebilir.

KAYNAKÇA

Alotaibi, F, S. (2019). Implementation of Machine Learning Model to Predict Heart Failure Disease. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (6), 261-268.

Alpaydın E. (2004). *Introduction to Machine Learning*, the MIT Press, A.B.D.

Chaney, R.B., and Eyman, R.K. (1988). Bloodpressure at rest and during maximal dynamic and isometric exercise as predictors of systemic hypertension, *The American Journal of Cardiology*, 62 (16), 1058-1061.

Chang, C.C., and Lin, C. J. (2011) LIBSVM: A library for support vector machines, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2 (3), 1-27.

El-Diraby, T. and Pirayonesi, S.M. (2020). Data Analytics in Asset Management: Cost-Effective Prediction of the Pavement Condition Index. *Journal of Infrastructure Systems*, 26 (1). doi/10.1061/%28ASCE%29IS.1943-555X.0000512

Guo, G., Wang, H., Bell, D., Bi, Y., and Greer, K. (2003, 3-7 November). KNN Model-Based Approach in Classification. *OTM Confederated International Conferences, Sicilya-İtalya*, 986-996. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-39964-3_62

Golande, A., and Kumar, T, P. (2019). Heart Disease Prediction Using Effective Machine Learning Techniques. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8 (1S4), 944-950. (5)

Koutroumbas, K. and Theodoridis, S. (2008). *Pattern Recognition*, Academic Press, A.B.D.

Mienye, I.D., Sun, Y., and Wang, Z. (2020). An improved ensemble learning approach for prediction of heart disease risk. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 1-5.

Nagamani, T., Logeswari, S., and Gomathy, B. (2019). Heart Disease Prediction using Data Mining with Mapreduce Algorithm. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8 (3), 137-140.

Nagaraj, M.L., Chethan, C., and Basavaraj, S.P. (2019). Prediction of Heart Disease using Machine Learning. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 8 (2S10), 474-477.

Öztemel E. (2006). *YAPAY SİNİR AĞLARI*, Papatya Yayıncılık, Türkiye.

Punith, H.B., Vikas, H.K., and Uma, E.S. (2020). Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms in the Study of Heart Disease Prediction. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 8 (14), 182-185.

Purusothaman, G., and Krishnakumari, P. (2015). A Survey of Data Mining Techniques on Risk Prediction: Heart Disease. *Indian Journal of Science and Technology*. 8 (12), 1-5.

Repaka, A. N., Ravikanti, S. D., and Franklin, R. G. (2019). Design and Implementing Heart Disease Prediction Using Naives Bayesian. *3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics*. Tirunelveli-India, 292-297, 23-25 April.

Sheela, K.G., and Deepa,S.N. (2013). Review on Methods to Fix Number of Hidden Neurons in Neural Networks, *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1-11, <https://doi.org/10.1155/2013/425740>

Stern, S., Behar, S., and Gottlieb, S. (2003). Aging and Diseases of the Heart. *Circulation*. 108 (14), 99-101. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000086898.96021.B9>.

Takcı, H. (2018). Improvement of heart attack prediction by feature selection methods. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 26 (1), 1-10.

Thomas, J., and Princy, R. T. (2016). Human Heart Disease Prediction System using Data Mining Techniques. *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies*. Kumarakovil-India, 1-5, 18-19 March.

34CrNiMo6 MALZEMESİYLE YAPILAN GELİŞMELER

Gözde ALTUNTAŞ¹, Bülent BOSTAN¹

Öz: İslah çeliği olarak da bilinen 34CrNiMo6 malzemesinin malzeme numarası 1.6582 olup SAE / AISI numarasına göre 4340 çeliğine karşılık gelmektedir. Genel olarak uçak pervane şaftları ve arabalardaki bağlantı çubukları gibi karmaşık şekillere sahip büyük boyutlu şaft bileşenlerinde yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli bir yapısal çeliktir. Aynı zamanda 34CrNiMo6 çelik, otomobil bağlantı çubuklarının, büyük ölçekli krank millerinin ve dövme rotorların imalatında yaygın olarak kullanılan, tipik bir orta karbonlu düşük alaşımlı çeliktir. 34CrNiMo6 çeliğinin oda sıcaklığında daha düşük plastisitesi nedeniyle bu türler için genellikle sıcak plastik şekillendirme seçilir. Bu malzemenin mikroyapısal evrimi, sıcak deformasyon işlemi sırasında ürünün mekanik özelliklerini güçlü bir şekilde etkiler. Fiziksel özellikleri ise yoğunluk 7,84 gr/cm³, Isı iletkenliği 37,7 W/mK, Özgül ısı kapasitesi 0.46 J/gK, Elastikiyet modülü 210 10³xN/mm² dir. İşleme en iyi şekilde bu alışımda tavlanmış veya normalleştirilmiş durumda yapılır. Ayrıca ıslah ısıl işlemi uygulanacaksa temperleme sonrası işleme parametreleri kolaylıkla tüm geleneksel yöntemlerle yapılabilir. Isıl işlemler sonrası mekanik özellikler çok değişiklik göstermektedir. Isıl işlemler sırasında ki bekletme süreleri bile ölçülen değerlerde farklılık olmasına sebep olur. Genel anlamda su verme ve temperleme ısıl işlemlerinden sonra yaklaşık 16mm çapa kadar en yüksek çekme dayanımı (çapa bağlı olarak değişiklik gösterir) 1400 Mpa dır. Akma dayanımı ise 1000 Mpa dır. Darbe enerjisi ise -40 °C de 40 J, 20 °C de 45 J olarak bilinmektedir. Kullanım alanına göre genelde çalışma servis sıcaklığı -80 °C ile 650 °C arasındadır. Şekillendirme sıcaklığı ise 900 °C ile 1100 °C arasında bilinmektedir. Ülkemizde genel anlamda

1 Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara / Türkiye, e-mail: gozdealtuntas@gazi.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-4504-0850, e-mail:bostan@gazi.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-6114-875X

ticari olarak alınıp sıcak dövme işlemiyle şekillendirilmektedir. Böylece döküm ile üretimine kıyasla daha mukavemetli ürün elde dılmış olmaktadır. Çoğu kullanım alanlarında dövme işlemi sonrası ısıl işlem uygulanarak mekanik özellikleri iyileştirilmektedir. Ancak bu üretim yöntemi bile malzemenin kullanıldığı alanlarda şekillendirmeden, üretimden ve yorulmadan kaynaklı, birçok hasara sebep olmaktadır. Hizmette olan bu tür bileşenlerin uzun süreli darbe yükü nedeniyle, yüzey aşınması ve yorulma çatlakları gibi kusurlar kaçınılmaz olarak meydana gelecek ve büyük bileşen operasyonlarının stabilitesini ve güvenliğini etkileyecektir. Fiili üretimde bu tür parçaların hasarı çok yaygın bir durumdur. Bu nedenle, üretim ve işletme maliyetlerini azaltmak için 34CrNiMo6 çeliği için verimli bir onarım teknolojisi bulmak önemlidir. Birçok çalışmada bu çeliğinin ısıl işlemini araştırıldı ve malzeme özelliklerinin çok iyi bir temsilini veren bir model oluşturdu. Ayrıca yeni teknolojik gelişmeler sayesinde farklı üretim yöntemleriyle üretildi. Bu başarılar, ağır dövme endüstrisinde 34CrNiMo6 ürünlerinin üretimine ve imalatına önemli bir teknik katkı sağlamıştır. Bu çalışma ile 34CrNiMo6 malzemesinin ısıl işlem ve yeni üretim teknolojileri alanındaki son gelişmeleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 34CrNiMo6, Islak Çelikleri, Üretim Yöntemleri

GİRİŞ

34CrNiMo6, bir tür yüksek kaliteli orta karbonlu düşük alaşımli su verilmiş ve temperlenmiş çeliktir ve Deutsches Institut für Normung (DIN) standartlarına aittir ve Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) 4340'a uygundur. (Belyaev vd. 2016). Belirli miktarda Cr, Ni ve Mo elementlerinin eklenmesi nedeniyle çeliğin sertleşebilirliğini ve tavlama stabilitesini iyileştirebilir, bu nedenle yüksek mukavemet, tokluk, yorulma ve aşınma özellikleri meydana gelebilmektedir. Büyük enine kesitlere ve karmaşık şekillere sahip yük taşıyan bileşenlerde yaygın olarak kullanılır. (Huang vd. 2018).

Büyük ve karmaşık 34CrNiMo6 çelik parçaların geleneksel işleme yöntemleriyle (döküm, dövme vb.) hazırlanması, kalıp ihtiyacı, büyük ekipman ve karmaşık işleme prosedürleri, yüksek maliyet, uzun işleme döngüsü ve düşük malzeme kullanımı gibi dezavantajlara sahiptir. Aynı zamanda soğuk püskürtme, Tungsten Soy Gaz Kaynağı (TIG) ve Metal Inert Gaz kaynağını (MIG) içerir (Nascimento vd. 2012). Ancak

bu yöntemlerin her birinin daha zayıf mekanik kombinasyon, büyük ısı girdisi ve büyük ısıdan etkilenme gibi bazı dezavantajları vardır. Aşırı ısı girişi, kaynak metalinin darbe tokluğunu azaltacaktır. Aynı zamanda, malzemedeki alaşım elementlerinin yanma kaybı daha ciddi olacak ve bu da mukavemet ve tokluğun azalmasına neden olacaktır. Ek olarak, deformasyon ve kaynak artık gerilmesi gibi büyük ısı girdisinin neden olduğu hasar daha büyük olacaktır. Isı girdisini kontrol edebilen ve iyi metalurjik bağlama yetenekleri elde edebilen yeni bir teknolojinin bulunması gerekmektedir.

Lazer onarım teknolojisi (LFR), hızlı ısıtma, hızlı soğutma, küçük ısı girişi ve alt tabaka ile kolay metalurjik bağlanma avantajlarına sahiptir (Kattire vd. 2015). Öte yandan 34CrNiMo6 çeliği gibi özel malzemelerle uyumlu kaynak teli elde etmek zordur. Ve tamir için kaynak teli ve tozu pahalıdır. Bu nedenle, pahalı kaynak teli ve tozunun yerine nispeten ucuz ve kolay erişilebilir malzemelerin kullanılması, israfın azaltılması ve verimliliğin artırılması düşünüldüğünde, hızlı, verimli ve düşük maliyetli bir onarım yöntemi bulmak çok değerlidir. Lazer yeniden eritme, lazer onarım teknolojilerinden biridir. Lazerle yeniden eritme genellikle yüzey eridiğinde herhangi bir alaşım elementi eklemeyi ve füzyon tabakası malzeme matrisi ile doğal bir metalurjik bağ oluşturur. Lazer yeniden eritme işlemi sırasında safsızlıklar ve gazlar ortadan kaldırılabilir. Aynı zamanda su verme ve yeniden kristalleştirme ile elde edilen mikro yapı, daha yüksek sertlik, aşınma direnci ve korozyon direnci sunar. İnce eriyik tabakası ve küçük ısı etki alanı, yüzey pürüzlülüğü ve parçaların boyutu üzerinde çok az etkiye sahiptir ve parçalar doğrudan kullanılabilir. Birçok çalışma, bir lazer onarım teknolojisi olarak lazer yeniden eritmenin alaşım malzemelerinin özelliklerini onarmada iyi sonuçlar elde edebileceğini göstermiştir. Lazer yüzey yeniden eritme ve alaşımlamanın, sıcak çatlakların çoğunu onarabileceğini ve ultra ince mikro yapı ve mükemmel termal yorulma direnci elde edebileceğini göstermiştir (Stefan vd. 2017).

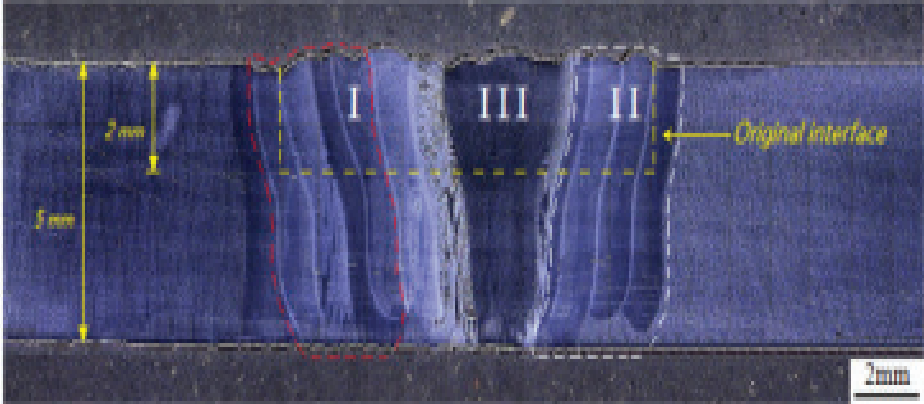
Onarım malzemelerinin seçiminde metal dolgu bloğu çok dikkat çeker ve sürtünme karıştırma işlemi (FSP) onarımı için yaygın olarak kullanılan onarım malzemelerinden biridir. 34CrNiMo6 çeliği FSP tarafından onarıldı ve doldurulmuş bloğu lazerle yeniden eritmek için de-

neysel yöntemlerinden ilham aldık. FSP onarım yönteminin özel bir karıştırma kafası gerektirdiğine, kaynağın sağlam bir şekilde sabitlenmesi gerektiğine ve kaynaktan sonra kaynak dikişinin sonunda bir anahtar deliği oluşturulacağına dikkat edilmelidir (Wu vd.2019)

Geleneksel biçimlendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, lazerle katı biçimlendirme (LSF) teknolojisi, parçaların işleme döngüsünü büyük ölçüde kısaltır ve işleme verimliliğini artırır. Ek olarak, bileşenlerin işlenmesi net şekillendirmeye yakındır, yalnızca üretim maliyetini büyük ölçüde azaltan basit işlem sonrası olması gerekir. Aynı zamanda karmaşık parçaların işlenmesi kolay olduğu için LSF birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Shi vd. 2022).

Lazerle Yeniden Eritme

Lazer yeniden eritme ile 34CrNiMo6 çelik numunenin kesitinde deneyden önce çizilen onarım yolu haritasıyla tutarlı olan dağılımı olan bariz yeniden eritme izleri vardır. Tüm onarılan numune kesitinin makroskopik morfolojisi, 3D Vision Ölçüm Cihazı aracılığıyla gözlemlenebilir. Şekil 1 de bölge I-II-III yeniden eritme konumları görülmektedir.



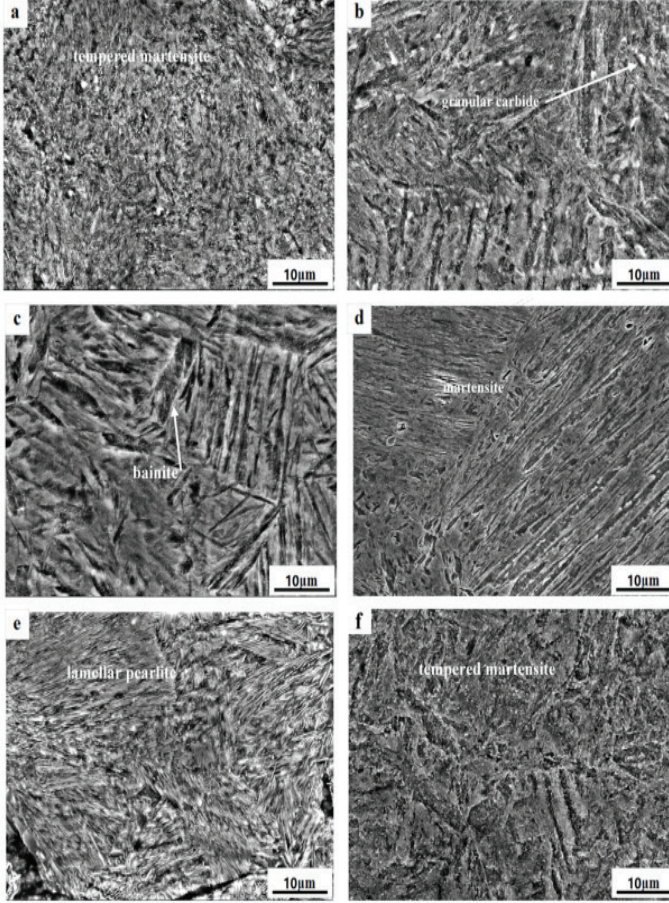
Şekil 1. Onarılan Numune Kesitlerinin Makroskopik Morfolojisi (Liang vd. 2020)

Numunenin mikro yapısına göre, onarılan numunenin tamamı da üç bölüme ayrılabilir: malzeme bölgesi (SZ), ısıdan etkilenen bölge

(HAZ) ve onarılan bölge (RZ). Numunenin makro yapısını gözlemleyerek, RZ tamamen yeniden eritilir ve doldurma bloğu metalurjik olarak alt tabaka ile entegre edilir. RZ'nin yüzeyi iyi şekillendirilmiştir ve delikler veya çatlaklar gibi kusurlardan arındırılmıştır. 34CrNiMo6 çeliğinin yüzeyi, erimiş bir havuz oluşturmak için lazer ışınımı altında hızla erir ve ardından sonraki soğutma işlemi sırasında martensit oluşturur. Bir sonraki yeniden eritme meydana geldiğinde, bitişik konumlarda katılacak kaynaklar yeniden ısıtıldı. Bu nedenle, her yeniden eritme işleminin soğutma hızı ve tavlama koşulları hemen hemen farklıdır ve bu da farklı mikroyapıya neden olur. Böylece, mikro yapının özelliklerine göre, numune kabaca altı alana bölünebilir.

Şekil 2 (a) da yeniden eritmeyi tamamladıktan sonra, lazer bitişik konumda başka bir yeniden eritmeyi gerçekleştirecektir. Onarılan bölgenin sıcaklığı, temperleme etkisine benzer şekilde bitişik tabakanın yeniden ısınmasıyla tekrar hızla yükselir. Lazer, II ve III bölgelerini yeniden eritip onardığında, I bölgesindeki mikro yapı temperlenmiş martenzitin oluşmasına neden olan ısı birikiminin etkisiyle birçok kez temperlenecektir. Şekil 2 (b) de II. bölgenin lazer onarımları ile elde edilen mikroyapı martensit, morfoloji olarak kabadır. Daha sonra, II. bölge de, I. bölgenin tavlama etkisine benzer şekilde birkaç yeniden erimeye uğrayacak ve sonunda tavllanmış martenzit oluşturacaktır. Yetersiz tavlama nedeniyle, bölge I'deki tavllanmış martenzit ile karşılaştırıldığında, mikro yapısı daha kaba ve düzensizdir. Şekil 2 (c) de III. bölgede sonraki ısı girdisinin olmaması nedeniyle, tavlamanın etkisi büyük ölçüde azalır. Ancak yüksek sıcaklık ve düşük soğutma hızının korunması, beynit üretimi için koşullar yaratır. Aşırı soğutulmuş östenit, üst beynit dönüşüm sıcaklık aralığında (550 °C-350 °C) izotermal olarak kaldığında, karbonsuz beynit çökeltmek için yarı yayınımlı bir dönüşüm meydana geldi. Karbonca zengin östenit, soğutma sırasında kısmen martensite dönüşür ve karbonsuz beynit ile granüler beynit olmak üzere oluşur. Son olarak, martensit ve beynitten oluşan karışık bir yapı oluşur. Ancak, bölge III n son pasosunda onarım tamamlandıktan sonra RZ'ye sonradan ısı girişi yoktur. Bu nedenle, erimiş havuz, martensitik dönüşümün soğutma hızından daha hızlı olan hava soğutma koşulunda soğutulur. Şekil 2 (d) görüldüğü gibi çita tipi martenzit oluşur. HAZ'ın mikro yapısı onarım-

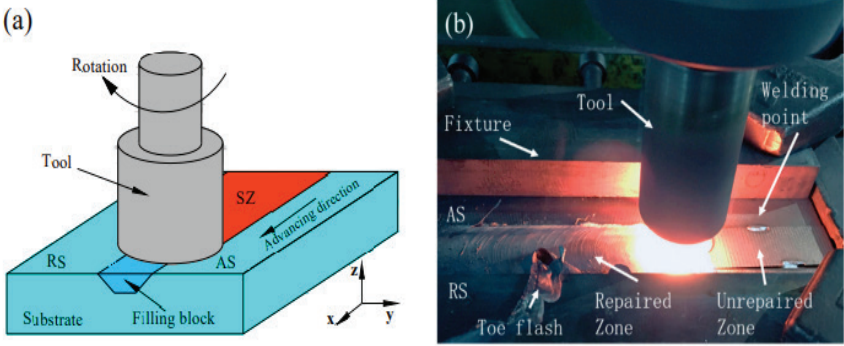
dan önce temperlenmiş martenzittir. Doldurma bloğu çoklu geçiş için lazerle yeniden eritildiğinde, ısı birikimi HAZ'ın sıcaklığının MS sıcaklığının üzerine çıkmasını sağlar. HAZ'ın mikro yapısı östenitleşiyor. Şekil 2 (e) de görüldüğü üzere lazer yeniden eritme onarımı sırasında HAZ yavaş bir soğutma hızında soğutulur ve sonunda katmanlı perlit oluşur. Şekil 2 (f) de görüldüğü üzere yüzeyin mikro yapısı temperlenmiş martenzittir (Liang vd. 2020).



Şekil 2. 34CrNiMo6 Çeliğinde Onarılan Numunelerde Farklı Bölgelerin Mikroyapısı. (A) RZ I'in Mikro Yapısı (B) RZ II'nin Mikro Yapısı (C) RZ III'ün Mikro Yapısı (D) RZ III'ün Mikro Yapısı (Son Paso) (E) HAZ'ın Mikro Yapısı; (F) Yüzeyin Mikro Yapısı

Sürtünme Karıştırma İşlemi

34CrNiMo6 çelik malzemesi kullanım yerlerinde genellikle çok güçlü kuvvet koşullarında hizmet eder ve bu nedenle kaçınılmaz olarak servis hasarıyla karşılaşır. Hasarlı parçaların onarılması uygun onarım yöntemleri ile 34CrNiMo6 çelik yapıların hizmet ömrünü uzatarak üretim ve işletme maliyetlerini düşürmenin önemli bir yolu haline gelmiştir. Lazerle yeniden eritme ile ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) çok zayıf çekme özellikleri gösterdi (Ahmad vd. 2017). Ancak, bazı orta karbonlu düşük alaşımlı çelikler için geleneksel yöntemlerle sarf malzemeleri mevcut değildir veya pahalıdır. Bu sorunu çözmek için, sürtünme karıştırma işlemine (FSP) dayalı yeni bir onarım yöntemi incelenmiştir. FSP, geleneksel sürtünme kaynağından türetilen, sarf malzemesi olmayan bir döner pim aletinin egeleme metal bloğuna ve alt tabakaya daldırıldığı bir katı hal birleştirme işlemidir (Young vd. 2013).

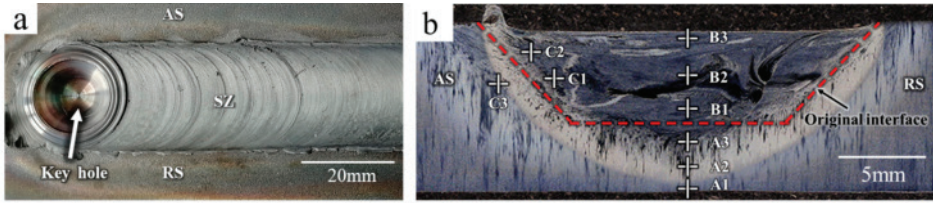


Şekil 3. Sürtünme Karıştırma İşlemi (FSP) Onarımının Şematik Görüntüsü: (A) Şematik Görüntü, (B) Gerçek Süreç. RS, Geri Çekilen Taraf, AS, İlerleyen Taraf, SZ, Karıştırma Bölgesi (Wu Vd. 2019)

Talaşlı imalat sonucu oluşan atıklardan elde edilebilecek blok tamir malzemesi olarak kullanılmıştır. FSP'den türetilen bu yöntem, onarım alanlarında yaygın olarak kullanılabilir. Sürtünme karıştırma kaynağı (FSW), 1991 yılında TWI tarafından geliştirilen gelişmiş bir kaynak işlemidir ve geleneksel ergitme kaynağı tekniklerine göre avantajları nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Thomas vd. 1991). Bunlar arasında daha yüksek eklem verimliliği, düşük distorsiyon ve düşük kalıntı gerilimi

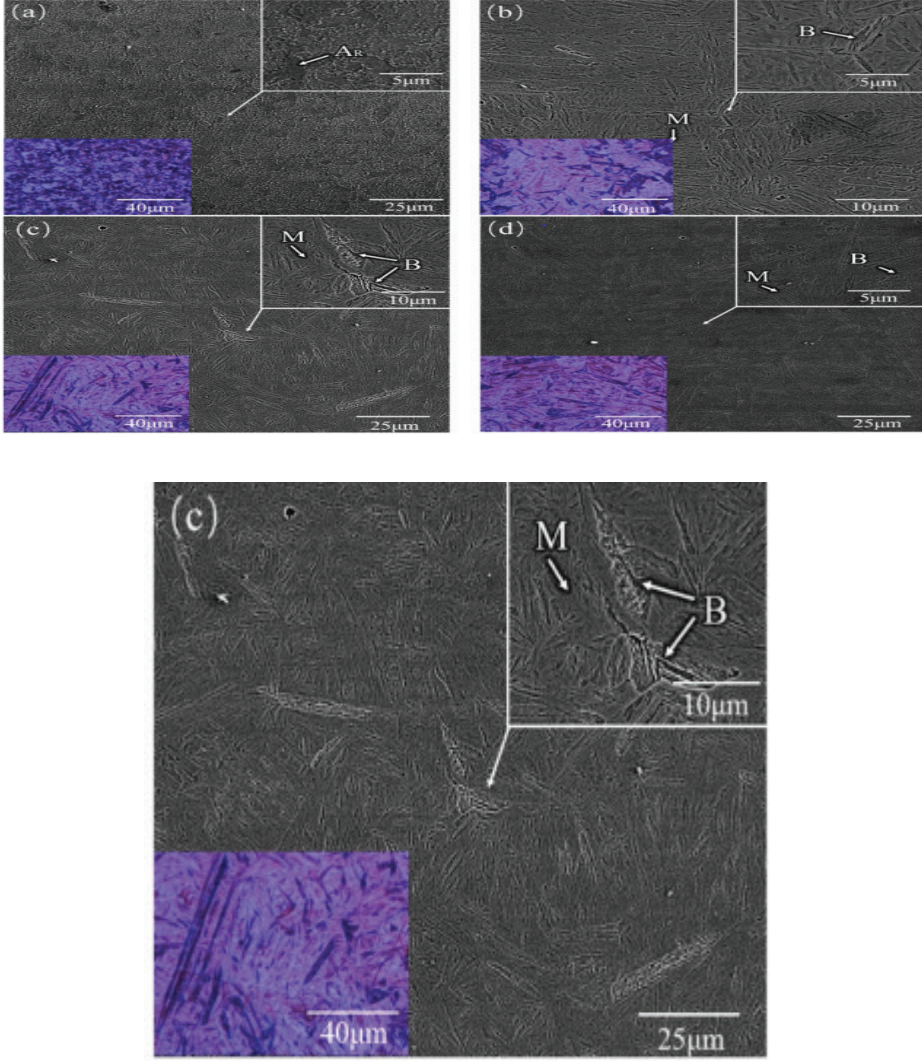
bulunur (Scialpi vd. 2007). Şekil 3 de FSP işleminin şematik görüntüsü görülmektedir.

Şekil 4 de onarım bölgesini ve alt tabakayı içeren onarılan numunenin enine kesit özelliklerini görülmektedir. Onarım bölgesi, SZ'yi, termo-mekanik olarak etkilenen bölgeyi (TMAZ) ve ısıdan etkilenen bölgeyi (HAZ) içeriyordu. Mikroyapıyı daha açık bir şekilde tanımlamak için numune dokuz bölgeye ayrıldı. A1-A3 bölgeleri numunenin altındaydı: A1, malzemenin yakınındaki HAZ , A2, TMAZ ile HAZ arasındaki ara yüze yakın bölge ve A3, numunenin altındaki TMAZ bölgesidir. B1-B3 ise SZ bölgesidir. B1 orijinal arayüze yakın ve B3 yüzeye yakın yerdir. C1-C3 orijinal arayüzün sol üst tarafında bulunur. C1, SZ ile TMAZ arasındaydı, C2 TMAZ'daydı ve C3, TMAZ ile HAZ arasındaki arayüzün yakınındadır.



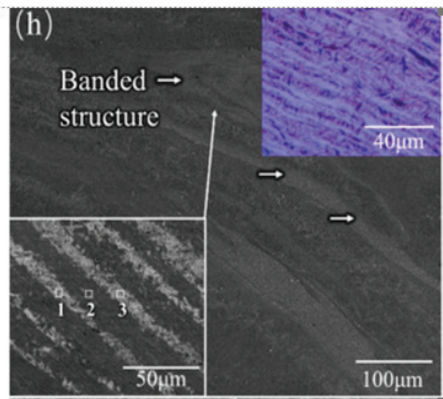
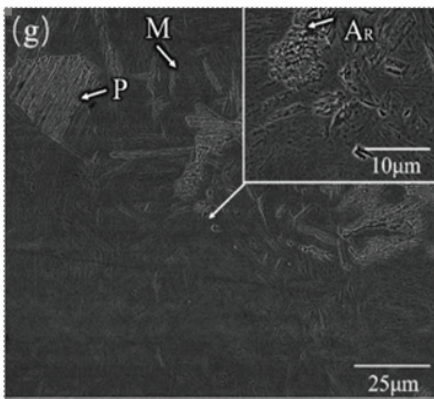
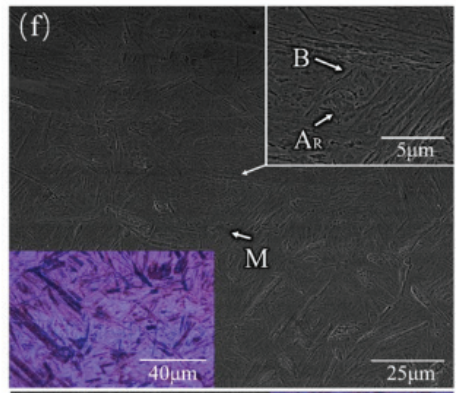
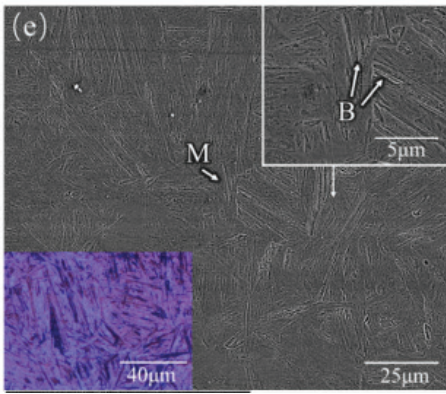
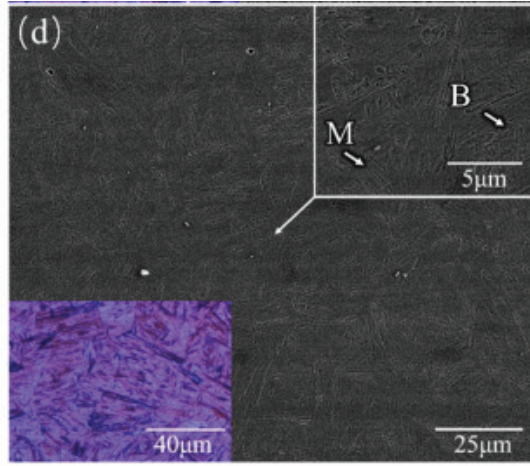
Şekil 4. FSP ile Onarılan Numunelerin Yüzey ve Kesit Özellikleri (A) Onarılmış Numunenin Yüzeyi (B) FSP Tarafından Onarılan Örneğin Kesit Özellikleri (Wu Vd. 2019)

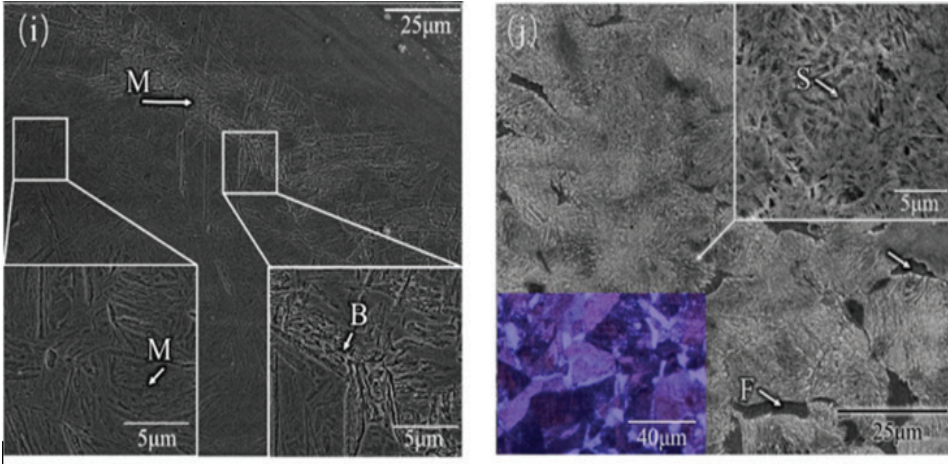
Şekil 5a' da, HAZ'da çok sayıda kalıntı östenit adası (AR) bulunmuştur. Daha önce analiz edildiği gibi, deformasyon ve ısı girdisi faz geçişine neden olmuştur. Bununla birlikte, SZ'den farklı olarak, plakanın alt kısmı doğrudan kelepçe ile temas halinde olduğundan ve deformasyona bağlı dönüşüm tarafından üretilen östenitin dönüştürülmesi için yeterli zamana sahip olmadığı için plakanın altındaki ısı yayma hızı daha hızlıydı. Şekil 5b ile Şekil 5c karşılaştırıldığında, Şekil 5b'deki numunenin daha büyük bir martensitik fraksiyon içerdiği bulundu ve hiçbir kalıntı östenit izi gözlemlenmedi. Şekil 5b, martensit dönüşümü için yeterli zamanın olduğu Şekil 5c'den SZ'ye daha yakın bir alanı göstermektedir.



Şekil 5. FSP ile Onarılmış 34CrNiMo6'nun Tipik SEM Fotoğrafları (A-C) A1-A3 Bölgeleri

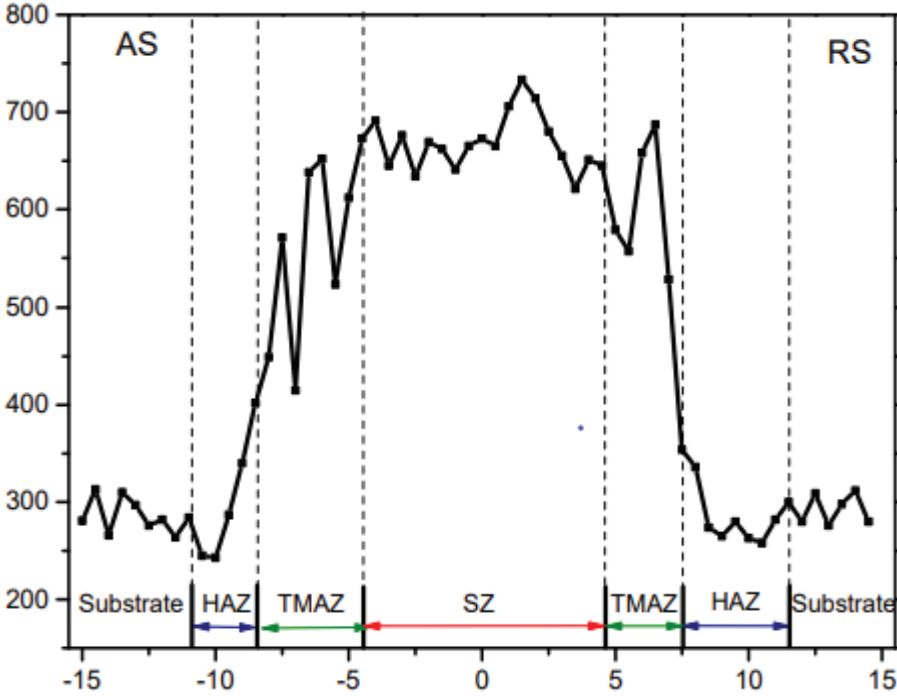
Yapılan işlem sonucu şekil 5d-f'de gösterildiği gibi, SZ'de yüksek hacimli bir çita martensit, düşük beynit ve bir miktar kalıntı östenit bulunmuştur. Şekil 5-g-i de ise en karmaşık mikro yapılar bulunmuştur.





Şekil 6. (d-f) B1-B3 Bölgeleri; (G-İ) C1-C3 Bölgeleri; (J) Alt Tabaka. Renkli Fotoğraflar Optik Mikroskop (OM) Fotoğraflarıdır (AR: Kalıntı Östenit; M: Martensit; B: Bainit; P: Perlit (Wu Vd. 2019)

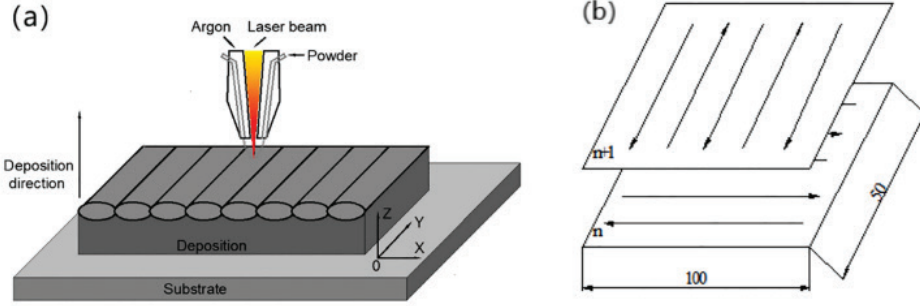
FSP işlemiyle onarıldıktan sonra bölgelerin meknaik olarak sertlikleri alındığında Şekil 7 de yer alan grfaik elde edilmiştir. Onarılan bölgedeki mikrosertlik, alt tabakalardan çok daha yüksekti. Aynı zamanda mikrosertlik değerleri geri çekilen ve ilerleyen tarafta farklılıklar göstermiştir. Ortalama mikrosertlik değeri yaklaşık 650 HV ve yüksek hacimli çıta martensit fraksiyonundan kaynaklandığı bulunmuştur. AR oluşumu nedeniyle TMAZ'da mikrosertlik değerleri (550-620 HV) hafifçe düşmüştür. HAZ'ın mikrosertliği, değeri yaklaşık 360-420 HV olan SZ ve TMAZ'ınkinden çok daha düşük olarak ölçülmüştür. SZ, TMAZ ile karşılaştırıldığında, HAZ sadece ısı girdisinden etkilenmiştir. FSP'nin ısı girdisi, geleneksel füzyon kaynağından çok daha düşüktür. Bu nedenle, tane büyümesi şiddetli değildir ve HAZ küçüktür.



Şekil 7. FSP Tarafından Onarılan 34CrNiMo6 İçin Mikrosertlik Dağılımı. HAZ, Isıdan Etkilenen Bölge, TMAZ, Termo-Mekanik Olarak Etkilenen Bölge (Wu vd. 2019)

Lazerle Katı Biçimlendirme

Geleneksel biçimlendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, lazerle katı biçimlendirme (LSF) teknolojisi, parçaların işleme süresini azalttığı ve verimliliği arttırdığı bilinmektedir. Şekil 8 de LSF ile malzeme üretiminin şematik görünümü yer almaktadır. Öncelikle 34CrNiMo6 malzemesi atomizasyon ile tozu üretilir. 34CrNiMo6 çelik tozu, vakumlu kurutma fırınına yerleştirilir ve vakumla kurutma için 120 °C'de 4 saat tutulur. Daha sonra lazerle katı biçimlendirme işlemi başlar.



Şekil 8. LSF ile 34CrNiMo6 Çeliğinin Şematik Gösterimi: (A) Oluşturma Süreci (B) Tarama Yolu (Shi vd. 2022)

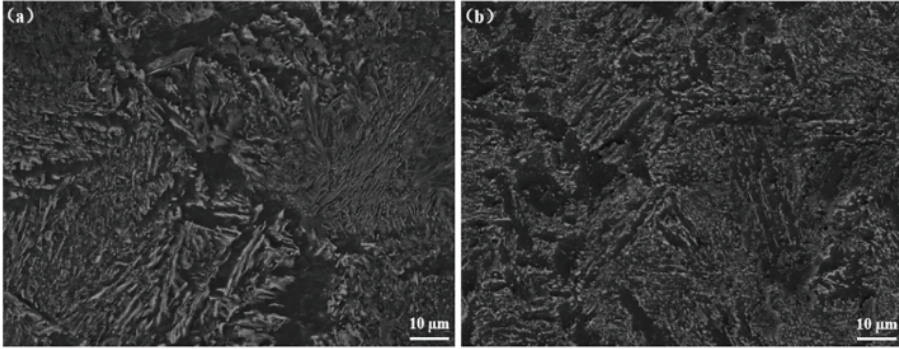
LSF ve Isıl İşlem

Isıl işlem den önce geleneksel parçalar ile LSF li parçalar arasında mikro yapıda büyük bir fark vardır. Bununla birlikte, hazırlama işlemi sırasında tekrarlanan ısıtma döngüsü nedeniyle, LSF li parçalarının mikro yapısı, biriktirme yönü boyunca heterojen olacaktır. Bu arada, LSF li parçaların mikro yapısı daha yüksek östenitleme sıcaklığında daha kaba olacaktır, bu nedenle geleneksel ısıl işlem prosesi, eklemeli imalat parçaları için uygun değildir (Bhattacharya vd. 2011).

Aynı zamanda bazı çalışmalarda 4340 ve diğer çeliklerin mekanik özelliklerinin, su verme ve tavlama işlemi sırasında alaşım elementlerinin yeniden dağılımı ve mikro yapının değişmesi ile ilgili olduğuna da dikkat çekti. Bununla birlikte, LSF ile 34CrNiMo6 çeliğinin son ısıl işleminin etkileri üzerine araştırmalar halen devam etmektedir (Clarke vd. 2014).

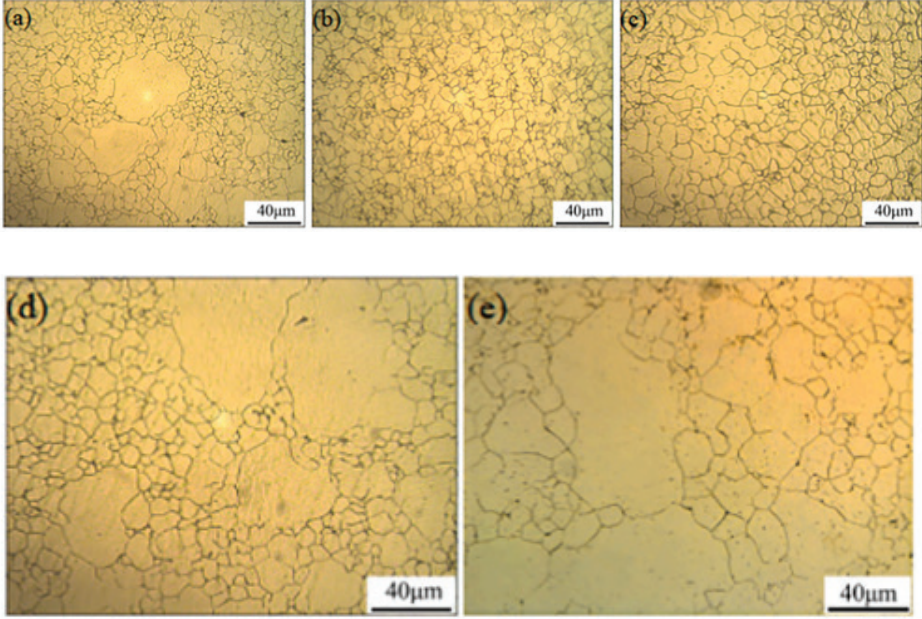
34CrNiMo6 çeliğinin geleneksel ısıl işlem süreci 850 °C östenitleme ardından su vermedir. Yaklaşık 580 °C temperleme yapılır. Isıl işlem den sonra malzeme mükemmel mukavemet ve plastik tokluk gösterir. AISI4340 çeliğinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri ve plaka veya içneli karbürün düşük temperleme sıcaklığında çökeceğini, yüksek sıcaklıkta temperleme ile çökeltilen karbürün küresel bir morfoloji gösterdiğini bulundu. Temperleme sıcaklığının ve tutma süresinin artmasıyla malzemenin mukavemeti ve sertliği azaldı ancak tavlama sıcaklığının ve

tutma süresinin artmasıyla uzama arttı. Bunlar arasında tavlama sıcaklığının etkisi bekletme sıcaklığından daha önemliydi. Temperleme sıcaklığı ve tutma süresinin de çözünen atomların yeniden dağılımı üzerinde önemli etkileri vardır. Farklı tavlama sıcaklıklarında karbon atomlarının ve alaşım elementlerinin konumlarını ve dağılımlarını araştırmış ve numune 325 °C'de tavlendiğinde Cr, Mn, Mo, Ni ve diğer elementlerin çökelmediğini bulmuşlardır. (Lee vd. 1999). Şekil 8 de ana malzeme ve LSF li şekillendirilen malzemenin mikroyapısı göstermektedir. Burada standart bir ısıl işlem rotasıyla yani 850 °C 1 saat östenitlenip yağda söndürme ve 580 °C 2 saat temperleme sonrası havada soğutma ile ferrit ve karbürden oluşan perlit olduğu görülmektedir.



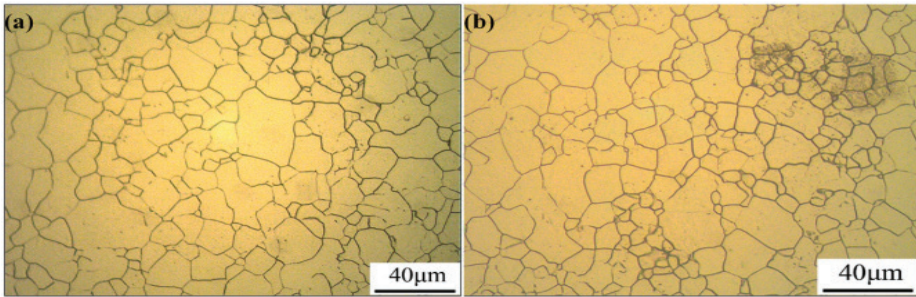
Şekil 9. 34CrNiMo6 Çeliğinin Mikro Yapısı: (A) Alt Katmanın (B) LSF Li Numunenin (Lazer Katı İçerisindeki) (Shi Vd. 2022)

Şekil 10 da ise farklı östenitleme sıcaklıklarında 34CrNiMo6 çeliğini oluşturan lazer katı içindeki orijinal östenit tanelerinin görüntüsü görülmektedir. Sıcaklık ile birlikte tane boyutunun çok farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Östenitleme sıcaklığı 830 °C olduğunda, tane boyutu yaklaşık 9,8 µm ve daha sonra tane boyutu östenitleme sıcaklığının artmasıyla artar. Östenitleme sıcaklığı 870 °C'ye yükseldiğinde, tane kalılaşmaya başlar. Östenitleme sıcaklığı 890 °C olduğunda, tane boyutu belirgin bir şekilde büyür ve 830 °C'de su verilmiş numunelerin boyutunun iki katıdır. Buradan benimsenen östenitleme sıcaklığı 830 °C olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 10. Farklı Östenitleme Sıcaklıklarında Biriktirilmiş Tabakanın (Lazer Katı İçerisindeki) Östenit Taneleri: (A) 810 °c; (B) 830 °c; (C) 850 °c; (D) 870 °c; (E) 890 °c (Shi Vd. 2022)

Şekil 11 de alt tabaka 34CrNiMo6 malzemesinin farklı östenitleme sıcaklığında östenit tane boyutu görülmektedir. Lazer katı içerisindeki malzemeye göre daha büyük taneleri yer almaktadır.



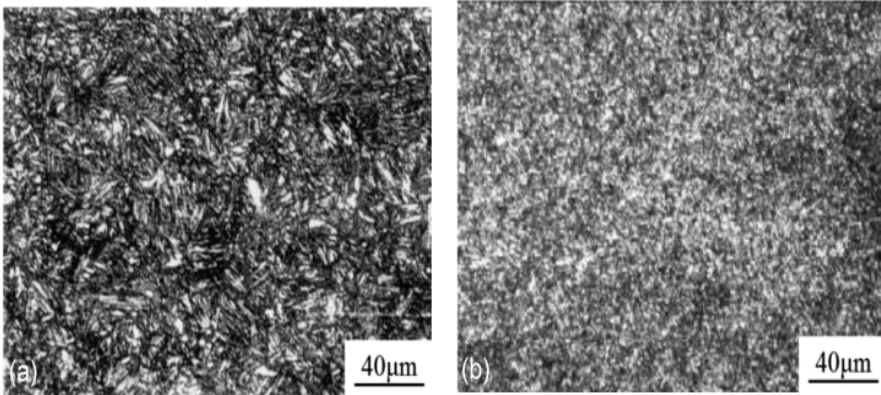
Şekil 11. Farklı Östenitleme Sıcaklıklarında 34CrNiMo6 Çelik Alt Tabakanın Östenit Taneleri (A) 830 °c (B) 850 °c (Shi Vd. 2022)

Farklı sıcaklıklarda su verme işleminden sonra LSF 34CrNiMo6 çeliğinin mikrosertlik sonuçları da ölçülmüştür. Isıl işlem görmüş 34CrNiMo6 çelik biriktirilmiş numunelerin mikrosertliğinin, su verme sıcaklığı 810 °C'den 890 °C'ye yükseldikçe önce artan ve sonra azalan bir eğilim gösterdiği ve 830 °C arasında maksimum sertliğe ulaştığı görülebilir. Aynı zamanda östenit tanelerinin bu sıcaklık aralığındaki en küçük boyutuna sahip olduğu şekil 9 da gösterilmişti. Östenit tane boyutunun küçük olmasıyla sertliğin artması yakından ilişkilidir. 34CrNiMo6 çelik alt tabaka ise 850 °C'de su verilmiş ile daha yüksek bir sertleşebilirliğe sahip olduğu bulunmuştur.

Geleneksel Malzemeye Isıl İşlem Çalışmaları

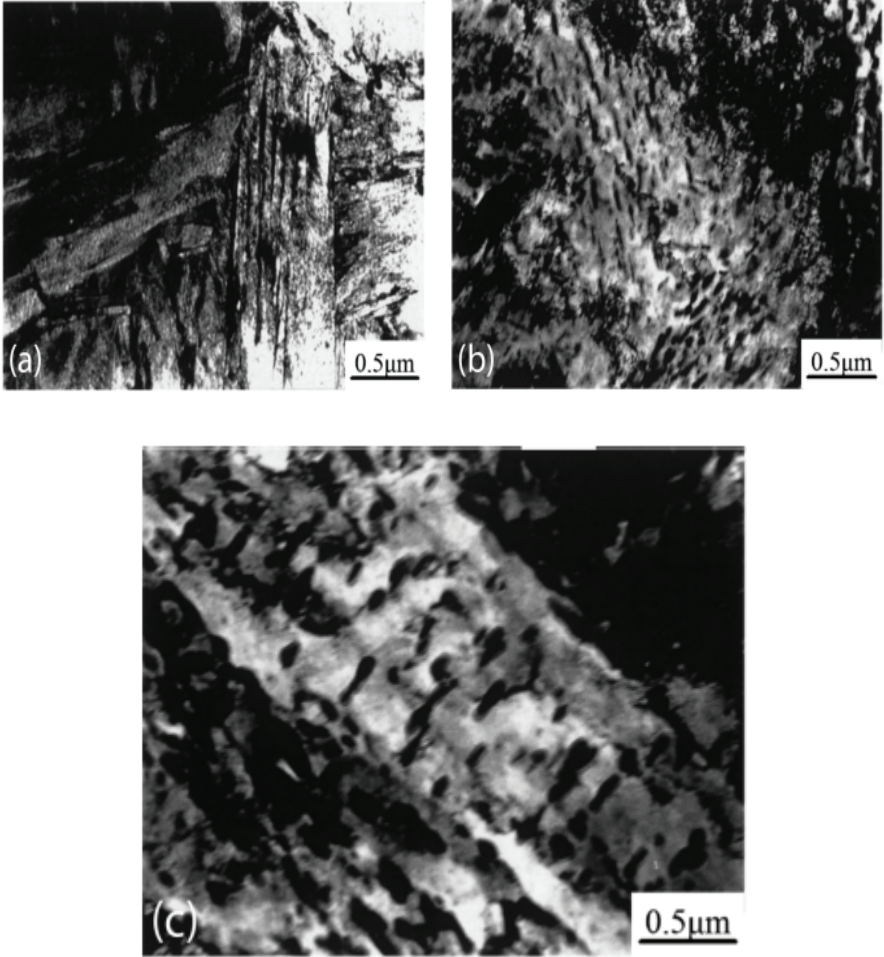
AISI 4340 normalde uçaklarda iniş takımı, otomotivde krank milleri, uçak şasisi, somunlar ve çelik silindir gibi farklı yapısal uygulamalar için ısıl işlem görmüş koşullarda kullanılır, çünkü ısıl işlem görmemiş koşullarda tokluğu azdır (Manokaran vd. 2020)

Daha önce bahsedildiği gibi, 34CrNiMo6 çeliği, tam martensitik bir mikro yapıya su verilerek yüksek mukavemetle elde edebilir. Başlıca morfolojilerine göre martensit, çita ve plaka martensit olmak üzere iki ana tipe ayrılabilir. Şekil 12 (a) da görüldüğü üzere çita tipi martensit vardır.



Şekil 12 . 34CrNiMo6 Numunelerinin SEM Götüntüleri A) Yağda Söndürülmüş (870 °C/30 Dk), B) Yağda Söndürülmüş (870 °C/30 dk) ve 660 °C'de temperlenmiş (Ge and Wang 2019)

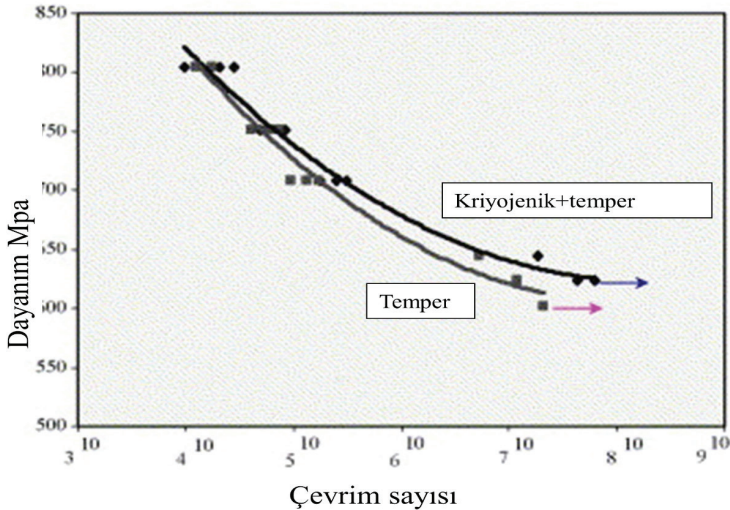
Temperleme işlemi sırasında martensit ayrışır ve daha sonra ferrite ve -karbürün yarı kararlı fazına dönüşür. Sementit daha sonra oluşur ve sonunda ferrit matrisi yeniden kristalleşir. Yeniden kristalize edilen ferritin çoğu, mukavemet ve tokluğun iyileştirilmesine katkıda bulunan kaotik bir düzene ve birbirine kenetlenen bir yapıya sahiptir. Böylece 34CrNiMo6 çeliği, su verme ve temperleme işlemlerinden sonra iyi entegre mekanik özellikler elde edebilir (Muhammad and Ameen 2018). Çıta martenziti genellikle masiftir, birbirine bağlı plakalar şeklinde kristallere sahiptir ve Şekil 13 te görülebilen neredeyse aynı oryantasyona sahiptir (Miyamoto vd. 2009). Ayrıca, plaka boyutları östenit tanelerinin boyutları ile sınırlıdır, bu da küçük martensit tanelerinin ince bir iğne yapısı oluşturduğu anlamına gelir (Shibata vd. 2017). Bu tür bir yapı nispeten istenen bir mikro yapıya sahiptir. Farklı temperleme sıcaklıklarında kaydedilen 34CrNiMo6 çeliğinin görüntüleri Şekil 13 b ve 13 c'de gösterilmektedir. 570 °C lik temperleme sıcaklığı ile şekil 13 c karşılaştırıldığında, sementitin küreselleşme derecesi, daha yüksek sıcaklık nedeniyle daha iyi olduğu görülmektedir. Tane sınırı dislokasyon hareketini engelleyebildiğinden, tane boyutundaki bir azalma dislokasyonun hareketini azaltabilir ve bu da mekanik özellikler üzerinde önemli bir etki ile sonuçlanabilir. Bu nedenle, 34CrNiMo6 çeliğinin çekme mukavemeti 660 °C'de 570 °C ile karşılaştırıldığında azalır. Buna karşılık, 34CrNiMo6 çeliğinin tokluğu, sementitin kırılma dayanıklılığından dolayı artan tavlama sıcaklığı ile artar. Sementit boyutunun mekanik davranış üzerinde etkisi vardır. Genel olarak, ince sementitten oluşan bir mikro yapı, bundan daha güçlü olduğu kadar daha serttir. Tüm temperlenmiş numuneler için kırılma özelliklerine her zaman sünek mekanizma hakimdir. Mikroyapılarda gözlemlenen özellikler, tüm tavlama sıcaklıklarında kırılma yüzeylerinin çoğu için tipik olduğu görülmüştür.



Şekil 13. 870 °C 30 Dk Östenitlenip Yağda Su Verilmiş Ve Farklı Temperleme Sıcaklıklarında Temperlenmiş 34CrNiMo6 Numunelerinin TEM Görüntüleri A) Yağda Su Verilmiş (870 °C/30 Dk), B) 870 °C 30 Dk Östenitlenip Yağda Su Verilmiş 570 °C'de Temperlenmiş, C) 870 °C 30 Dk Östenitlenip Yağda Su Verilmiş 660 °C'de Temperlenmiş

Kriyojenik işlem son yıllarda yeniden canlanan metallerin özelliklerini iyileştirmeye yönelik tamamlayıcı bir işlemdir. Araştırmacılar dikkatlerini bu süreci incelemeye ve kriyojenik yoluyla çeliklerinin verimliliğini artırmaya odakladılar. Bununla birlikte, kriyojenik işlem etkisine katkıda bulunan ana faktörün, kalıntı östenitin uzaklaştırılması, yani

östenitten martensite tam dönüşüm olduğu kabul edilmektedir. Kriyojenik işlemin çeliğin özelliklerini iyileştirebildiği ikinci mekanizma, temperlenmiş martensit yapısında dağılmış çok küçük η -karbürlerin oluşumudur (Barron 1992). Yapılan bir bir grup numune, argon atmosferi altında bir tüp fırında $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 15 dakika östenitleme ve ardından yağla su verme dahil olmak üzere geleneksel sertleştirmeye tabi tutulmuştur. Yağla soğutulan numunelerin yaklaşık $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yavaş soğutulması ve bu düşük sıcaklıkta 24 saat tutulmasıyla kademeli olarak kriyojenik işlemi de uygulamışlardır. Hızlı soğutma ve ısıtmadan kaynaklanan termal şokları önlemek için bu işlemler yavaş yapılmıştır. Oda sıcaklığına da aynı yavaşlıkta geri getirilmiştir. Ardından, 2 saat boyunca aynı koruyucu argon atmosferi kullanılarak $200, 300$ ve $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik üç sıcaklıkta temperleme gerçekleştirmiştir. Böylece kriyojenik işlem sonrası temper yapılan numunelerin sertliği sadece temper yapılan malzemelere kıyasla arttığı görülmüştür. Yorulma testi de yapılarak kriyojenik işlemin etkisi araştırılmıştır. Şekil 14 te görüldüğü üzere S-N eğrileri verilmiştir. Buradan kriyojenik işlem sonrası temperleme yapılan numunelerin yorulma dayanımının daha iyi olduğu görülmektedir.



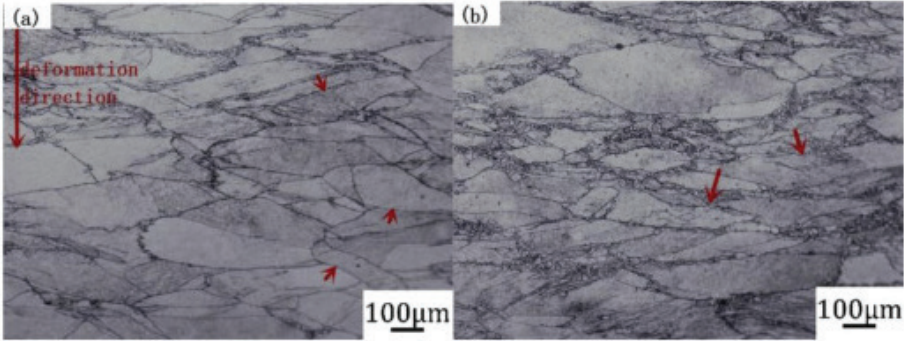
Şekil 14. Temperlenmiş ve Kriyojenik+Temperleme Yapılmış Malzemelerin S-N Eğrisi (Zhirafar vd. 2007)

Kullanım alanlarında 34CrNiMo6 malzemesi iyi bilindiği gibi, genel olarak çentikler olarak adlandırılan geometrik süreksizlikler içerir ve ciddi yüklenme geçmişlerine maruz kalır. Bu koşullar altında, en yüksek gerilmeler ve şekil değiştirmeler genellikle çentik köklerine yakın bulunur; bu gerilim ve gerinim konsantrasyonu fenomenleri nedeniyle nominal elastik gerilimler bile çentiklerin çevresinde elastoplastik gerilim-gerinim alanları ile sonuçlanabilir. Bu anlamda, çentik kökündeki döngüsel yüklemenin neden olduğu yorulma hasarı birikiminin, yorulma başarısızlığı ile sonuçlanabilecek çatlak başlangıcına ve çatlak ilerlemesine yol açması muhtemeldir. Bazı çalışmalarda bu çelik için düşük devirli yorulma deneyleri yapılmıştır. Bu bağlamda, DIN 34CrNiMo6'nun monotonik ve döngüsel davranışının sistematik Karakterizasyonu araştırılmıştır. Böylece daha güvenli ve güvenilir mekanik bileşenlerin geliştirilmesinde kullanılacak daha doğru sayısal ve analitik modeller geliştirmeye katkı sağlanmıştır (Branco vd. 2016).

34CrNiMo6 çeliğinden yapılan bileşenlerin yorulma ömrünü termomekanik proses optimizasyonu ile iyileştirmek içinde çalışmalar yapılmıştır. Isıl işlem ve deformasyon durumu ile ilgili olarak malzeme davranışı hakkında bilgi elde etmek için numunelere fiziksel simülatörde çeşitli prosedürler uygulanmaktadır. İşlenen malzemelerin mekanik özellikleri araştırılır ve en iyi mekanik özellikleri sağlayan prosedür araştırılır. Ardından, yüksek devirli yorulma testleri için numuneler, standart termal prosedür ve seçilmiş termomekanik prosedür ile işlenir. Standart malzeme ve termomekanik olarak işlenmiş malzeme için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. 34CrNiMo6 çeliğinin çekme ve yorulma özelliklerini önemli ölçüde iyileştiren, su verme öncesinde plastik deformasyon ile malzeme yorulma davranışının iyileştirilebileceği bulunmuştur (Dzuga vd. 2010).

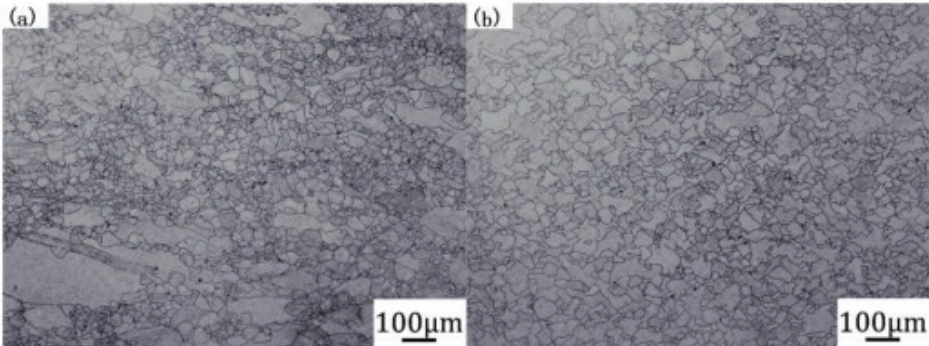
Farklı oranlarda deformasyon uygulayarak farklı östenitleme sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Şekil 15 te kırmızı oklarla gösterildiği gibi, sıkıştırma yönüne göre yönlendirilmiş dalgalı lokalize bantlarla homojen olmayan deformasyon olarak görünen akış lokalizasyonunun bu koşullar altında gerçekleştiği görülmektedir. Metallerde plastik akışın homojen olmaması her yerde görülen bir olgudur (Sagapuram vd. 2016). Örneğin, kayma bantları ve ikizler, mikro yapı seviyesindeki homojensizliğin gös-

tergesidir. Yüksek sıcaklık ve yüksek gerinim oranı altında, alaşımli çeliğin deformasyon mekanizması esas olarak kaymaya dayanır. Malzeme daha yüksek gerinim oranlarında deforme olduğunda, akış lokalizasyonu, adyabatik sıcaklık artışından dolayı lokalize kaymadan kaynaklanabilir. Ek olarak, akış lokalizasyonu, orijinal tane sınırlarında oluşan küçük yeniden kristalleşmiş tanelerin neden olduğu tane sınırı kayması bölgesinde yoğunlaşan deformasyondan kaynaklanabilir (Li vd. 2014).



Şekil 15. $1s^{-1}$ Deformasyon Oranında Farklı Sıcaklıklarda Deforme Olmuş Numunelerin Optik Mikroyapıları (a) 1173K (b) 1223K (Gong vd. 2018)

Şekil 16 da kısmi dinamik yeniden kristalleşmenin esas olarak bu bölgede meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, yeniden kristalleşme tanelerinin hızlı büyümesinin enerji tükettiğini göstermektedir.



Şekil 16. 1273K de Farklı Gerinim Hızlarında Deforme Olmuş Numunelerin Optik Mikroyapıları (a) $0.1 s^{-1}$ (b) $0.01 s^{-1}$.

SONUÇ

Bu çalışma ile 34CrNiMo6 malzemesinin kullanım alanları, uygulanan ısıl işlemleri, geleneksel ve yenilikçi üretim ve onarım teknikleri araştırılmıştır. Farklı östenitleme ve temperleme sıcaklığı ile optimum değerler bulunmuştur. Kriyojenik işlem olarak çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bir sonraki çalışmalarda bu malzemenin kriyojenik işleminde dahil ederek farklı ısıl işlem rotalarıyla oluşan fazların kinetiği ve ayrıntılı kristalografik analizleri incelenebilir. 34CrNiMo6 malzemesiyle alakalı yapılacak olan tez ve yayınlara yol gösterici bir derleme niteliğindedir.

KAYNAKÇA

Ahmad, Z., Shahid, M., & Abbas, M. (2017). Effect of multiple repair welding on mechanical performance and corrosion resistance of quenched and tempered 30CrMnSiA steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(4), 1233-1243.

<https://doi.org/10.1007/s40430-016-0535-5>

Barron, R. F. (1982). Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance. *Cryogenics*, 22(8), 409-413.

[https://doi.org/10.1016/0011-2275\(82\)90085-6](https://doi.org/10.1016/0011-2275(82)90085-6)

Belyaev, A. K., Polyanskiy, A. M., Polyanskiy, V. A., Sommitsch, C., & Yakovlev, Y. A. (2016). Multichannel diffusion vs TDS model on example of energy spectra of bound hydrogen in 34CrNiMo6 steel after a typical heat treatment. *International journal of hydrogen energy*, 41(20), 8627-8634.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.198>

Bhattacharya S, Dinda GP, Dasgupta AK. Microstructural evolution of AISI 4340 steel during direct metal deposition process. *Mater Sci Eng A* 2011;528(6): 2309-18.

<https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.11.036>

Branco, R., Costa, J. D., Antunes, F. V., & Perdigão, S. (2016). Monotonic and cyclic behavior of DIN 34CrNiMo6 tempered alloy steel. *Metals*, 6(5), 98. <https://doi:10.3390/met6050098>

Clarke AJ, Miller MK, Field RD. (2014). Atomic and nanoscale chemical and structural changes in quenched and tempered 4340 steel. *Acta Mater*;77(4):17-27.

<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.05.032>

Dzugan, J., Novy, Z., & Konopik, P. (2010). Improvement of fatigue properties of 34CrNiMo6 steel by controlled thermomechanical treatment. *Metal* 2010, 421-426.

Ge, Y., & Wang, K. (2019). Effect of tempering temperature on precipitate evolution and mechanical properties of 34CrNiMo6 steel. *Mater. Tehnol*, 53, 527-534.

<https://doi.org/10.17222/mit.2018.248>

Gong, B., Duan, X. W., Liu, J. S., & Liu, J. J. (2018). A physically based constitutive model of As-forged 34CrNiMo6 steel and processing maps for hot working. *Vacuum*, 155, 345-357.

<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.06.022>

Hafeez, M. A., & Farooq, A. (2018). Microstructural, mechanical and tribological investigation of 30CrMnSiNi2A ultra-high strength steel under various tempering temperatures. *Materials Research Express*, 5(1), 016505.

<https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa9fd3>

Huang, C., Lin, X., Yang, H., Liu, F., & Huang, W. (2018). Microstructure and tribological properties of laser forming repaired 34CrNiMo6 steel. *Materials*, 11(9), 1722. <https://doi.org/10.3390/ma11091722>

Kaierle, S., Overmeyer, L., Alfred, I., Rottwinkel, B., Hermsdorf, J., Wesling, V., & Weidlich, N. (2017). Single-crystal turbine blade tip repair by laser cladding and remelting. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 19, 196-199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.04.001>

Kattire, P., Paul, S., Singh, R., & Yan, W. (2015). Experimental characterization of laser cladding of CPM 9V on H13 tool steel for die repair applications. *Journal of Manufacturing Processes*, 20, 492-499.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.06.018>

Lee WS, Su TT. (1999). Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions. *J Mater Process Technol*;87(1-3):198-206.

[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00351-](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00351-)

Li, J., Liu, J., & Cui, Z. (2014). Characterization of hot deformation behavior of extruded ZK60 magnesium alloy using 3D processing maps. *Materials & Design* (1980-2015), 56, 889-897.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.037>

Liang, R., Huang, C., Hao, H., Liu, F., Liu, F., Song, M., & Ke, L. (2020). Microstructure and mechanical properties of 34CrNiMo6 steel repaired by laser remelting. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 13870-13878.

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.100>

Manokaran, M., Kashinath, A. S., Jha, J. S., Toppo, S. P., & Singh, R. P. (2020). Influence of tempering in different melting routes on toughness behavior of AISI 4340 steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(10), 6748-6760.

<https://doi.org/10.1007/s11665-020-05164-3>

Miyamoto, G., Takayama, N., & Furuhashi, T. (2009). Accurate measurement of the orientation relationship of lath martensite and bainite by electron backscatter diffraction analysis. *Scripta Materialia*, 60(12), 1113-1116. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2009.02.053>

Nascimento, M. P., Voorwald, H. J. C., & FILHO, J. D. C. P. (2012). Effects of several TIG weld repairs on the axial fatigue strength of AISI 4130 aeronautical steel-welded joints. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 35(3), 191-204. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-2695.2011.01606.x>

Sagapuram, D., Efe, M., Trumble, K. P., & Chandrasekar, S. (2016). Flow transitions and flow localization in large-strain deformation of magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 659, 295-305.

<https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.02.054>

Scialpi, A.; Filippis, L.A.C.D.; Cavaliere, P. (2007). Influence of shoulder geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6082 aluminium alloy. *Mater. Des.* 28, 1124-1129.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.01.031>

Shi, S., Huang, C., Liu, F., Chen, W., Liu, F., & Xia, C. (2022). Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of 34CrNiMo6 steel by laser solid forming. *Journal of Manufacturing Processes*, 78, 308-318.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.04.017>

Shibata, A., Ichikawa, F., Adachi, H., Yamasaki, T., & Tsuji, N. (2017). Cooperative strain accommodation over grains in martensitic transformation from Fe-Ni nanocrystalline austenite. *Philosophical Magazine Letters*, 97(4), 132-139. <https://doi.org/10.1080/09500839.2017.1292057>

Thomas, W.M.; Nicholas, E.D.; Needham, J.C.; Murch, M.G.; Templesmith, P.; Dawes, C.J. Friction STIR Welding, International Patent Application. U.S. Patent US5460317A, 8 December 1991.

Wu, Z., Huang, C., Liu, F., Xia, C., & Ke, L. (2019). Microstructure and mechanical properties of 34CrNiMo6 steel repaired by friction stir processing. *Materials*, 12(2), 279.

<http://dx.doi.org/10.3390/ma12020279>

Young, J.; Field, D.; Nelson, T. (2013). Material Flow during Friction Stir Welding of HSLA 65 Steel. *Metall. Mater. Trans. A*, 44, 3167–3175.

<https://doi.org/10.1007/s11661-013-1684-0>

Zhirafar, S., Rezaeian, A., & Pugh, M. (2007). Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 298-303.

<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.12.046>

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI

Mustafa GÖKTAŞ¹, Abdulmecit GÜLDAŞ²

Öz: Günümüzde plastik malzemeler sağladıkları avantajlar ve sahip oldukları üstün özelliklerinden dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Çevre üzerinde bazı olumsuz etkilerinin ortaya çıkmasına rağmen vazgeçilmez bir endüstriyel malzeme olmalarının yanında kullanım alanları da sürekli genişlemektedir. Plastik malzemelerin birçoğu ısı ile şekillendirilmektedirler. En çok kullanılan ısı ile şekillendirme yöntemlerinden birisi de plastik enjeksiyon kalıplama tekniğidir. Bu yöntemle üretilen plastik ürünler; şekil, boyut, renk ve yüzey özellikleri açısından genellikle son halini almış duruma gelirler. Genellikle nitelikli çelik alaşımlardan üretilen kalıplar üzerinde plastik ürüne uygun boşluklar bulunmaktadır. Boşluğa dolan ergiyik plastik katılaştıktan sonra kalıp yarımları ayrılır ve çıkarma sistemi ürünü kalıp dışına çıkarır. Yeni parça üretimi için süreç tekrarlanın ve kalıplama işlemi döngüsel olarak devam eder. Plastik enjeksiyon kalıplama ısıtma ve soğutma etkileri altında gerçekleşen bir üretim metodu olmasından dolayı bu sürecin kontrollü bir biçimde yapılması ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Isıtma esnasında plastik malzeme granül halde bulunduğu için kaliteyi asıl etkileyen süreç plastik malzemenin şeklini aldığı soğutma safhası adıdır. Plastik malzemenin soğuması olayı aslında kalıplama çevriminin safhaları olan dolun, ütüleme, soğutma ve çıkarma adımlarının tümünde devam eder. Bu nedenle soğutma sistemi tasarımında tüm adımlarda sıcaklığın etki göz önünde bulundurulmalıdır. Plastik enjeksiyon kalıplama, kalıp

1 Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara / Türkiye, e-mail: mustafagoktas@gazi.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-8742-9114

2 Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara / Türkiye, e-mail: aguldas@gazi.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-1865-2272

içerisine ergiyik plastikle gelen ısının soğutma kanallarındaki su ile kalıptan uzaklaştırılması biçiminde işleyen bir ısı transferi sürecidir. Kalıp üzerindeki soğutma sistemi bu ısı aktarımını etkili ve verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamakla görevlidir. Etkili bir soğutma sistemi soğutma hızını arttırarak toplam çevrim süresini kısaltır. Soğutma esnasında eş sıcaklık dağılımının sağlanması ise ürün kalitesi açısından son derece önemlidir. Plastik parça üzerindeki çökme, çarpılma, boşluk ve çapak gibi kusurların oluşumunun önlenmesi için soğutma sisteminin tasarımı iyi belirlenmelidir. Plastik enjeksiyon kalıpları plastik enjeksiyon makinesine bağlanarak kalıplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Kalıbın açılıp kapatılması, kalıba ergiyik plastiğin basımı, itici sistemi ile plastik ürünün dışarı atılması plastik enjeksiyon makinesi tarafından gerçekleştirilir. Soğutma kanalları, bağlantı rakor ve hortumları, kalıp şartlandırıcı ve chiller soğutma ünitesi soğutma sistemi elemanlarıdır ve genellikle enjeksiyon makinesinde bağımsız çalışmaktadır. Soğutma sisteminde kanalların boyutları, yerleşimi, dağılım sıklığı, kanal uzunluğu ısı aktarımı ve dağılımını doğrudan etkilemektedir. Soğutma suyu sıcaklığı ve debisi, kalıp malzemesinin ısıl iletkenliği gibi parametreler soğutma sistemi tasarımında belirleyici rol oynamaktadır. Soğutma kanalları kalıp plakaları üzerinde matkap ile delikler delinerek oluşturulmaktadır. Doğrusal delikler eğimli hatlara sahip kalıp boşluklarının düzgün bir şekilde soğutulmasını sağlayamayacağından kalıp boşluğunu uyumlu olarak belirli bir mesafeden takip eden şekil uyumlu soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişen imalat teknikleri ile şekil uyumlu soğutma kanallarının üretimi mümkün hale gelmektedir. Eklemeli imalat, katmanlı sert lehimleme gibi imalat yöntemleri ile şekil uyumlu kanallar başarılı bir şekilde üretilebilmektedir. Şekil uyumlu soğutma kanalları kullanımı ile çevrim süresinin kısalırken parça üzerindeki çarpılmaların azaldığı birçok çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Soğutma Sistemi Tasarımı, Sıcaklık Kontrolü, Çevrim Süresi, Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları

GİRİŞ

Plastikler, petrolün enerji amaçlı kullanımının gittikçe yaygınlaştığı dönemlerde, rafine edildikten sonra atık olarak yok edilmeye çalışılan değersiz bir madde olarak görülmekteydi. 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra içine eklenen katkı maddeleriyle ürüne dönüştürülebilir bir mal-

zeme olduğu keşfedilmiştir. Plastik malzemeler sağladığı önemli avantajlar sayesinde geleneksel malzemeler olan ahşap, seramik ve metallerin yanında yerini almıştır. Ucuzluğu, hafifliği, seri üretime uygunluğu, yalıtkan oluşu, kimyasal kararlılığı gibi birçok özelliği sayesinde plastik malzemeler, günümüzün vaz geçilmez üretim malzemesi haline gelmiştir ve günlük hayatın hemen her alanında kullanılmaktadır. Plastik malzemelerin varlığı, kullanıldığı otomotiv, medikal, ambalaj, elektronik, uzay ve havacılık gibi pek çok alanın da gelişmesine hız kazandırmıştır.

Plastik malzemelerin ürüne dönüştürülmesi için çok sayıda üretim yöntemi geliştirilmiştir. Plastik malzemeler ısı karşısında yumuşayarak ergiyik haline gelebilmektedirler. Kullanılan üretim yöntemlerinde plastik malzemelerin bu özelliğinden faydalanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon kalıplama, şişirme, vakum kalıplama, dönel kalıplama; plastik malzemelerin ürüne dönüştürülmesinde en yaygın kullanılan yöntemler arasındadır.

Plastik malzemeler günlük hayatın hemen her alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Ucuz ve kolay işlenebilir olmaları, yoğunluklarının düşük olması, ısı ve elektriksel iletkenliklerinin düşük olması, şeffaflık, geniş renk seçenekleri, korozyon direnci ve tekrar işlenebilir olmaları gibi birçok avantajlı özelliğe sahiptirler.

Plastik malzemeler ısı etkisi ile sertliklerini kaybedip akışkan hale gelirler. Bu durum plastik malzemelerle seri bir şekilde üretim yapma kolaylığı sağlar. Plastik malzemelerin seri üretim teknikleri; plastik enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon kalıplama, şişirme kalıplama, vakum kalıplama ve döner kalıplama vb. şeklinde sayılabilir.

Plastik malzemelerin şekillendirilerek ürün haline getirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi de plastik enjeksiyon kalıplama yöntemidir. Bu yöntem ile üretilen plastik ürünler genellikle ikincil bir işleme ihtiyaç duyulmadan nihai haline gelmiş olurlar. Farklı boyut ve geometriye sahip plastik ürünlerin özdeş ve seri olarak üretilmesini sağlayan bu yöntem üretim maliyetlerinde de avantaj sağlamaktadır.

Kalıplama işlemi, plastik enjeksiyon makinesine bağlanarak çalıştırılan kalıp sayesinde gerçekleştirilir. Kalıplama esnasında sıcaklık, basınç, zaman ve hız para metreleri kontrol edilerek en uygun şartlar

oluşturulmaya çalışılır. Kalıp, genellikle iki yarımından oluşur ve seri bir şekilde kapanıp açılabilir.

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi; dolum, ütüleme, soğutma, kalıptan çıkarma gibi temel safhalardan oluşur. Isıtılarak ergiyik haline getirilmiş olan plastik malzeme, çelik plakalar üzerine işlenmiş, ürün geometrisine uyumlu kalıp boşluklarına basınç ile enjekte edilir. Kalıp içine dolan plastik malzeme soğumaya başlar. İstenen katılaşma seviyesine ulaşıncaya kadar kalıp doldurulmaya çalışılarak basınç altında tutulur. Ergiyik plastiğin soğuyarak katılaşmasıyla plastik ürün kalıptan çıkarılır. Bu işlemlerin arka arkaya tekrarı ile seri üretim gerçekleştirilmiş olur. Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi döngüler halinde gerçekleşir. Üretim çevrimi için geçen süre üretim hızını belirler.

Plastik enjeksiyon kalıplamada bir çevrim süresi içinde en fazla zaman alan safha, soğutma işlemidir (Qiao, 2006). Kalıp içindeki ergiyik plastiğin katılaşması için soğutmaya ihtiyaç duyulur. Soğutma işlemi ise kalıp üzerinde bulunan soğutma sistemi ile kontrollü ve hızlı bir şekilde yapılır. Soğutma süresi, üretim hızını doğrudan etkilediği için bu işlemin mümkün olduğunca kısa sürede gerçekleşmesi istenir. Soğutma işlemi, çevrim süresini etkilediği gibi plastik ürünün kalitesini de önemli ölçüde etkiler. Plastik malzeme soğurken parça üzerinde oluşacak çarpılmalar, parça için beklenen boyutsal ve geometrik toleransların aşılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle plastik enjeksiyon kalıpları üzerinde bulunan soğutma sistemlerinden kısa sürede soğutabilme yeteneğinin yanında kaliteli soğutmanın gerçekleştirilebilmesi de istenmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıplarının hızlı ve kontrollü bir şekilde soğutulabilmesi için kalıp plakalarına matkap ile delmek suretiyle açılan soğutma kanallarından soğuk su akışı gerçekleştirilmektedir. Bu sayede ergiyik plastik üzerindeki ısı kalıba aktarılmaktadır. Kalıp üzerindeki ısı ise soğutma suyu ile uzaklaştırılmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıplarına soğutma kanalları açılırken kanalların kalıp boşluklarına yakın olan bölgeler tercih edilir. Ancak doğrusal hatlara sahip olmayan, karmaşık formlu plastik ürünler kalıplanmak istendiğinde doğrusal soğutma kanalları kalıp boşluklarına uyumlu olacak şekilde yavaşlamaktadır. Soğutma kanalları bazı bölgelerde kalıp boşluğuna yaklaşırken bazı bölgelerde ise uzaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak ergiyik plastik mal-

zemenin bazı bölgeleri daha erken soğuyup katılaştırken diğer bölgeler daha geç katılaşmaktadır. Plastik parça üzerindeki farklı katılaşma bölgelerinde farklı çekme oranlarından dolayı plastik parçalar çapılmaya maruz kalmaktadır. Bu durum ise plastik parça kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir.

Kalıp boşluğuna dolan ergiyik plastiğin daha eş sıcaklık dağılımı ile soğutulabilmesi için plastik parçanın geometrisine uyumlu soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil uyumlu soğutma kanalları plastik malzemenin daha düzgün ve hızlı soğutulabilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında karmaşık formlu soğutma kanallarına sahip kalıpların nasıl üretileceği ise kalıp üreticileri için çözülmesi gereken bir problem haline gelmektedir. Ayrıca karmaşık formlu soğutma kanallarının nasıl tasarlanacağı da açıklığa kavuşturulması gereken ayrı bir sorunu teşkil etmektedir.

Plastik enjeksiyon kalıbı içerisindeki ergiyik plastiğin ürün kalitesi ve üretim verimliliği açısından en uygun biçimde soğutulabilmesi için gerekli soğutma sisteminin nasıl tasarlanması gerektiği konusunda birçok çalışma yapılmış ve yeni çalışmalar da devam etmektedir. Yapılan çalışmalar deneysel, sayısal, tasarım algoritması geliştirme ve üretim yöntemi gibi birçok yönden ele alınabilir.

Yapılan bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarında etkili ve erimli bir soğutmanın yapılabilmesi için gerekli soğutma sisteminin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken prensipler genel olarak sunulmaya çalışılmıştır.

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA

Plastik Malzemeler

Günlük yaşamın hemen her alanında yaygın olarak kullanılan plastikler geleneksel malzemeler olan ahşap, seramik ve metal malzemeler yanında yerini almıştır. Sahip oldukları avantajlar sayesinde büyük bir kullanım yaygınlığına kavuşmuş ve özellikleri de sürekli olarak geliştirilmektedir. Plastik malzemelerin tercih edilmesini sağlayan önemli özellikler arasında; düşük yoğunluklu olmaları, kolay işlenebilir olmaları, ısı ve elektriğe karşı yalıtkan olmaları, şeffaf olmaları, korozyon

direnci, ucuz olmaları ve tekrar işlenebilir olmaları sayılabilir (Akyüz, 1998).

Polimerler, “mer” adı verilen, tekrarlanabilir birimlerden oluşurlar. Polimerler yüksek molekül ağırlığına sahip ve uzun zincirimsi bir yapıdadır. Örneğin polietilen polimeri, etilen molekülünün zincir şeklinde arka arkaya defalarca birleşerek oluşturduğu bir zincirdir. Polimerlere eklenen katkı maddeleri ile plastik malzemeler elde edilir. Mekanik yapının düzenlenmesi için plastikleştiriciler, ergiyik akışkanlığı iyileştirmek için yağlayıcılar, dolgu maddeleri, antioksidantlar, UV ve ısı dayanımı arttırıcılar gibi katkı maddeleri polimerlerin özelliklerini iyileştirerek endüstriyel olarak kullanılmalarını sağlarlar (Savaşçı vd., 2008).

Plastik malzemeler Termoplastikler, Termoset plastikler ve Elastomerler olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Termoplastiklere ısı verildiğinde polimer zincirlerindeki hareketlilikler artmaya başlar. Polimer zincirlerinin birbiri üzerinde kaymaya başlamasıyla katı haldeki plastik malzeme ergiyerek akışkan hale gelir. Bu sayede termoplastik malzemeler şekillendirilebilir ve soğuma ile birlikte tekrar katılaşım şekillerini korurlar. Termoplastikler için ısı ile ergime ve katılaşım tekrarlanabilir bir süreçtir. Bu tür malzemedan üretilen plastik ürünleri geri dönüşümü mümkündür (Malloy, 2010).

Termoset malzemeler ısı altında bir defa şekillendikten sonra dallanmış polimer zincirleri birbirleri içine geçerek daha mukavim bir yapı oluştururlar. Bu dallanmış yapının varlığı nedeniyle termoset malzemeler tekrar ısıtıldıklarında yumuşamazlar ve ergiyik haline gelmezler. Isı uygulanmaya devam edilmesi durumunda ise polimer zincirler tersinmez halde bozunurlar. Bu tür malzemelerden üretilen plastik ürünlerin geri dönüşümü söz konusu değildir. Elastomer malzemeler şekillendirildikten sonra pişirilerek polimer dalları arasında çapraz bağlar oluşturulur. Oda sıcaklığındayken esnek bir yapıya sahip oldukları için şişirilebilir özelliktedirler. Tekrar ısıya maruz kaldıklarında termoset plastiklerde olduğu gibi ergiyerek akışkan hale gelmezler. Termoplastik malzemeler polimer zincirlerinin dizilimine göre Amorf ve yarı-kristalin olmak üzere iki guruba ayrılabilir. Amorf yapıda polimer zincirleri tamamen düzensiz bir yapıdadır. Bu amorf yapı pişmiş spagettiye benzetilmiştir. Amorf yapıli plastik malzemeler şeffaftırlar. Bu tür malze-

melere ısı uygulandığında polimer zincirler arasındaki mesafeler artar ve malzeme ergiyerek akışkan hale gelir (Savaşçı vd., 2008).

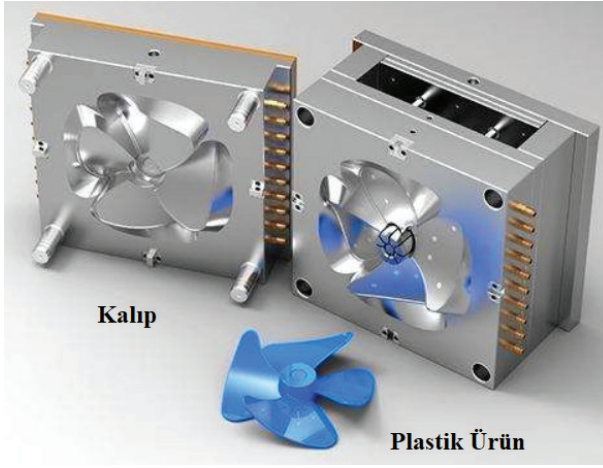
Plastik Enjeksiyon Kalıplama

Plastik malzemelerin ısı etkisi ile yumuşamaları ve akışkan hale gelmeleri seri bir şekilde üretim yapma kolaylığı sağlar. Plastik malzemelerin bu özelliği sayesinde kullanılan üretim yöntemleri arasında ekstrüzyon kalıplama, döner kalıplama, vakum kalıplama, şişirme kalıplama ve plastik enjeksiyon kalıplama sayılabilir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi plastik malzemelerin en yaygın kullanılan işleme yöntemlerinden birisidir.

Plastik Enjeksiyon Kalıbı

Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminin gerçekleşmesinin sağlandığı ana eleman enjeksiyon kalıbıdır. Enjeksiyon kalıpları genellikle alaşımli çelik malzemelerden üretilirler (Şekil 1). Kalıp içerisinde ürün geometrisine uygun bir boşluk bulunmaktadır. Ergiyik haldeki plastik akışkanlığı sayesinde bu boşluğa enjeksiyon yapılarak doldurulur. Sonrasında plastik malzeme soğuyarak katılaşır ve plastik ürün kalıptan çıkarılır. Ergiyik plastiğin kalıp boşluğuna ulaştırılması, ürün geometrisinin oluşturulması, soğutulması ve dışarı çıkarılması işlemleri plastik enjeksiyon kalıbının görevleridir. Plastik enjeksiyon kalıbı birçok işlemin aynı anda, seri ve hassas bir şekilde gerçekleştirildiği karmaşık bir sistemdir. Bir plastik enjeksiyon kalıbı genel anlamda iki yarımdan oluşsa da ana bölümleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Ekersular, 2007).

- *Yolluk sistemi*
- *Kalıp boşluğu ve maça sistemi*
- *Soğutma sistemi*
- *Çıkarma sistemi*



Şekil 1. Enjeksiyon Kalıbı ve Plastik Ürün³

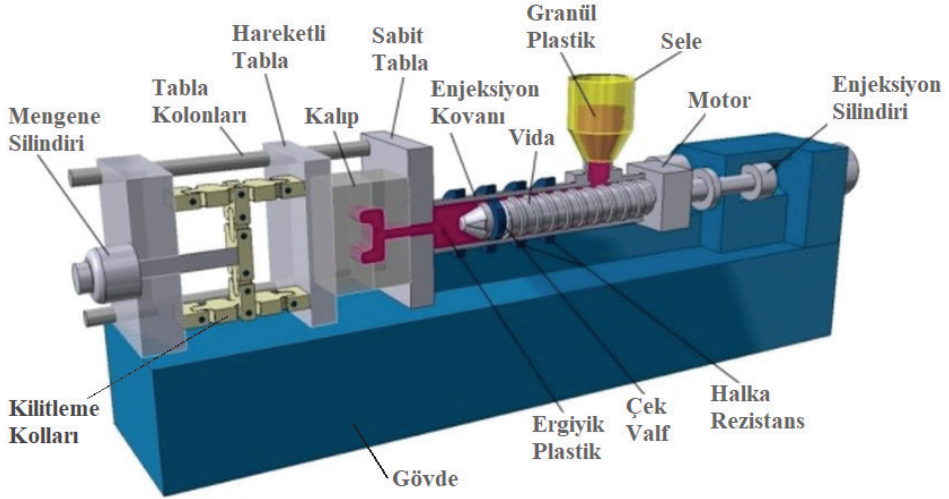
Plastik Enjeksiyon Makinesi

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi plastik enjeksiyon tezgâhı ile gerçekleştirilir (Şekil 2). Plastik ürün için hazırlanan kalıp yarımları enjeksiyon tezgâhının sabit ve hareketli tablalarına bağlanarak kalıbın açılması ve kapatılması sağlanır. Enjeksiyon ünitesinde bulunan vidalı milin dönmesi ile sele içinde bulunan granül haldeki plastik malzeme kovan içerisine taşınır. Kovanın dışında bulunan rezistanslar kovanı ısıtır ve katı haldeki plastik malzeme ergiyik hale gelir. Vidalı milin dönme hareketi ile ergimiş plastik kovanın ön bölümündeki hazneye dolar ve enjeksiyon için hazır duruma gelmiş olur.

Plastik enjeksiyon tezgâhı kalıplama işleminin tüm safhalarının kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Plastik enjeksiyon kalıbı iki ana yarımından oluşur. Kalıbın seri olarak açılıp kapanması için kalıp enjeksiyon tezgâhının sabit ve hareketli tablalarına bağlanır. Mengene ünitesi kalıbın basınç karşısında açılmasını önleyerek kapalı konumda tutulmasını sağlar. Sele içindeki granül haldeki plastik malzeme aşağı doğru akarak vidalı milin helezon boşluklarına dolar. Vidalı milin dönmesi ile plastik malzeme kovan içerisinde ileriye doğru taşınır. Enjeksi-

3 The Basics Of Injection Molding Service

yon kovanının dışına sarılmış rezistansların ürettiği ısı ile kovan içindeki plastik malzeme ergiyerek akışkan hale gelir. Ergimiş plastik, kovanın ön bölümündeki hazneye dolar ve enjeksiyon için hazır duruma gelmiş olur. Enjeksiyon silindirinin vidalı mili ileri doğru itmesi ile çek valf kapanır ve ergiyik plastiğin geri kaçmasını önler. Haznedeki ergiyik malzeme kalıp içerisine basılarak kalıp boşluğu doldurulur.



Şekil 2. Plastik Enjeksiyon Makinesi⁴

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi döngüsel olarak devam eden dört ana safhadan oluşmaktadır (Şekil 3). Seri üretim boyunca bu dört adım otomatik olarak tekrarlanır. Bunlar; dolum, ütüleme, soğutma ve çıkarma safhalarıdır (Kazmer, 2007). Dolum adımında ileri itilen vidalı mil kovan haznesindeki ergiyik plastiği kalıp içine enjekte eder. Kalıp içindeki hava kalıp ayırma yüzeyinden dışarı doğru atılır. Kalıp boşluğundaki hava yerine akışkan haldeki plastik malzeme dolar. Kalıp içindeki plastik malzeme soğumaya başladığı için çekerek büzülmeye meydana gelir. Enjeksiyon makinesinde mengene ünitesinin kilit konumunda bulunması kalıbın açılmasını önler.

Enjeksiyon kovanın ön bölümündeki haznede ergiyik plastik hazır halde beklemektedir. Dolum safhasında vidalı milin aksenal hareketi ile

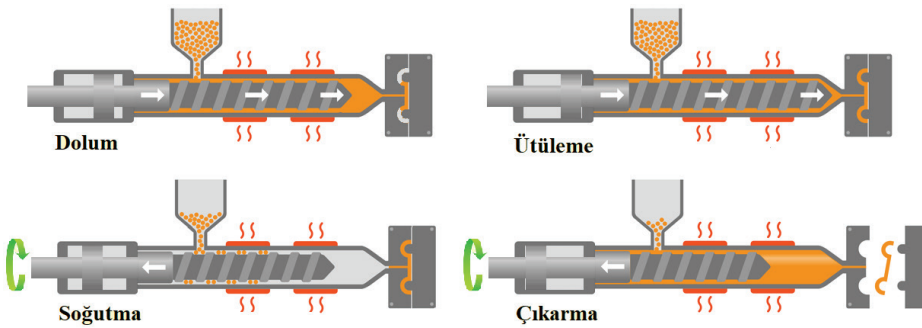
4 Introduction to Injection Molding for Mass Production of Custom Plastic Parts

kovan haznesindeki ergiyik malzeme kalıp içerisine enjekte edilir. Kalıp boşluğu tamamen dolarken kalıp içerisindeki hava kalıp ayırma hattından dışarıya itilir. Kalıp içerisine yüksek basınçla dolan ergiyik plastik kalıbı açmaya zorlar. Kalıbın kapalı tutulması için gereken kuvvet mengene ünitesi ile sağlanır.

Ütülleme adımında çekme etkisiyle boşluk oluşmaması kalıp basınç altında tutularak dolmaya zorlanır. Kalıbın dolumuyla birlikte soğuma süreci başlar ve kalıp içerisindeki plastik malzemenin sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığının altına ininceye kadar devam eder. Bu esnada soğuyan plastik malzeme çekerek hacmi küçüldüğü için kalıp içerisine ergiyik basıncı devam eder.

Soğutma aşamasında kalıp içerisindeki plastik malzemenin tamamen katılaşması için çıkarma sıcaklığına düşüncüye kadar soğutma işlemi gerçekleştirilir. Soğuma safhası ergiyik malzeme kalıbın içerisine ilk giriş anından itibaren başlar ve kalıp açılana kadar devam eder. Kalıp sıcaklığının ergiyik sıcaklığından düşük olması nedeniyle ergiyik malzeme üzerindeki ısı sürekli olarak kalıba transfer olur. Soğuyarak çıkarma sıcaklığına ulaşan plastik malzeme şeklini koruyabilecek ürün haline gelir.

Plastik ürün yeterince soğuduktan sonra çıkarma safhasına geçilir. Çıkarma adımında kalıp açılır ve çıkarma sıcaklığına erişen plastik parça iticilerle itilerek dışarıya çıkarılır. Mengene ünitesi kalıbı açarak kalıp yarımalarını birbirinden uzaklaştırır. Sonraki üretim çevrimi için kalıp tekrar kapatılır. Gerçekleştirilen tüm hareketler için gerekli kuvvetler hidrolik sistem ile sağlanır.



Şekil 3. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Adımları

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında kullanılacak tüm üretim parametreleri kontrol paneli ile kontrol edilir. Bu parametreler ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, dolum hızı, soğutma süresidir.

Soğutma Sisteminin Gerekliliği

Plastik enjeksiyon kalıplama işleminde ergitilen plastik malzemenin şekillendirildikten sonra tekrar soğutulması gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan soğutma sistemi, soğutma işleminin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Ergiyik plastiğin kalıp içerisine dolması ile kalıp sıcaklığı sürekli olarak yükselir. Kalıp sıcaklığının yüksekliği plastik malzemenin soğuyarak katılaşması için gereken süreyi önemli ölçüde artıracaktır. Kalıp sıcaklığının soğuk olması durumunda ise ergiyik plastik malzemenin kalıp içine dolumu sırasında soğuyarak katılaşacak ve kalıp boşluğunun tamamen dolmamasına neden olacaktır. İstenmeyen bu durum plastik ürünün eksik olması anlamına gelmektedir. Ergiyik plastiğin donmadan kalıbın tamamını doldurması için kalıp sıcaklığının belirli bir değerde olması gerekmektedir. Yaygın kullanılan bazı plastik malzemeler için uygun kalıp sıcaklıkları Tablo 1’de gösterilmiştir. Plastik malzeme camsı geçiş sıcaklığının altında yeterince katılaşır ve şeklini koruyabilir.

Kalıp boşluğundaki plastik malzemenin sıcaklığının camsı geçiş sıcaklığının altına inmesi plastik ürünün kalıptan çıkarılabilmesi için gereklidir. Ancak plastik parça kalıptan çıkarıldıktan sonra da soğumaya devam eder. Bu esnada parça soğumanın etkisiyle çekerek küçülecektir. Herhangi bir mekanik etki ya da dengesiz çekme nedeniyle parça geometrisinin bozulmaması için uygun bir çıkarma sıcaklığı belirlenmelidir. Tablo 1’de yaygın kullanılan bazı plastikler için uygun çıkarma sıcaklıkları görülmektedir.

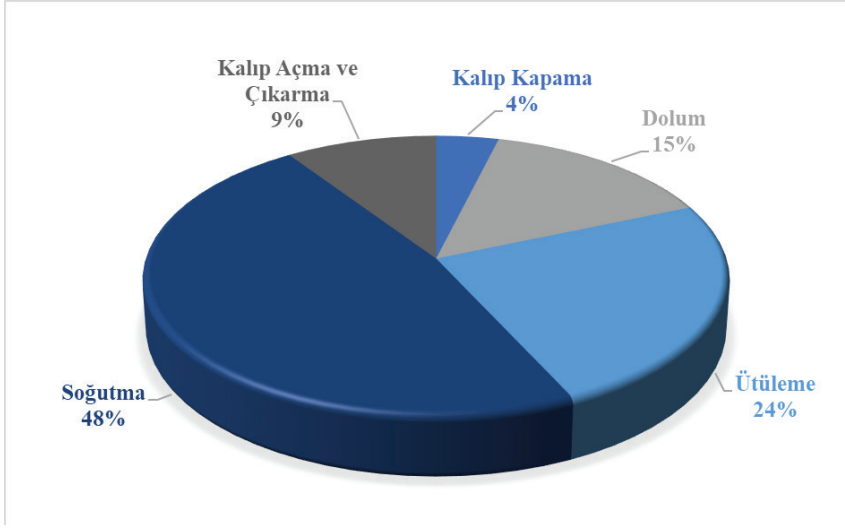
**Tablo 1. Bazı Plastikler için Uygun Kalıp ve Çıkarma Sıcaklıkları
(Menges vd., 2013)**

Plastik Malzeme	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Çıkarma Sıcaklığı (°C)
ABS	50-80	60-100
PP	20-100	60-100
POM	40-120	90-150
LDPE	20-60	50-90
HDPE	40-60	60-110
PVC-Yumuşak	20-55	60-100
PVC-Sert	20-70	60-100
PS	10-80	60-100
PA6	60-95	70-110
PA66	60-90	80-140
PMMA	10-80	70-110
PC	85-120	90-140

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi çevrimler halinde sürekli olarak tekrar eder. Kalıbın kapanması, ergiyik malzemenin kalıp boşluğunu doldurması, basınç altında tutma, plastiğin soğuması, kalıbın açılması ve parçanın kalıptan çıkarılması bir çevrim boyunca gerçekleştirilen işlemlerdir. Birim parça adedi için gerekli üretim süresi çevrim süresi ile belirlenir. Üretim hızını belirleyen en önemli parametre çevrim süresidir (Dimla vd., 2005). Şekil 4’de bir çevrim süresindeki zaman aralıkları gösterilmiştir. Çevrim süresini etkileyen en büyük etken soğutma süresi olduğu görülmektedir. Soğutma sisteminin performansı bu sürenin kısalmasını sağlamaktadır.

Plastik enjeksiyon kalıplamada bir çevrim süresi içinde en fazla zaman alan safha, soğutma işlemidir (Dimla vd., 2005). Kalıp içindeki ergiyik plastiğin katılaşması için soğutmaya ihtiyaç duyulur. Soğutma işlemi ise kalıp üzerinde bulunan soğutma sistemi ile kontrollü ve hızlı bir şekilde yapılır. Soğutma süresi, üretim hızını doğrudan etkilediği için bu işlemin mümkün olduğunca kısa sürede gerçekleşmesi istenir. Soğutma

işlemi, çevrim süresini etkilediği gibi plastik ürünün kalitesini de önemli ölçüde etkiler. Plastik malzeme soğurken parça üzerinde oluşacak çarpılmalar, parça için beklenen boyutsal ve geometrik toleransların aşılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle plastik enjeksiyon kalıpları üzerinde bulunan soğutma sistemlerinden kısa sürede soğutabilme yeteneğinin yanında kaliteli soğutmanın gerçekleştirilebilmesi de istenmektedir.



Şekil 4. Çevrim Süresinde İşlemlerin Zaman Aralıkları (Dimla vd., 2005)

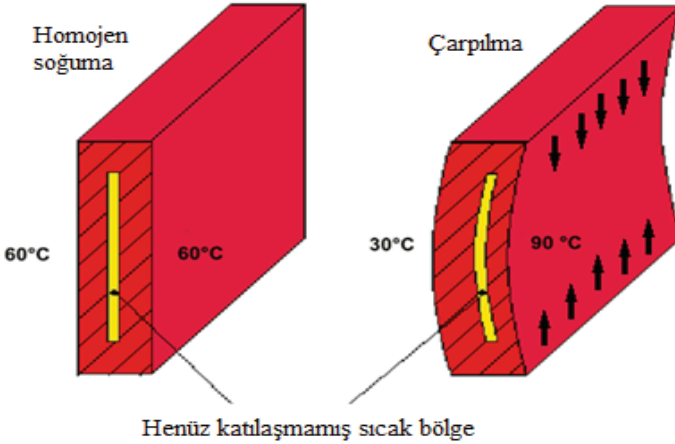
Plastik enjeksiyon kalıplarının hızlı ve kontrollü bir şekilde soğutulabilmesi için kalıp plakalarına matkap ile delmek suretiyle açılan soğutma kanallarından soğuk su akışı gerçekleştirilmektedir. Bu sayede ergiyik plastik üzerindeki ısı kalıba aktarılmaktadır. Kalıp üzerindeki ısı ise soğutma suyu ile uzaklaştırılmaktadır.

Plastik enjeksiyon kalıplarına soğutma kanalları açılırken kanalların kalıp boşluklarına yakın olan bölgeler tercih edilir. Ancak doğrusal hatlara sahip olmayan, karmaşık formlu plastik ürünler kalıplanmak istendiğinde doğrusal soğutma kanalları kalıp boşluklarına uyumlu olacak şekilde yavaşlamamaktadır. Soğutma kanalları bazı bölgelerde kalıp boşluğuna yaklaşırken bazı bölgelerde ise uzaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak ergiyik plastik malzemenin bazı bölgeleri daha erken soğuyup katılaştırırken diğer bölgeler daha geç katılaştırmaktadır. Plastik parça

üzerindeki farklı katılaşma bölgelerinde farklı çekme oranlarından dolayı plastik parçalar çarpılmaya maruz kalmaktadır. Bu durum ise plastik parça kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir.

Plastik enjeksiyon kalıplamada soğutma süresinin kısa olmasının önemi yanında plastik ürün kalitesi açısından düzgün bir sıcaklık dağılımının da sağlanması kritik öneme sahiptir. Isınarak ergiyik hale gelen plastik malzeme genişler. Kalıp içine basılan malzeme soğurken tekrar büzülerek çekmeye başlar. Plastik malzemenin çekme oranlarına etki eden çok sayıda parametre vardır. Bunlar; malzeme cinsi, ergiyik sıcaklığı, basınç dağılımı, moleküler yönelme, kristalleşme oranı, nem, katkı maddeleri ve soğutma hızıdır.

Soğuma ile birlikte plastik parça üzerindeki çekme dağılımının düzensiz olması parça geometrisinin bozulmasına neden olmaktadır. Polymer zincirlerinin kontrolsüz yönelmesi, basınç ve sıcaklık dağılımının homojen olmaması parça üzerindeki çekmenin de düzgün dağılmasına engel olur. Kalıp üzerindeki soğutma sisteminden beklenen bir özellikte parçanın tüm bölgelerinin eşit hızda soğutulmasını sağlamasıdır. Aksi halde erken soğuyan bölgelerdeki çekme işlemi sona ermişken sıcak bölgeler çekmeye devam eder plastik parça çarpılır. Şekil 5’de farklı sıcaklık dağılımı nedeniyle plastik parça üzerindeki çarpılmanın oluşumu görülmektedir (Mayer, 2005).



Şekil 5. Yüzey Sıcaklık Farkı Nedeniyle Çarpılmanın Oluşumu (Mayer, 2005)

Plastik enjeksiyon kalıplama işleminin seri olarak yapılabilmesi ve plastik parça kalitesinin sağlanabilmesi için uygun bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulur. Soğutma sisteminin tasarımında kanal boyutları, kanalların konumu, soğutma suyu sıcaklığı ve debisi, soğutma üniteleri ve sıcaklık düzenleyiciler önemli rol oynamaktadır. Etkili bir soğutma sistemi için tasarım parametreleri uygun bir şekilde seçilmelidir.

Kalıp boşluğuna dolan ergiyik plastiğin daha eş sıcaklık dağılımı ile soğutulabilmesi için plastik parçanın geometrisine uyumlu soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil uyumlu soğutma kanalları plastik malzemenin daha düzgün ve hızlı soğutulabilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında karmaşık formlu soğutma kanallarına sahip kalıpların nasıl üretileceği ise kalıp üreticileri için çözülmesi gereken bir problem haline gelmektedir. Ayrıca karmaşık formlu soğutma kanallarının nasıl tasarlanacağı da açıklığa kavuşturulması gereken ayrı bir sorunu teşkil etmektedir.

KALIPTA SICAKLIK KONTROLÜ

Plastik enjeksiyon kalıbı ergiyik plastiğin kalıba dolması ve soğutma suyunun kalıpta dolaşarak uzaklaşması ile bir ısı değiştiricisi gibi çalışmaktadır. Plastik malzeme üzerindeki ısı suya aktarılarak kalıptan uzaklaştırılmaktadır. Kalıp üzerindeki sıcaklığın kontrol edilerek enjeksiyon kalıplama sürecinin kaliteli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kalıpta sıcaklık kontrolü ile ısı iletimi verimliliği artışı, çevrim süresinin kısılması, kalıp gözleri arasındaki farklılıkların önlenmesi, homojen kalıp sıcaklık dağılımı ve çarpılma etkilerinin azaltılması gibi amaçlar hedeflenmektedir.

Kalıpta Isı Transferi

Plastik enjeksiyon kalıplamada sabit kalınlıklı ve kabuk formlu parçaların üretimi yapıldığı için kalıplama esnasında plastik malzeme üzerindeki ısının soğutma suyuna aktarımı tek boyutlu ısı iletim denklemi ile ifade edilebilir (Eşitlik 1). “ \dot{Q}_{iletim} ” ısı akısını gösterir ve plastik malzemedan suya geçen ısı akıdır. “ k ” kalıp çeliğinin ısı iletkenliğini gösterir. “ ΔT ” plastik malzeme ile soğutma suyunun sıcaklık farkıdır. “ Δx ”

soğutma kanalı ile kalıp boşluğu arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. “ A ” birim alanı göstermektedir. Yüzey alanı plastik parçanın geometrisi ile ilgilidir. Yüzey alanına müdahale etmek mümkün olmadığı için bu parametre sabit bir etkiye sahiptir.

$$\dot{Q}_{iletim} = k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Soğutma işleminin etkinliğini arttırmak için ısı akısının arttırılması hedeflenmektedir. Isıl iletkenlik kullanılacak kalıp malzemesine göre değişiklik göstermektedir. Tablo 2’de bazı kalıp malzemelerinin ısıl iletkenlikleri gösterilmektedir. Kalıp malzemesinin ısıl iletkenliği ne kadar iyi olursa kalıptaki ısı transferi iyileşecek ve kalıp üzerindeki sıcaklık farkı azalacaktır. Çevrim toplam süresi düşerken daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilecektir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre P-20 çelik yerine C18000 kullanılarak üretilen kalıpla yapılan baskılarda çevrim süresi %34 oranında kısalmıştır (Raus vd., 2017).

Tablo 2. Kalıp Malzemelerinin Isıl İletkenlikleri (Raus vd., 2017)

Malzeme	Isıl İletkenlik (W/mK)
DIN 1.2311 (P-20)	35
DIN 1.1738	33
DIN 1.0503	46
C18000-BeCu	225
Saf Bakır	401

Soğutma kanallarının iç yüzeyinde zamanla oluşabilecek kireçlenme vb. durumlar sebebiyle kalıbın ısıl iletkenliği düşebilmektedir. Bu da çevrim süresini önemli oranda artmasına neden olabilmektedir. Kireçsiz soğutma suyunun kullanımı ile benzeri olumsuzluklar için tedbir alınmalıdır.

Soğutma Süresi Hesabı

Bir plastik parçanın çıkarma sıcaklığına ulaşabilmesi gerekli minimum soğutma süresi Eşitlik 2 ile hesaplanabilir (Rao ve Schumacher, 2004). Bu hesaplama yönteminde kalıp yüzeyinin sıcaklığı sabit kabul

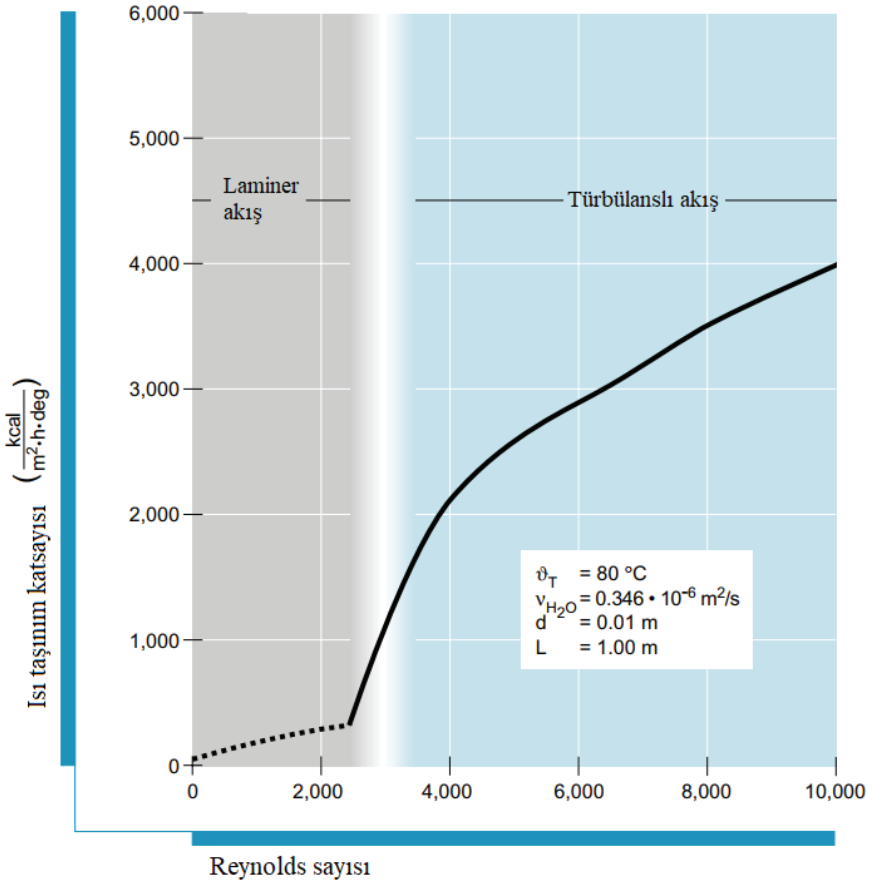
edilmiş olsa da gerçekte ergiyik malzeme kalıp sıcaklığının yükselmesine neden olur. Bu da gerçek soğutma süresinin daha uzun olacağını göstermektedir. Daha doğru bir sonuç için ısı taşınım katsayısı dikkate alınmalıdır (Yu ve Sunderland, 1992).

$$t_s = \frac{h^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left(\frac{4 T_{ergiyik} - T_{su}}{\pi T_{çikarma} - T_{su}} \right) \quad (2)$$

Eşitlik 2'de h , plastik parça kalınlığını göstermektedir. Zamanı hesaplanacak sıcaklık, plastik ürünün kalıptan çıkarılması için uygun olan çıkarma sıcaklığıdır. Bu sıcaklıkta plastik malzeme kendi şeklini koruyabilecek seviyede katılaşmıştır. Çıkarma sıcaklığı her plastik malzeme için özel olup ASTM D648 standart testlerinden ısıl eğilme sıcaklığı ve yük altında eğilme sıcaklığı testlerinin yapılması ile tespit edilebilir. Soğutma süresi parça et kalınlığının karesi ile doğru orantılıdır. Plastik endüstrisinde soğutma süresinin pratik olarak hesaplanması için Eşitlik 3'te gösterilen denklem kullanılabilir (Kazmer, 2007).

$$t_s = 2,08h^2 \quad (3)$$

Kalıp ve soğutma suyu arasındaki ısı taşınımının iyileştirilmesi için soğutma kanallarından uygun debide akışkanın geçmesi gerekmektedir. Şekil 6'da ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi görülmektedir. Soğutma kanalı içindeki akışkan hızının artması ile akış türbülanslı hale geçmiştir. Reynolds sayısının yaklaşık olarak 2400 seviyesinin üzerine çıkması ile çalkantılı akış başlamış ve ısı taşınım katsayısını artırmıştır. Kalıbın soğutulmasında ısı aktarımının iyileştirilmesi için soğutma kanalı içinde türbülanslı akışın sağlanacağı uygun hız için yeterli debi sağlanmalıdır. Türbülanslı akışın sağlanabilmesi için gerekli debiler Tablo 3'te gösterilmiştir. Ayrıca soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık farkı $2-3^\circ\text{C}$ 'yi geçmemesi için debi ayarlanmalı ya da soğutma kanalları paralel hale getirilmelidir.



Şekil 6. Isı Taşınım Katsayısının Reynolds Sayısı ile İlişkisi⁵

Tablo 3. Türbülanslı Akış için Gerekli Minimum Debi Değerleri (Litre/Dakika)

Su Sıcaklığı, °C	Boru Çapı, mm				
	8	10	15	20	25
10	1,96	2,45	3,68	4,9	6,13
15	1,71	2,14	3,21	4,29	5,36

5 Engineering Polymers, Part and Mold Design, Thermoplastics, A Design Guide, Bayer Corporation. 2000

20	1,51	1,89	2,83	3,78	4,72
25	1,34	1,68	2,52	3,36	4,2
30	1,2	1,5	2,26	3,01	3,76
35	1,08	1,36	2,03	2,71	3,39
40	0,98	1,23	1,84	2,46	3,07
45	0,9	1,12	1,68	2,24	2,8
55	0,76	0,94	1,42	1,89	2,36
65	0,65	0,81	1,22	1,62	2,03
80	0,53	0,66	0,99	1,32	1,66
95	0,44	0,56	0,83	1,11	1,39

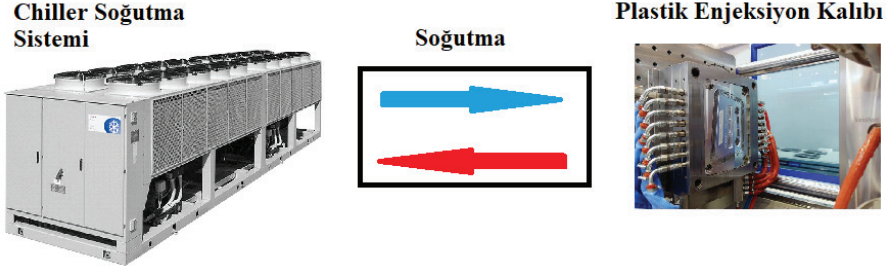
Soğutma Sistemi Elemanları

Kalıp içerisine dolan sıcak ergiyik malzemenin kontrollü bir şekilde soğutulabilmesi için soğutma sistemi kullanılır. Soğutma sistemi; kalıp içerisindeki soğutma kanalları, kalıp dışına uzanan bağlantı girişleri, chiller ve kalıp şartlandırıcısından oluşur. Soğutma sistemi kalıp içerisindeki soğutma kanallarından soğuk su dolaşması sağlanarak kalıp üzerindeki ısının uzaklaştırılmasını sağlar. Bu sayede hem plastik parçanın soğuma süresi kısalmaya hem de dengeli bir soğutma gerçekleştirilir. Üretim hızı ve parça kalitesi için soğutma sistemi büyük bir öneme sahiptir.

Plastik enjeksiyon kalıplamada soğutma işlemi kalıp içerisindeki soğutma kanallarından uygun sıcaklıktaki suyun dolaştırılarak kalıp sıcaklığının düzenlenmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu sistem kapalı bir su devresi şeklinde çalışmaktadır. Soğutma işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli olan soğutma sistemi elemanları; su soğutma ünitesi (chiller), harici sıcaklık kontrol ünitesi (kalıp şartlandırıcı), rakor ve hortumlar, soğutma kanalları ve sudur.

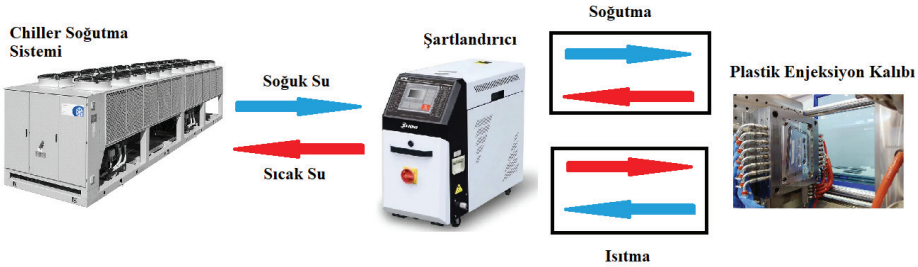
Kalıp soğutulurken kalıp üzerindeki ısı soğutma kanallarında dolaşan suya aktarılır. Soğutma veriminin düşmemesi için su tekrar kalıp içerisine gönderilmeden önce tekrar uygun sıcaklığa getirilmelidir. Soğutma suyu üzerindeki fazla ısının atılarak tekrar çalışma sıcaklığına

getirilmesi için chiller adı verilen su soğutma ünitesi kullanılır (Amran vd., 2014).



Şekil 7. Chiller Soğutma Ünitesi ve Kalıp Soğutma

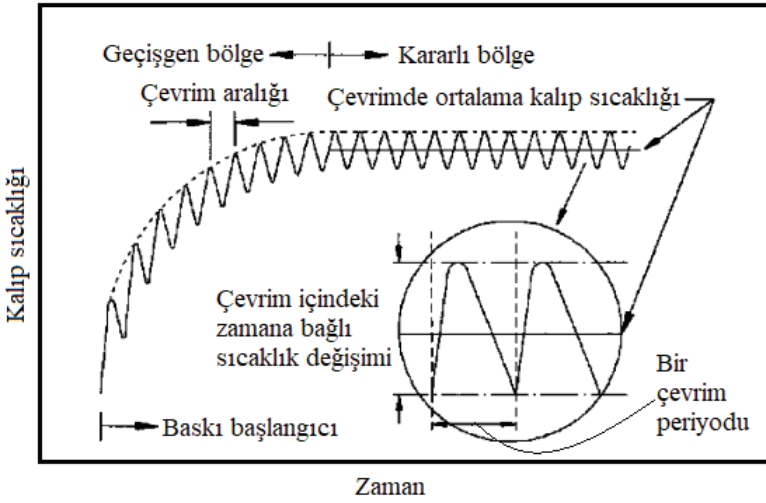
Kalıbın uygun sıcaklıkta tutulması, soğutma suyu sıcaklığının ve debisinin kontrol edilmesi için kalıp şartlandırıcı adı verilen harici bir sıcaklık kontrol ünitesi kullanılır. Şartlandırıcı kalıp ve su sıcaklığını sürekli olarak ölçmektedir. Suyun çalışma sıcaklığının düşük olması durumunda suyu ısıtarak uygun çalışma sıcaklığına yükseltir. Su sıcaklığının gerekenden daha yüksek olması durumunda chiller ünitesini devreye alarak su sıcaklığının soğutulmasını sağlar. Bu sayede kalıp içerisine giren suyun sıcaklığı sabit kalmış olur.



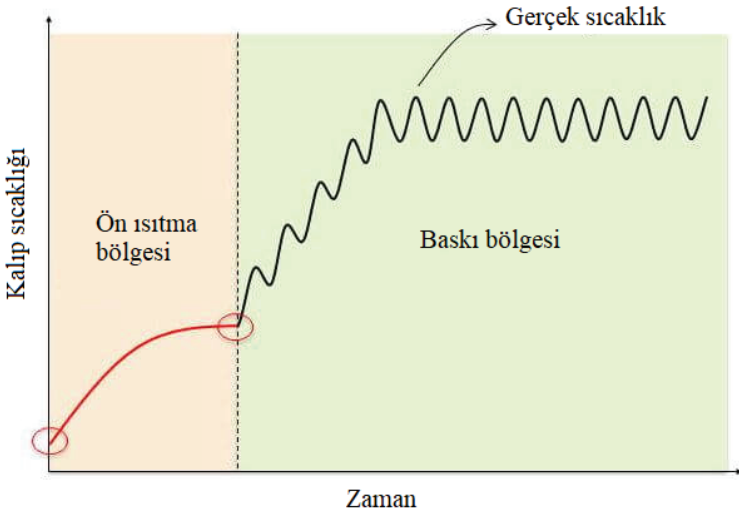
Şekil 8. Kalıp Şartlandırıcı ile Kalıbın Isıtılması ve Soğutulması

Şekil 9'de kalıp sıcaklığının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Kalıp sıcaklığı dalgalanmalar halinde yükselerek belirli bir süre sonra kararlı hale gelmektedir. Plastik enjeksiyon kalıplamada kalıp sıcaklığı dengeye gelene kadar bir miktar ön baskı yapılmalıdır. Dengelenme öncesi yapılan baskılar uygun şartlarda gerçekleşmediği için plastik ürünler hatalı olarak üretilir. Bu kayıplar başlangıç maliyetlerinin artmasına

neden olur. Kalıp şartlandırıcı kullanımıyla kalıpta ön ısıtma yapılarak çok daha düşük sayıdaki baskı adedi ile kalıp sıcaklığında dengelenme sağlanır (Şekil 10).



Şekil 9. Kalıp Sıcaklığının Zamanla Değişimi (Zhou ve Li, 2005)

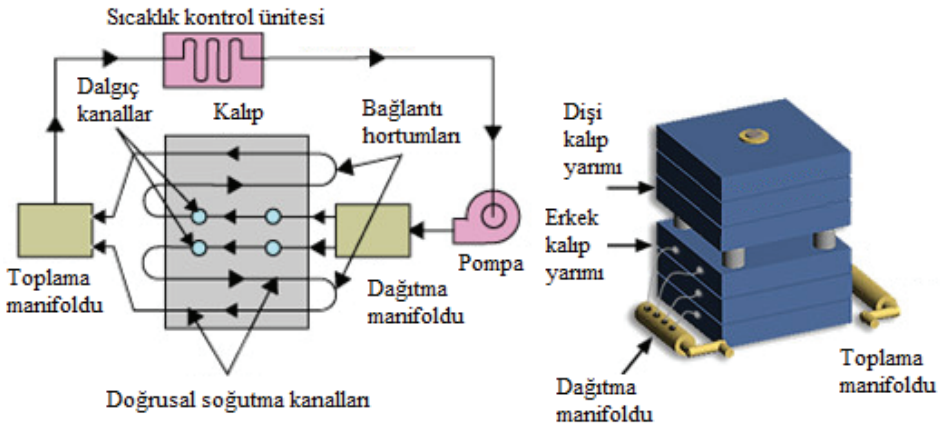


Şekil 10. Kalıp Şartlandırıcı ile Yapılan Ön Isıtma⁶

6 Moldex3D Provides Mold Preheat Analysis to Enhance Mold Temperature Management. 2015

Soğutma Kanallarının Tasarımı

Plastik enjeksiyon kalıplarının soğutulması işlemi, kalıp boşluğu çevresinden geçen kanallardan soğuk su geçirilerek kalıp üzerindeki ısının uzaklaştırılması yolu ile yapılmaktadır (Şekil 11). Soğutma kanalları genellikle matkap ile delerek oluşturulduğu için dairesel bir kesite sahiptir. Kanal çapı, kanalın kalıp boşluğuna uzaklığı ve kanalların birbirine uzaklıkları belirlenirken kalıplanan plastik parçanın cidar kalınlığı dikkate alınmaktadır (Tang vd., 1997). Tablo 4'te parça kalınlığına bağlı soğutma kanalı boyutları gösterilmiştir.

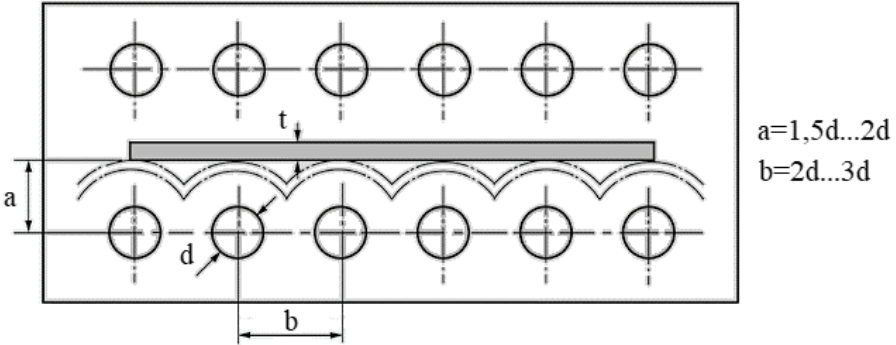


Şekil 11. Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Soğutma Sistemi (Göktaş, 2021)

Tablo 4. Parça Cidar Kalınlığına Göre Soğutma Kanalı Boyutları (Güneş, 2005)

Cidar Kalınlığı, mm	Kanal Çapı, mm
0-2	8-10
2-4	10-12
4-6	12-15

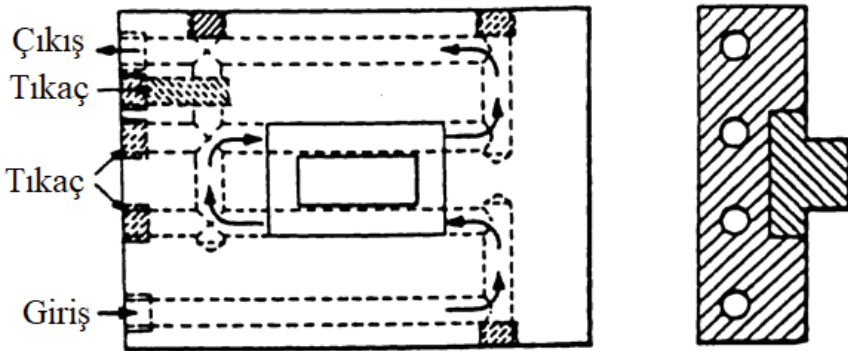
Kalıp boşluğu yüzeyinde düzgün bir sıcaklık dağılımının elde edilebilmesi için Şekil 12'da belirtildiği gibi soğutma kanallarının kalıp boşluğuna olan uzaklığı kanal çapının 1,5-2 katı ve kanalların birbirlerine olan uzaklıkları kanal çapının 2-3 katı olacak şekilde seçilmelidir (Mayer, 2005).



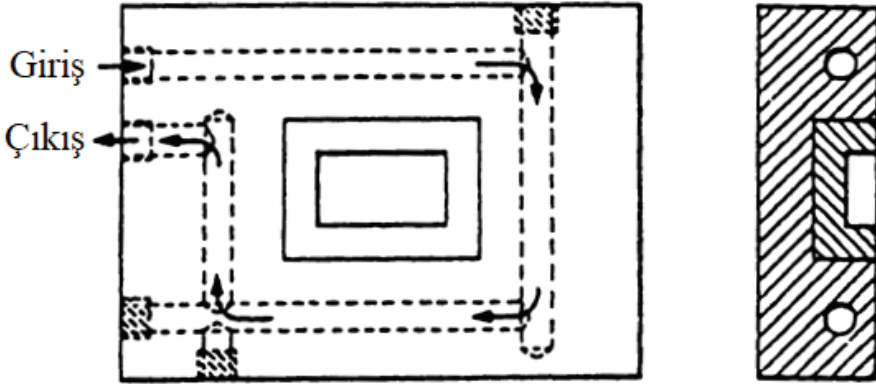
Şekil 12. Soğutma Kanallarının Konumları
(a: Kanal-Kalıp Arası Mesafe, a: Kanallar Arası Mesafe)

Kalıp Parçalarının Soğutulması

Kalıp plakalarının soğutulması için yaygın olarak kullanılan yöntem kalıp plakalarının kapalı bir su devresi oluşturacak şekilde matkap delinmesidir. Bu yöntem ucuz ve pratik olduğu için tercih edilir. Delerek oluşturulan kanallar kalıp boşluğunun çevresinden dolaşmaktadır. Delme işleminden sonra gerekli olmayan delik çıkışları tıkaçlar vasıtasıyla kapatılır. Dişi ve erkek kalıp yarımalarında ayrı ayrı soğutma devreleri oluşturulur. Şekil 13 ve Şekil 14’de dişi ve erkek kalıp yarımalarının soğutma kanalları gösterilmiştir (Turaçlı, 2000).



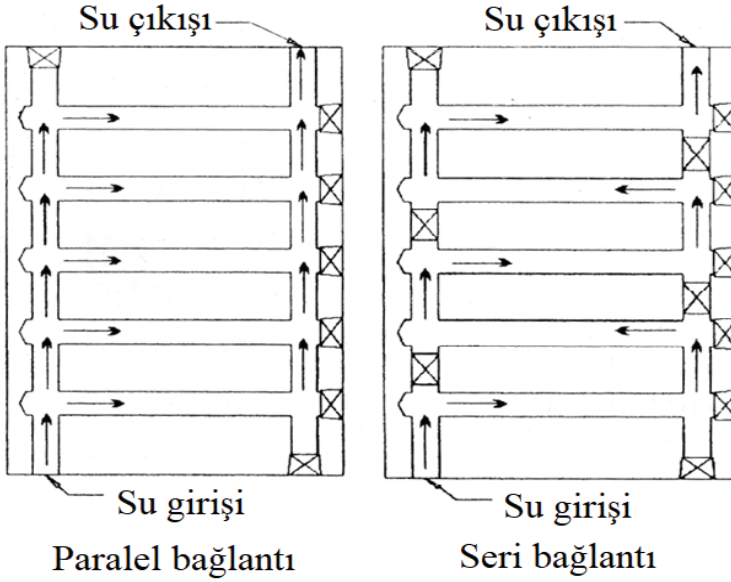
Şekil 13. Erkek kalıp plakasının soğutulması (Turaçlı, 2000).



Şekil 14. Dişi kalıp plakasının soğutulması (Turaçlı, 2000).

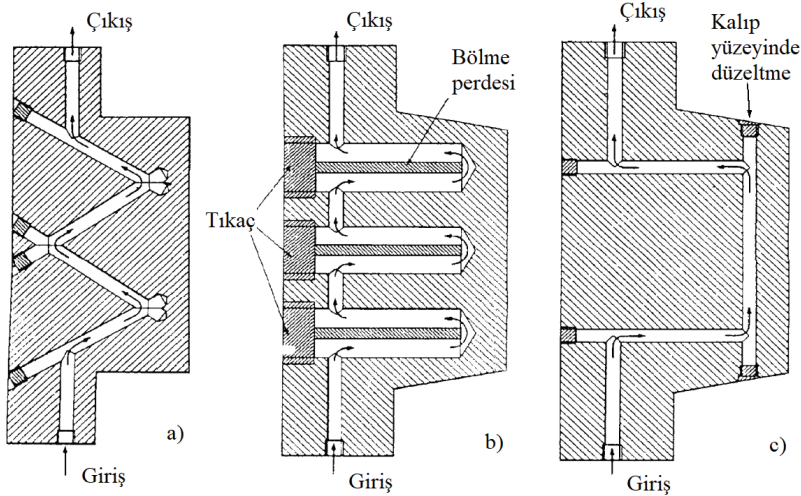
Düzlemsel kalıp plakalarının soğutulmasında kullanılan soğutma kanallarının iki tip bağlantı yöntemi söz konusudur (Şekil 15). Seri bağlantıda tek girişten giren su çıkışa kadar tek akış yolunu takip etmektedir. Seri bağlantı tipinde tek akış hattı olduğu için soğutma kanalının tüm bölgelerinde eşit debi sağlanabileceğinden akış hızı kolaylıkla kontrol edilebilir. Buna karşın bağlantı tipinde toplam akış yolunun uzaması nedeniyle basınç kayıpları artmaktadır. Ayrıca soğutma suyu nispeten daha uzun bir yol boyunca dolaşırken ısınmasından dolayı giriş ve çıkış sıcaklıklarının farklı olmasına neden olacaktır. Bu durumun düzgün sıcaklık dağılımını olumsuz etkileyecektir.

Paralel bağlantı tipinde tek girişten giren su, kanallar içerisinde birden fazla akış dallarına ayrılmaktadır. Paralel bağlantı tipinde akış boyunca basınç kayıpları daha düşüktür. Farklı akış dallarından geçen suyun sıcaklığı giriş sıcaklığından çok farklı olmasa da soğutma suyu en düşük akış direncini bulunduğu yolu tercih edeceğinden tüm akış dallarındaki debi ve hızların kontrol edilmesi zordur.



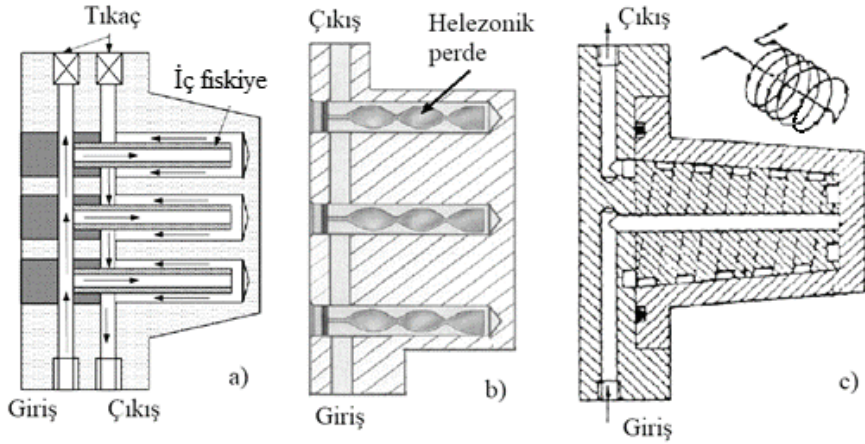
Şekil 15. Seri ve Paralel Bağlantı Tipleri

Erkek çekirdek maçaların iç bölgelerine doğru uzanan soğutma kanalları ile soğutma verimliliği artırılmaktadır. Şekil 16'da erkek çekirdeklerin soğutulması için tasarlanan soğutma kanalları görülmektedir. Şekil 16 (a)'da açılı delikler ile kalıp çekirdeğinin içine doğru uzanan kanallar oluşturulmuştur. Bu kanal tipinde soğutulması gereken yüzeylere yeterince yaklaşamadığı görülmektedir. Şekil 16 (b)'de oluşturulan kanal tasarımında çekirdek içine doğru uzanan delik içerisine bir bölme perdesi yerleştirilerek gidiş dönüş hatları oluşturulmuştur. Bu tasarım tipinde soğutma yüzeylerine daha iyi yaklaşılmış ancak oluşan akış bölmelerinde hızların kontrolü zordur. Şekil 16 (c)'de ise kalıp boşluğu yüzeyinden delme işlemi uygulanmıştır. Bu yöntemin kalıp yüzeyinde ek bir düzeltme işlemi gerektirmez bir dezavantaj olarak ön plana çıkmaktadır.



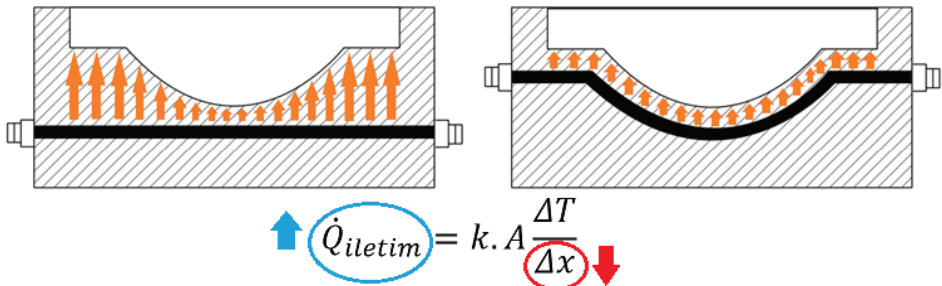
Şekil 16. a) Açılı Delinmiş Kanallar, b) Bölmeli (Baffle) Kanal, c) Kalıp Yüzeyinden Delinen Kanal

Şekil 17’de erkek kalıp çekirdeklerinin soğutulması amacıyla tasarlanmış üç farklı yöntem görülmektedir. Şekil 17 (a)’da kalıp çekirdeğine açılan delik içine bir fıskiye yerleştirilmiştir. Fıskiye içerisinden gelen soğutma suyu fıskiye çevresinden tekrar geri dönmektedir. Bu yöntemin tasarımında fıskiye borusunun iç kesit alanı ile dış kesit alanı eşit olacak şekilde boyutlandırılır. Fıskiyeli tasarımda tüm kesit bölgelerinde akışkan hızını kontrol etmenin zorluğu yanında yer çekiminin etkisi ile bazı bölgelerde hava boşluğu kalma ihtimali bulunmaktadır. Şekil 17 (b)’de soğutma deliği helezonik bir perde ile bölünerek gidiş dönüş hatları oluşturulmuştur. Akış yolunun uzaması nedeniyle düz perdeye nispeten daha iyi soğuma sağlar. Şekil 17 (c) kalıp çekirdeğine üzerinde helis bir kanal bulunan lokma yerleştirilmiştir. Soğutulacak yüzeye daha uyumlu ve sabit akış kesitine sahip bir soğutma hattı oluşturulmuştur. Bu kanal tipinde tüm akış yolu boyunca hızların kontrol edilmesi daha kolaydır.



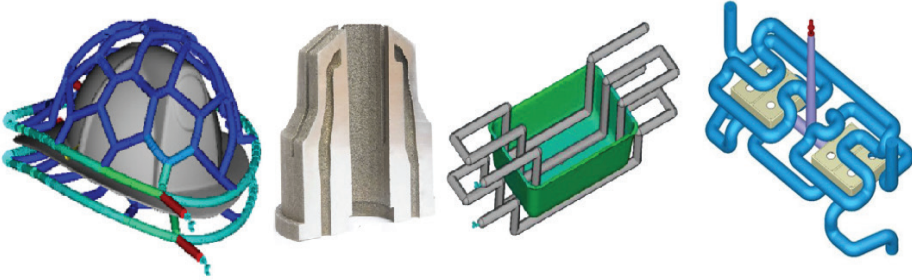
Şekil 17. a) İç Fiskiye (Bubbler) Kanal, b) Helezonik Bölmeli (Baffle) Kanal, c) Lokmalı Helis Kanal

Geleneksel olarak kullanılan doğrusal soğutma kanalları, doğrusal kalıp boşluğu yüzeyleri için uygun olsa da eğimli yüzeylere sahip kalıp boşluğu yüzeylerinin dengeli soğutulması tam olarak sağlayamamaktadır. Kalıp boşluğu ile soğutma kanalı arasındaki mesafenin bölgelere göre değişiyor olması ısı aktarımının da farklı bölgelerde farklı olmasına neden olmaktadır (Şekil 18). Eşit yüzey alanına rağmen ortalama iletim mesafesinin daha kısa olması soğutma süresini kısaltmıştır. Soğutma veriminin artırılması için soğutma kanallarının kalıp boşluğu yüzeyini uyumlu olarak takip ettiği şekil uyumlu soğutma kanalları tercih edilen bir başka kanal tipidir.



Şekil 18. a) Doğrusal Soğutma Kanalı, b) Şekil uyumlu Soğutma Kanalı

Şekil uyumlu soğutma kanalları ile kalıp boşluğu arasındaki mesafe düzgün bir şekilde korunduğu için tüm bölgelerdeki ısı aktarımı eşit olmakta ve kalıp yüzeyinde daha düzgün bir sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Gelişen imalat teknolojileri sayesinde karmaşık formlu parçalar için şekil uyumlu soğutma kanallarının üretimi mümkündür. Şekil 19’de şekil uyumlu soğutma kanalları ile yapılmış çeşit uygulama örnekleri görülmektedir.

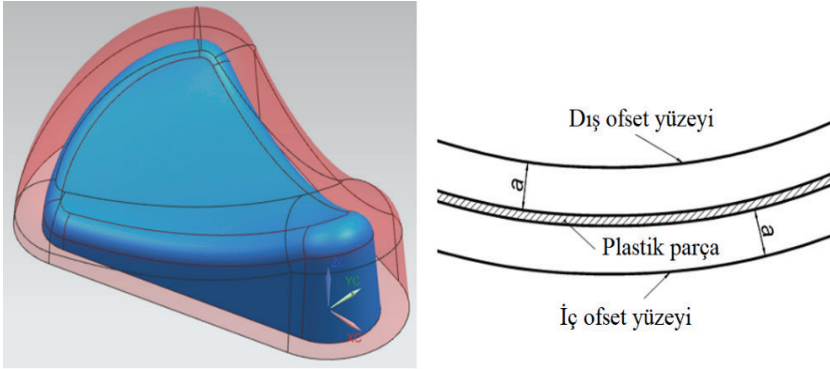


Şekil 19. Şekil Uyumlu Soğutma Uygulamaları [Khan vd., 2014, Park vd., 2020, Wang vd., 2011, Kitayama vd., 2018]

Şekil Uyumlu Soğutma Kanallarının Tasarımı

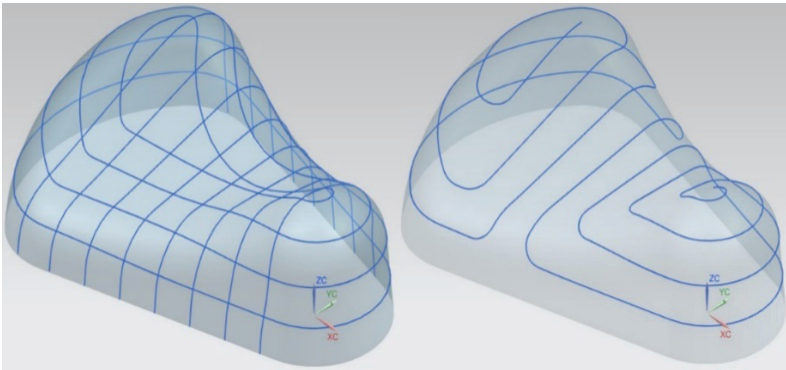
Plastik enjeksiyon kalıplamada kalıbın, eş sıcaklık dağılımı ve etkin bir şekilde soğutulabilmesi için soğutma kanallarının kalıp içerisinde en uygun biçimde konumlandırılması kritik öneme sahiptir. Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna uzaklığı, ergiyik plastik malzeme üzerindeki ısının soğutma suyuna transfer hızı üzerinde önemli bir role sahiptir. Plastik parçanın tüm bölgelerinde eşit bir soğutma hızının sağlanabilmesi soğutma kanalı ile kalıp boşluğu arasındaki mesafenin sürekli olarak sabit tutulmasına bağlıdır. Soğutulmak istenen geometrinin şekline uygun bir soğutma sistemi ile yapılan soğutma şekil uyumlu soğutma olarak anılmaktadır. Şekil uyumlu soğutma kanallarında kanal kalıp boşluğu arası mesafenin sabit bir değerde tutulması gibi soğutma kanallarının birbirlerine olan mesafenin de sabit olarak korunması gerekmektedir. Soğutma kanallarının birbirlerine yaklaştığı bölgelerde soğuma hızlanırken kanallar arası mesafenin açılması o bölgedeki soğuma hızını düşürecektir. Bu sayede plastik parçanın tüm bölgelerini eşit sıklıkta saran soğutma kanalları oluşturulabilir.

Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna sabit bir uzaklıktaki konumda yer alması için plastik parçanın hem iç hem de dış yüzeyleri belirlenen mesafe kadar ofsetlenmiştir. İki ayrı ofset yüzeyi oluşturulmuştur (Şekil 20). Şekil uyumlu soğutma kanalının merkezi bu yüzeyler üzerinde yer almaktadır.



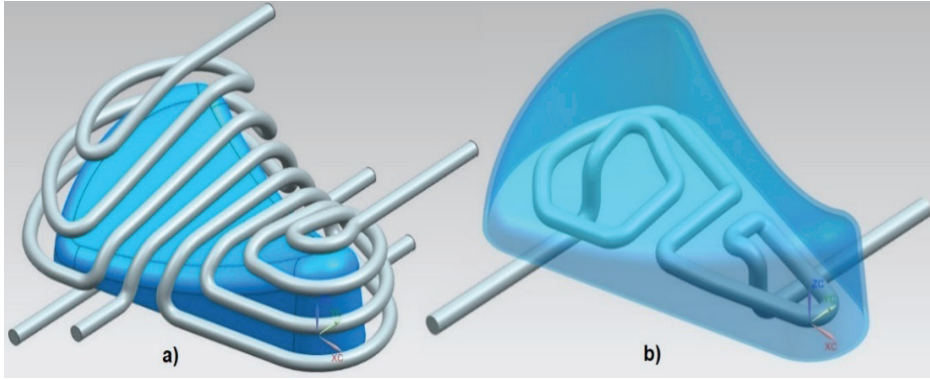
Şekil 20. Ofsetlenerek Elde Edilen Referans Yüzeyler (Göktaş vd., 2016)

Ara kesit eğrilerinin tek bir devre oluşturacak şekilde birleştirilebilmesi için bağlantı eğrileri oluşturulur. Kullanıcı tarafından soğutma kanalının başlangıç noktası belirlenir. Bağlantı eğrileri arakesit eğrilerini çember yarıçapı aralığında bölen eğrilerdir. Elde edilmek istenen soğutma hattının şekline göre eğriler budanır ve birleşim köşeleri yuvarlatılır (Şekil 21).



Şekil 21. Bağlantı Eğrilerinin Eklenmesi, Kırpma ve Yuvarlatma (Göktaş vd., 2016)

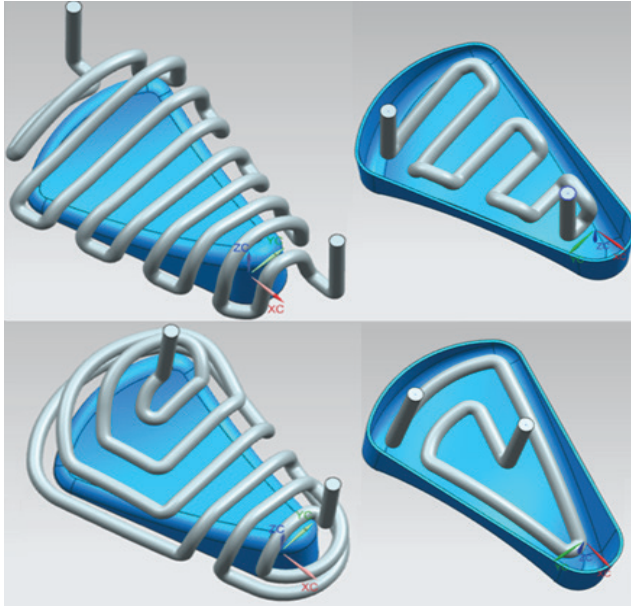
Elde edilen hatlara bağlantı uzantıları eklenerek kanal kesit profili soğutma hattı boyunca süpürülerek soğutma kanalına dönüştürülür (Şekil 22). Böylece kalıp boşluğunu sabit bir uzaklıkta, uyumlu bir şekilde takip eden soğutma kanalları elde edilmiş olur. Kalıbın her iki yarımı için aynı metot kullanılarak şekil uyumlu soğutma kanalları tasarlanabilir. Soğutma kanalının uzunluğuna göre gerekli yerlerde kanallar bölünerek soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında oluşabilecek yüksek farklar giderilebilir.



Şekil 22. a) Dişi ve b) Erkek kalıp yarımında soğutma kanallarının elde edilmesi (Göktaş vd., 2016)

Geliştirilen tasarım yöntemi ile spiral, zikzak ve paralel akış stratejilerine sahip şekil uyumlu soğutma kanallarının tasarlanması mümkündür. Şekil 23’de spiral ve zikzak soğutma kanalları görülmektedir.

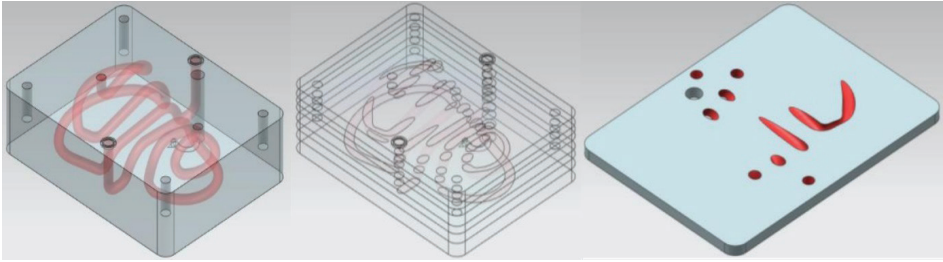
Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma kanallarının oluşturulması için en yaygın ve sit yöntem kalıp plakalarının matkapla delinerek tıkaçlarla kaplı bir akış devresi oluşturulması yöntemidir. Şekil uyumlu soğutma kanallarının üretiminde ise bu yöntem kullanılmamaktadır. Eklemeli imalat tekniklerini gelişmesi ile birlikte şekil uyumlu soğutma kanallarının üretimi mümkün hale gelmeye başlamıştır. Özellikle SLS (Selective Laser Sintering) yöntemi ile içinde şekil uyumlu kanallar bulunan kalıp çekirdekleri üretilmektedir. Yöntemin sağladığı bu avantaj yanında kalıp malzemesinin yeterli kalıp ömrünü sağlama konusunda istenen mekanik dayanımları henüz sağlayamamaktadır.



Şekil 23. Zikzak ve Spiral Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları (Göktaş, 2021)

Şekil uyumlu soğutma kanallarının üretimi için kullanılan bir diğer yöntem kalıp çekirdeklerinin lokmalı parçalar halinde üretilip birleştirilmesidir. Lokmalar arasında kanal boşlukları frezeleme ile işlenmektedir. Çok karmaşık şekilli kanallarını işlenmesinin zorluğu, montaj ve sızdırmazlık problemleri yöntemin sınırlılıkları arasındadır.

Katmanlı sert lehimleme yöntemi ile de şekil uyumlu soğutma kanalları üretilebilmektedir. Kalıp çekirdekleri katmanlara bölünerek öncelikle katman plakalarına kanal boşlukları talaşlı imalat yöntemi ile işlenmektedir. Sonrasında katman plakaları sert lehimleme ile birleştirilerek kalıp çekirdekleri oluşturulmaktadır (Şekil 24). Bu yöntem karmaşık formlu kanalların üretilebilmesi ve dayanıklı kalıp çeliği malzemelerinin kullanılması açısından avantajlara sahiptir.



Şekil 24. Şekil Uyumlu Soğutma Kanallarının Katmanlı Sert Lehimleme Yöntemi ile Üretimi (Göktaş ve GÜltaş, 2020)

SONUÇ

Plastik parçaların en çok kullanılan üretim metotlarından birisi plastik enjeksiyon kalıplama yöntemidir. Termoplastik sınıfındaki plastiklerin ısı karşısında eriyebilme özelliği sayesinde akışkan haldeki plastik malzeme kalıp boşluğuna doldurularak şekillendirilmektedir. Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi; dolun, ütüleme, soğutma ve çıkarma adımlarından oluşmaktadır. Bunlar arasındaki en kritik safha soğutma sürecidir. Hem üretim hızının hem de ürün kalitesinin belirlenmesinde soğutma işlemi etkin bir rol oynamaktadır.

Uygun soğutmanın yapılabilmesi, eriyik haldeki plastik malzemenin tekrar katılaşması esnasında çekmenin tüm bölgelerde eşit bir şekilde gerçekleşmesi için çok önemlidir. Düzgün dağılımlı bir çekme ancak parçanın tüm bölgelerinde eşit bir soğuma ile elde edilebilmektedir. Aksi takdirde sıcaklık dağılımındaki düzensizlik çekmenin de dengesiz olmasına neden olacaktır. Bu durum plastik parçanın ölçü ve geometrik özelliklerini bozarak ürün kalitesini düşürecektir. Bu ek olarak plastik parça üzerinde oluşacak kalıntı gerilmeler nedeniyle plastik parçanın mekanik dayanımı da düşecektir.

Plastik malzeme üzerindeki ısının mümkün olan en kısa sürede uzaklaştırılması kalıplamadaki çevrim süresini de kısaltacaktır. Bu durum üretim hızı ve üretim maliyetlerinin verimliliği açısından oldukça önemlidir.

Plastik enjeksiyon kalıplamada ekin ve verimli bir soğutmanın sağlanabilmesi için soğutma sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma, kalıp plakalarına delinen soğutma kanallarından soğuk su akışı ile sağlanmaktadır. Kanal içerisinden akan soğuksu, temas ettiği kanal yüzeyinden ısı alarak kalıp dışına taşımaktadır. Kalıplama işleminde dolum safhasında plastik malzemenin katılaşmadan kalıp boşluğuna dolabilmesi kalıp sıcaklığının belirli değerlerde olması ile mümkündür. Yani soğutma sistemi kalıp sıcaklığını bu verimli çalışma sıcaklığında tutabilmelidir.

Soğutma kanalları kalıp bloğu içinde kalıp boşluğuna mümkün olduğunca yakın mesafelerden geçmelidir. Böylece plastik malzeme üzerindeki ısının soğutma suyuna geçişi kolaylaşacaktır. Ayrıca kalıp malzemesinin ısıl iletkenliği de ısı transfer hızını ve sıcaklık dağılımını iyileştireceğinden ısıl iletkenliği yüksek kalıp malzemeleri tercih edilmelidir.

Soğutma kanallarının boyutları ve mesafeleri, kalıp üzerinde eş sıcaklık dağılımını sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Kanal boyutlarının belirlenmesinde en önemli kriterlerden birisi plastik parçanın et kalınlığıdır. Et kalınlığına göre uygun boyutlar kullanılarak kanal tasarımı yapılmalıdır.

Kanal içindeki su akışının türbülanslı olması ısı transferini iyileştirmektedir. Kanal içerisinde türbülanslı akış için uygun akış hızını sağlayacak debiler ayarlanmalıdır. Uygun çalışma debisi ayrıca su giriş ve çıkış sıcaklık farkının 2-3°C'yi geçmemesi için de önemlidir.

Eğimli ve karmaşık formlu plastik parçaların kalıplanmasında kalıp üzerindeki eş sıcaklık dağılımının elde edilebilmesi için kalıp boşluğunu düzgün bir şekilde saran şekil uyumlu soğutma kanalları kullanılmalıdır.

Kalıp çalışma sıcaklığının ve su akış kontrolünün hassas bir şekilde denetlenebilmesi için kalıp şartlandırıcı kullanılmalıdır. Şartlandırıcı kullanımı hazırlık süreçlerini de kısaltacağından üretim hızının artmasını sağlayacaktır.

Bilgisayar ortamında plastik enjeksiyon kalıplama için yapılacak akış ve soğuma analizleri ile tasarım hataları düzeltilmeli, etlin ve verimli soğutmanın gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

Akyüz, Ö.F., (1998). *Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*. İstanbul: Pagev Yayınları.

A Raus, A., Wahab, M. S., Ibrahim, M., Kamarudin, K., Ahmed, A., & Sa'ude, N. (2017). *A Comparative Study of Mould Base Tool Materials in Plastic Injection Moulding to Improve Cycle Time and Warpage Using Statistical Method*. Journal of Mechanical Engineering (JMEchE), (1), 1-17.

Amran, M., Salmah, S., Marjom, Z., Al-Amani, U., Izamshah, R., Hadzley, M., Abdullah, Z., and Sanusi, M. (2014). *Warpage analysis verification between simulation and experimental of dumbbell plastic part in the injection moulding process*. International Symposium on Research in Innovation and Sustainability 2014 (ISORIS '14). Malacca, Malaysia.

Ekersular, M. (2007). *Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Soğutma Kanallarının En Uygun Konumunun Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Goktas, M., Guldaz, A., and Bayraktar, O. (2016). *Cooling of Plastic Injection Moulds Using Conformal Cooling Canals*. International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016), Sarajevo, 1(1), 1987-1993.

Gültaş A. and Göktaş M. (2020). "Production of Plastic Injection Molds with Conformal Cooling Channels by Laminated Brazing Method", *Gazi University Journal of Science*, 33(3): 780-789. <https://doi.org/10.35378/gujs.621930>

Göktaş, M. (2021). *Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Tabakalı Obje İmalatı Yöntemi ile Şekil Uyumlu Soğutma Kanalı Üretimi ve Deneysel İncelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara

Güneş, A.T., (2005). *Plastik Enjeksiyon Kalıpları*, Ankara: Makine Mühendisleri Odası.

Kazmer, D.O., (2007). *Injection Mold Design Engineering*. Munich: Hanser

Kitayama, S., Tamada, K., Takano, M., and Aiba, S. (2018). *Numerical Optimization of Process Parameters in Plastic Injection Molding for Minimizing Weldlines and Clamping Force Using Conformal Cooling Channel*. Journal of Manufacturing Processes, 32, 782-790. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.04.007>

Khan, M., Afaq, S.K., Khan, N.U., and Ahmad, S. (2014). *Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design*. International Scholarly Research Notices, 2014,

Malloy, R.A., (2010). *Plastic Part Design for Injection Molding*. Munich: Hanser.

Mayer, S. (2005). *Optimised Mould Temperature Control Procedure Using DMLS*. EOS Whitepaper, EOS GmbH Ltd, 1-10.

Park, H.S., Dang, X.P., Nguyen, D.S., and Kumar, S. (2020). *Design of Advanced Injection Mold to Increase Cooling Efficiency*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 7(2), 319-328. <https://doi.org/10.1007/s40684-019-00041-4>

Qiao, H. (2006). *A Systematic Computer-Aided Approach to Cooling System Optimal Design in Plastic Injection Molding*. International Journal of Mechanical Sciences, 48(4), 430-439. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2005.11.001>

Rao, N. S. and Schumacher, G. (2004). *Design Formulas for Plastics Engineers*. 2nd ed., Hanser Verlag, pp. 51-52.

Savaşçı, Ö.T., Uyanık, N., Akovalı, G., (2008). *Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi*. İstanbul: Pagev Yayınları.

Tang, L.Q., Chassapis, C., and Manoochchri, S. (1997). *Optimal cooling system design for multi-cavity injection molding*. Finite Elements in Analysis and Design, 26(3), 229-251. [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(96\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(96)00083-2)

Turaçlı, H., (2000). *Enjeksiyon Kalıpları İmalatı*, İstanbul: Pagev Yayınları.

Wang, Y., Yu, K.M., Wang, C.C., and Zhang, Y. (2011). *Automatic design of conformal cooling circuits for rapid tooling*. Computer-Aided Design, 43(8), 1001-1010. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2011.04.011>

Zhou, H. and Li, D. (2005). *Mold Cooling Simulation of The Pressing Process in Tv Panel Production*. Simulation Modelling Practice and Theory, 13(3), 273-285. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2004.11.006>

İNTERNET KAYNAKLARI

Engineering Polymers, Part and Mold Design, Thermoplastics, A Design Guide, Bayer Corporation. 2000. <https://studylib.es/doc/9089563/1.a-design-guide---part-and-mold-design---bayer>, (E.T.17.12.2022).

Introduction to Injection Molding for Mass Production of Custom Plastic Parts. <https://predictabledesigns.com/introduction-to-injection-molding/>, (E.T.17.12.2022).

Moldex3D Provides Mold Preheat Analysis to Enhance Mold Temperature Management. <https://www.moldex3d.com/en/blog/tips-and-tricks/moldex3d-provides-mold-preheat-analysis-to-enhance-mold-temperature-management/>.(E.T.17.12.2022).

The Basics Of Injection Molding Service. <https://facfox.com/service/injection-molding-service/>, (E.T.17.12.2022).

EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI

Adem Yasin ÇIPLAK¹, Ayşe Sevcan BİLGİN², Ali KULLUKÇU³

Başak Traktör Fabrikası AR-GE Merkezi, Sakarya / Türkiye

Öz: Bu çalışmada, bir traktöre ait egzoz sisteminin NVH karakteristiğini çıkarmak için yapılan analizler detaylı olarak anlatılmaktadır. Serbest şekilde modal analizi yapılan egzoz sisteminin kütle katılım faktörleri ve deplasman değerleri bulunmuştur. Buradan çıkan sonuçlar analitik olarak incelenmiş ve egzoz mesnet noktalarının optimum yerleri tespit edilmiştir. Belirlenen mesnet noktalarından sistem sabitlenerek tekrar modal analiz koşturulmasıyla sistemin modal durumu çıkarılmıştır. Egzoz sisteminin rastgele titreşim parametreleri traktör çalışır halde iken, elde edilmiştir. Tarla yolunda ikinci vites takviye tarla modun da 700-1500 dev/dk, tarla yolunda ikinci vites takviye tarla modun da 4x4 aktif 0-14 km/h aralıklarında, tarla dördüncü vites seri modun da dört sıra 14" pulluk ile testler sırası ile yapılmıştır. Rastgele titreşim testi esnasında zamana bağlı ivme değeri elde edilmiştir. Zaman değeri Hz değerine çevrilmesi için hızlı fourier dönüşümü (FFT) yapılmaktadır. FFT sonuçları güç spektral yoğunluğu (PSD) çevrilmektedir. Rastgele titreşim analizinde rasgele titreşim yüklemesi güç spektral yoğunluğu yani PSD girdisi kullanılarak yapılmaktadır. Rastgele titreşim test sonuçları, sonlu elemanlar yönetimini kullanarak aynı sınır koşulları ve malzeme değerleri için modeller oluşturulmuş ve sayısal rastgele titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Rastgele titreşim analizi ile Steinberg 3-bant hasar hesaplama yöntemi 3σ gerilme

-
- 1 Başak Traktör Ar-Ge, Yapısal Analiz Mühendisi, Sakarya /Türkiye, e-mail: yciplak@basaktraktor.com.tr, Orcid no:0000-0002-8474-0721
 - 2 Başak Traktör Ar-Ge, Uzman Test Mühendisi, Sakarya / Türkiye, e-mail: sbilgin@basaktraktor.com.tr
 - 3 Başak Traktör Ar-Ge, Genel Müdür Yardımcısı, Sakarya / Türkiye, e-mail: akullukcu@basaktraktor.com.tr, Orcid no: 0000-0003-3132-0894

değerleri elde edilmiştir. En kritik yükleme ve sınır koşulları pulluk ile tarla sürümünde meydana gelmektedir. Bu koşul göz önüne alındığında egzoz sisteminin mesnet noktalarının seçimi titreşim vb. durumlardan en az etkilenecek şekilde belirlenmiş olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Egzoz Sistemi, Titreşim Testi, Rastgele Titreşim Analizi, Sonlu Elemanlar Yöntemi

GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi otomotiv sektörünü de etkilemiş, kullanılan yeni metotlarla araç geliştirme ve üretim aşamalarına etki eden faktörlerin daha fazla incelenme fırsatı yakalanmıştır. Sonlu elemanlar analizi (FEA) gibi sanal analiz yöntemleriyle seri üretim ve hatta prototip imalatı öncesi araçların araç dinamiği, dayanım ve NHV (Noise, vibration, and harshness) gibi önemli karakteristikleri incelenebilmiştir. Böylece araçlardaki başlıca sorunlar ve bunları etkileyen faktörler kontrol altına alınarak araçların verimi, ömrü ve konfor düzeyi arttırılmıştır. İçten yanmalı motorlara sahip araçlarda titreşimin en önemli kaynağı motordur. Egzoz sistemi, motor ile doğrudan bağlantılı olduğundan yüksek oranlarda titreşime maruz kalmaktadır. Sistemin kendisi ve araçla etkileşiminden dolayı NVH karakteristiği çıkarılarak iki tarafın da etkileri incelenmelidir. Sanal yöntemlerle bunu prototip üretimi öncesinde yapmak mümkündür (Bötke & Yazğaç,2016).

Egzoz sistemi hiçbir noktadan mesnetlenmeden (free-free) modal analizi oluşturulmuştur. Free-free modal analiz sonucundan elde edilecek düğüm noktalarında ki kütle katılım faktörleri sonuçlarından yola çıkarak egzoz sisteminin mesnet noktaları belirlenmiştir(Yıldırım & Esim, 2019).Egzozun sonlu elemanlar modeli (Yıldırım & Esim, 2019) bu sefer mesnet noktalarından sabitlenerek modal analize tabi tutulmuştur. Egzoz sisteminin modal karakteristiği çıkarılmış yüksek modal kütleyle sahip modların, araçtaki diğer sistemlerin önemli modlarla çakışma ihtimali incelenmiştir. Egzoz sisteminin modal karakteristiği üzerinden traktörün farklı yol ve sürüm şartları test edilerek rastgele titreşim testi yapılmıştır. Rastgele titreşim test verileri ile ANSYS programında 3σ gerilme değerleri elde edilmiştir.

METOT

Sonlu Elemanlar Modeli

Egzoz sisteminin modellenmesi, ANSYS 2022 R2 kullanarak iki ve üç boyutlu elemanlar ile mesh oluşturulmuştur. SHELL281 elemanı kullanılmıştır. İnce ila orta kalınlıktaki kabuk yapılarını analiz etmek için uygun olan eleman, her düğümde altı serbestlik derecesine sahip: x, y ve z eksenlerinde ötelemeler ve x, y ve z eksenleri etrafında dönme. Egzoz sisteminin modellenmesinde boru ve braket parçalarında iki boyutlu, kaynak kısımlarında ise üç boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 1’de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için çözüm sonuçlarını etkileyen faktörlerden biri mesh kalitesidir. Mesh yakınsaması yapılarak en ideal mesh boyut ve kalitesine ulaşılmıştır.

Serbest Modal Analiz

Sonlu elemanlar modelinde hiçbir nokta üzerinden mesnetlenmeden serbest modal analiz koşturulmuştur. Analiz sonucunda katılım faktörü ve etkin kütle yüksek olduğu mod ve bu moda bağlı deplasman değerlerinin en az olduğu kısımlardan egzoz sistemi mesnet noktaları bulunmaktadır. Bu yöntem kullanılarak egzoz sisteminin titreşimi esnasında mesnet noktalarının en az titreşim davranışı gösteren kısımları seçilmiş olur.

Modal Analiz

Mekanik sistemlerin genel hareket denklemi (Zhijun Wu vd., 2010) şu şekilde yazılabilir:

$$[m] \ddot{x}(t) + [c] \dot{x}(t) + [k] x(t) = f(t) \quad (1)$$

Burada; $[m]$ kütle matrisi, $[c]$ sönüm matrisi, $[k]$ rijitlik matrisi, $x(t)$ sistem yer değiştirme cevap vektörü, $\dot{x}(t)$ sistem hız vektörü, $\ddot{x}(t)$ sistem ivme vektörü; $f(t)$ sisteme etki eden kuvvet vektörü olarak ifade edilmektedir. Sistemde uygulanan kuvvet ve sönüm olmadığı kabulü yapılırsa Denklem şu şekilde yazılabilir:

$$[m] \ddot{x}(t) + [k] x(t) = 0 \quad (2)$$

$$U_i = \Phi_i \sin(\omega_i t + \theta_i), \quad i=1,2,\dots \text{ DOF} \quad (3)$$

Bu harmonik ifadede: Φ , i. titreşim modu için düğümsel genliklerin (mod şekli) bir vektörüdür. ω sembolü, modun açısız frekansını temsil eder. i ve θ faz açısını gösterir. Denklem 3 zamana göre iki kez türevi alınırsa;

$$U_i = w_i^2 \Phi_i \sin(w_i t + \theta_i) \quad (4)$$

Denklem 3 ve 4, Denklem 2'de yerine yazılırsa ve $(w_i t + q_i)$ terimi iptal edilerek yeniden düzenlenirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$([K_i] - w^2 [M_i]) \Phi = 0 \quad (5)$$

Elde edilen bu denklem öz değer problemidir ve Block Lanczos öz değer çıkarma yöntemi ile çözülebilmektedir. ANSYS Workbench modal analiz çözümü Block Lanczos yöntemi ile çözümü verilmektedir (Bao & Lu, 2012.). Serbest modal analiz (Singiresu & Rao, 2011) sonuçlarından yola çıkılarak mesnet noktaları ve sınır şartları belirlenmiştir. Belirlenen mesnet noktaları ile modal analiz koşturulmuştur. Mod değerleri motorun çalışma frekansı ile çakışan frekans değerlerine bakılmıştır.

Modal analiz ile katılım faktörü ve etkin (effective) kütle sonuçları incelenecektir. Kütle katılım faktörü herhangi bir mod değeri için herhangi bir yönde olmaktadır. Herhangi bir mod değerinin altı serbestlik derecesi üzerinden hangi yönde ve ne kadar kütleli, ne kadar hareket ettirdiğini söylemektedir. İlgili mod da yüksek katılım faktörü bulunması kuvvetle birlikte yapının o yöne yöneleceği sonucu elde edilebilir. Etkin kütle değeri katılım faktörünün karesi ile ifade edilmektedir. İlgili mod değerinin ne kadar kütleli hareket ettirdiğini göstermektedir. Katılım faktörü, etkin kütle ve kümülatif kütle oranı değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Katılım Faktörü Etkin Kütle ve Kümülatif Kütle Oranı Değerleri

Katılım Faktörü							
Mod	Frekans Hz	Öteleme x	Öteleme y	Öteleme z	Dönme x	Dönme y	Dönme z
1	9,172	3,05E-03	1,31E-02	6,78E-02	19,356	-39,066	7,1551
2	12,397	2,25E-04	6,83E-02	-1,25E-02	45,618	6,5116	38,001
3	37,74	4,60E-02	6,72E-03	-3,46E-02	-0,77217	11,175	2,1264
4	46,75	-2,89E-03	-3,60E-02	-6,69E-03	-33,798	12,843	-48,56
5	86,04	-6,11E-03	1,73E-02	5,10E-03	13,207	0,70899	22,079
6	104,94	7,49E-03	-2,70E-03	5,61E-03	-2,0804	-11,313	1,4569
7	118,73	1,26E-02	1,26E-03	-3,84E-04	1,1923	-8,7587	0,23653
8	132,81	-7,24E-04	5,97E-04	-1,43E-04	0,33702	0,74139	0,41448
9	148,26	-5,07E-03	3,51E-03	1,36E-03	3,593	1,6072	7,3832
10	155,95	2,61E-03	-1,82E-03	4,52E-05	-0,93623	-1,8606	-3,1555

Etkin Kütle						
Frekans Hz	Öteleme x	Öteleme y	Öteleme z	Dönme x	Dönme y	Dönme z
9,172	9,29E-06	1,72E-04	4,60E-03	374,66	1526,2	51,196
12,397	5,06E-08	4,67E-03	1,57E-04	2081	42,401	1444,1
37,74	2,12E-03	4,51E-05	1,20E-03	0,59625	124,88	4,5218
46,75	8,36E-06	1,30E-03	4,47E-05	1142,3	164,95	2358
86,04	3,73E-05	3,01E-04	2,60E-05	174,43	0,50266	487,5
104,94	5,61E-05	7,29E-06	3,15E-05	4,3281	127,99	2,1226
118,73	1,59E-04	1,58E-06	1,48E-07	1,4217	76,715	5,59E-02
132,81	5,25E-07	3,56E-07	2,03E-08	0,11359	0,54965	0,17179
148,26	2,57E-05	1,23E-05	1,84E-06	12,91	2,5832	54,512
155,95	6,83E-06	3,31E-06	2,04E-09	0,87653	3,4617	9,9573
Toplam	4,09E-03	6,52E-03	6,06E-03	3796,2	3144,3	4504,1

EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI

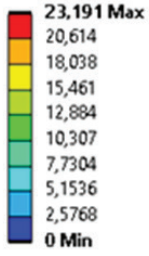
Kümülatif Kütle Oranı						
Frekans Hz	Öteleme x	Öteleme y	Öteleme z	Dönme x	Dönme y	Dönme z
9,172	2,27E-03	2,64E-02	0,75845	9,87E-02	0,48537	1,14E-02
12,397	2,29E-03	0,74167	0,78431	0,64686	0,49886	0,33198
37.74	0,52087	0,74859	0,98213	0,64702	0,53857	0,33298
46.75	0,52292	0,94727	0,98951	0,94792	0,59103	0,85652
86.04	0,53204	0,99334	0,9938	0,99387	0,59119	0,96475
104.94	0,54578	0,99446	0,99899	0,99501	0,6319	0,96522
118.73	0,58475	0,9947	0,99901	0,99538	0,65629	0,96523
132.81	0,58488	0,99475	0,99902	0,99541	0,65647	0,96527
148.26	0,59117	0,99664	0,99932	0,99881	0,65729	0,97738
155.95	0,59284	0,99715	0,99932	0,99904	0,65839	0,97959

Bu mod değerlerinden kütle katılım faktörü yüksek olan mod değerleri üzerinde durulmaktadır. İlk on mod değeri Tablo 2’de gösterilmektedir. Kritik iki mod değeri olan birinci ve ikinci mod şekli Şekil 2’de gösterilmektedir. Sonlu elemanlar sınır şartı Şekil 3’de gösterilmektedir.

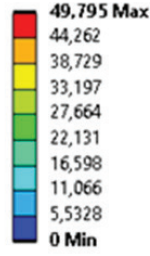
Tablo 2. Mod Değerleri

Mod	Frekans (Hz)	Test Frekans (Hz)	Mod	Frekans (Hz)	Test Frekans (Hz)
1	9.172	9.77	6	104.94	103
2	12.397	13	7	118.73	116
3	37.74	36.06	8	132.81	121
4	46.75	48	9	148.26	149
5	86.04	81	10	155.95	154

B: Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
1.Mod
Unit: mm
5.12.2022 08:34



B: Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
2.Mod
Unit: mm
5.12.2022 08:39



Şekil 2: Mod Şekli

EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI

B: Modal

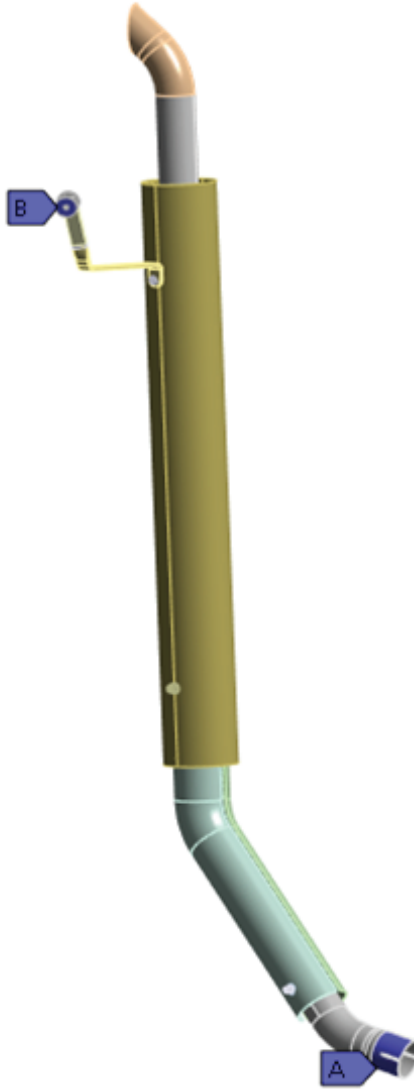
Modal

Frequency: N/A

9.12.2022 08:17

A Fixed Support

B Fixed Support 2

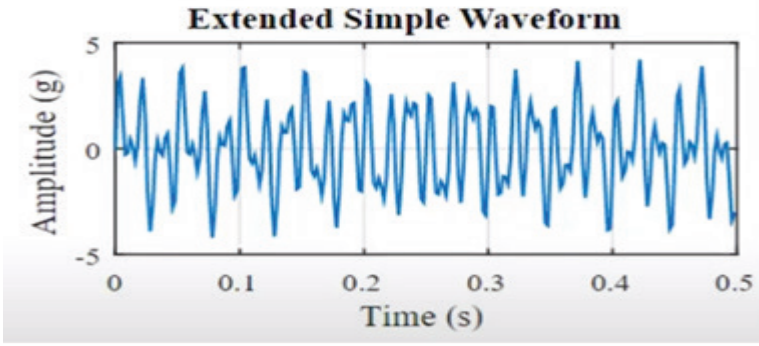


Şekil 3: Sonlu Elemanlar Sınır Şartı

Rastgele Titreşim

Rastgele titreşimler, yalnızca istatistiksel anlamda tanımlanabilen titreşimlerdir. Anlık büyüklüğün ne zaman gerçekleştiği bilinmemek-

tedir. Büyüklükler standart sapma, ortalama değer gibi istatistiksel olarak ifade edilir (Ateş vd., 2014). Rastgele titreşim testleri tarla, yol durumlarının ekipmanlı ve ekipmansız kombinasyonları ile egzoz sistemine gelen yüklemelerin ölçülmesi sonucunda rastgele titreşim testi gerçekleştirilmiştir. Testler tarla yolunda ikinci vites takviye tarla modun da 700-1500 dev/dk, tarla yolunda ikinci vites takviye tarla modun da 4x4 aktif 0-14 km/h aralıklarında, tarla dördüncü vites seri modun da dört sıra 14' pulluk ile testler sırası ile yapılmıştır. Rastgele değişen kuvvet, zamana bağlı grafikler ile gösterilmektedir. Rastgele titreşim testinde ivme sensörleri vasıtasıyla sistemin üzerine etkileyen ivme zamana göre grafik elde edilmektedir. İvme zaman grafiği Şekil 4'de gösterilmiştir.

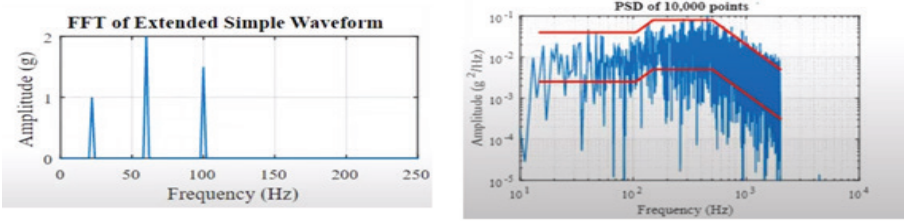


Şekil 4: İvme Zaman Grafiği

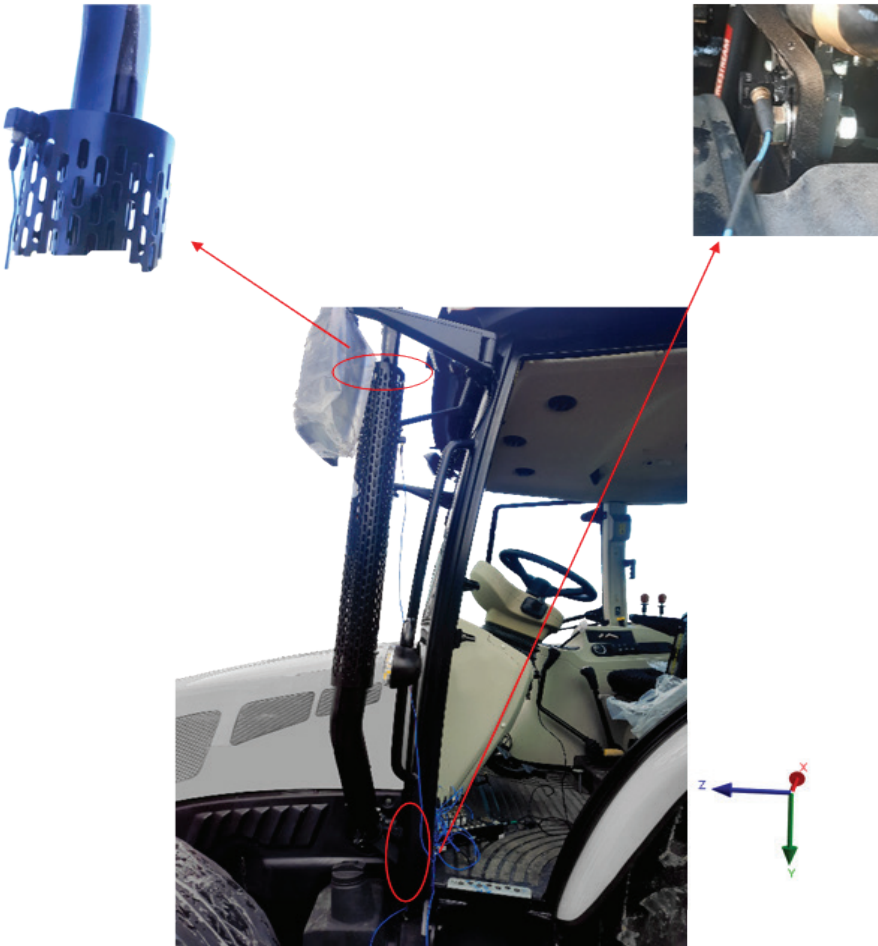
Elde edilen zamana bağlı ivme değerinde zaman değeri Hz değerine çevrilmesi işlemine (FFT of Extended Simple Waveform) denir. Rastgele titreşim analizlerde FFT sonuçlarını PSD çevrilmektedir. Bunun için her bir ivme değerini karesini alıp Hz bölünmektedir. Rastgele titreşim analizde her zaman PSD değerleri üzerinden analiz yürütülür (Topçuoğlu, 2020). FFT ve PSD grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

Bir Güç Spektral Yoğunluğu (PSD), sinyalin güç içeriğinin frekansa karşı ölçüsüdür. Bir PSD tipik olarak geniş bantlı rastgele sinyalleri karakterize etmek için kullanılır. PSD'nin genliği, sinyali sayısallaştırmak için kullanılan spektral çözünürlük ile normalleştirilir. Titreşim verileri için PSD'nin genlik birimi g^2/Hz' dir. Rastgele titreşim ölçümü için traktör üzerine bağlanan ivmeölçer sensörleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI



Şekil 5: FFT – PSD



Şekil 6: Rastgele Titreşim Sensör Bağlantısı

Testler, DEWESOFT'a ait DEWE-43A veri toplama sistemi ile yapılmıştır. Titreşim ölçümü için PBC 2 adet 3 eksen ivmeölçer kullanılmıştır. DEWESOFT yazılımında veriler incelenip grafiksel olarak analiz yapılmıştır.

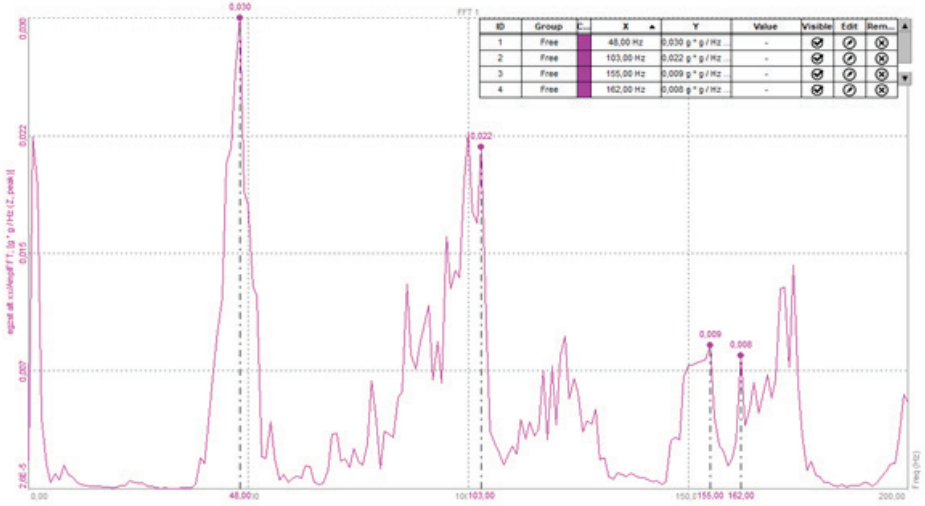
Rastgele Titreşim Analizi

Rastgele titreşim analizi aslında bir Mode-Superposition metottur. Bu metot dönme ve öteleme serbestlik derecelerini kullanmak yerine mod değerlerini kullanarak çalışmaktadır. Rastgele titreşim analizi yapının rastgele uygulanan titreşimler altında tepkisini görmek için yapılmaktadır. Sistemin rastgele yükler karşısında tepkisini ve yanıtının belirlenmesi için kullanılır. Analizde gerilme alındığı zaman 3σ değeri için bakılmaktadır. Gerilme değeri ile hasar ve ömür hesaplamaları yapılabilmektedir. RMS değerlerine bakarak eksenlerdeki kritik değerlere sahip olduğu anlaşılabilir.

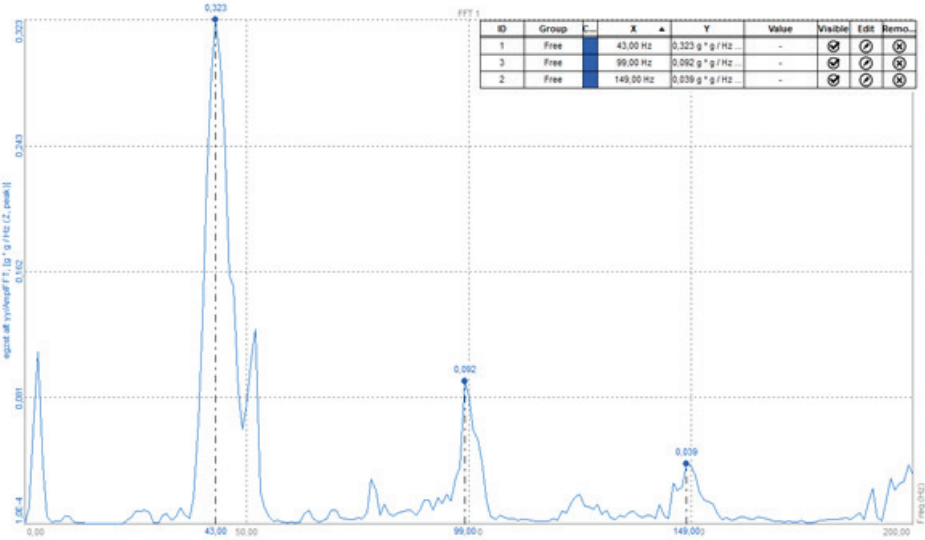
ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde egzoz sistemi için yapılan deneysel rastgele titreşim test ölçümleri ve sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal rastgele titreşim analizinden elde edilen bulgular verilmiştir. Deneysel yöntem ile yapılan titreşim testinden frekans değerine bağlı g^2 / Hz FFT grafiği Şekil 7'den Şekil 9'a kadar verilmiştir. Rastgele titreşim testlerinden elde edilen FFT grafiğindeki pik noktaları modal analizde elde edilen doğal frekans değerleri ile çakışmaktadır. Elde edilen g^2 / Hz değerleri çok düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

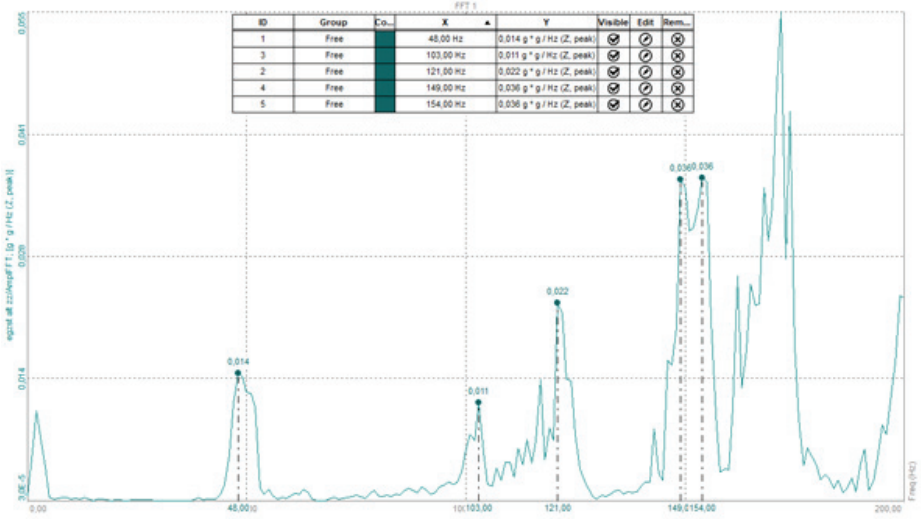
EGZOS SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI



Şekil 7: X Eksenli FFT Grafiği

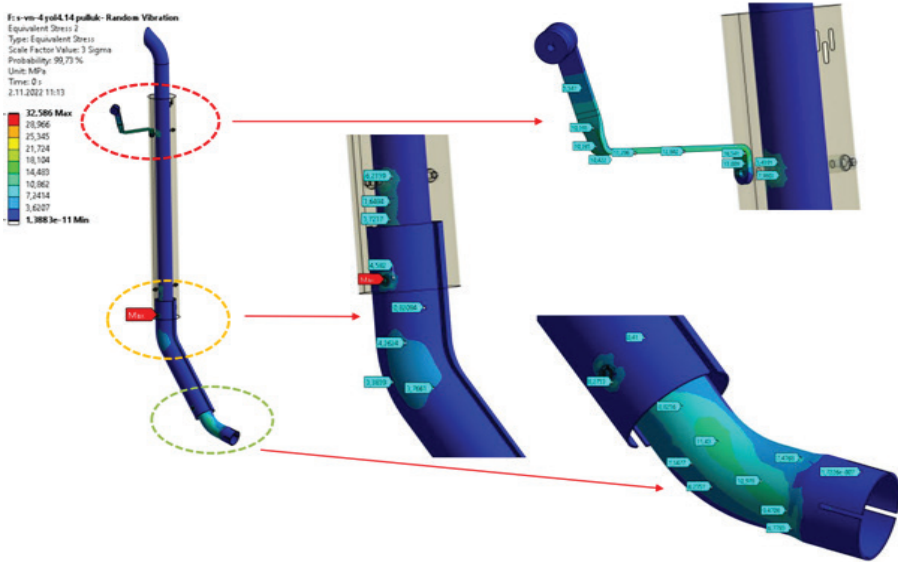


Şekil 8: Y Eksenli FFT Grafiği



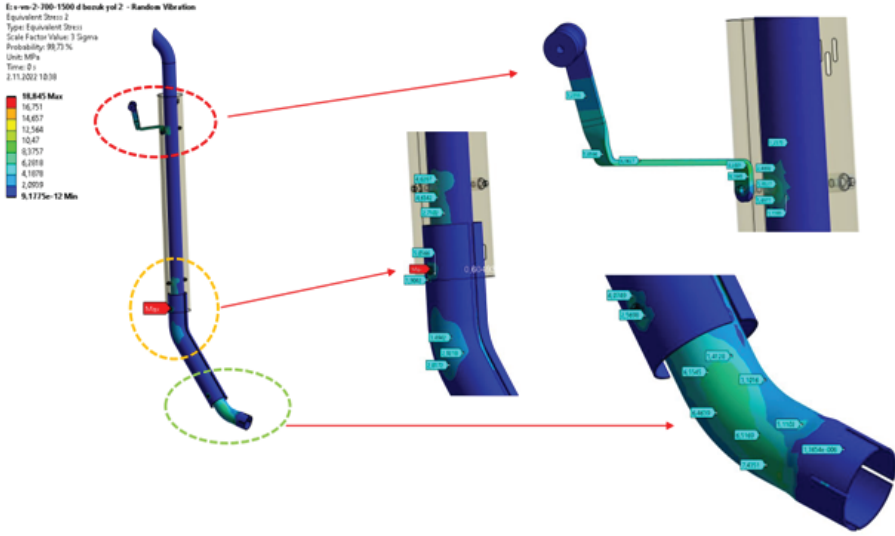
Şekil 9: Z Eksenli FFT Grafığı

Rastgele titreşim analizinde Steinberg 3-bant hasar hesaplama yöntemi 3σ ile gerilme değerleri Şekil 10'dan Şekil 12'ye kadar gösterilmiştir.

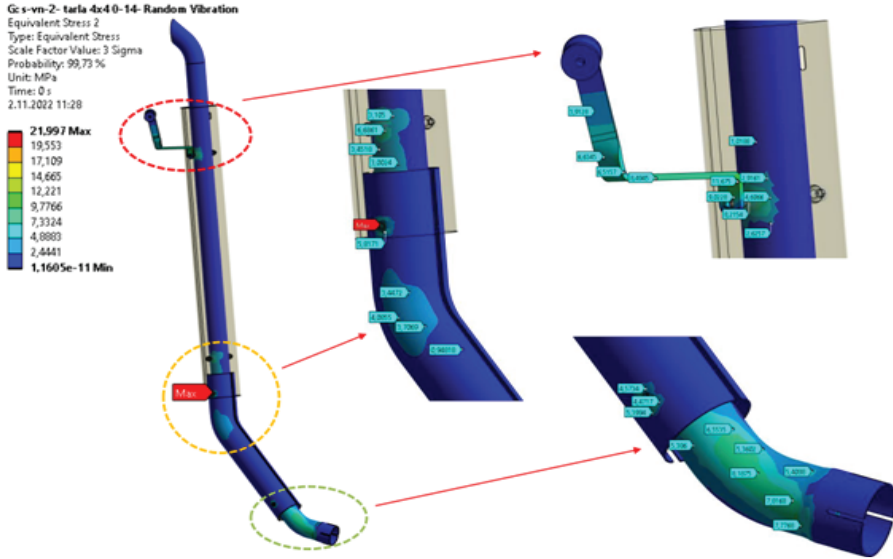


Şekil 10: 4x4 4-14 Pulluk Rastgele Titreşim Testi Gerilme Değeri

EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI



Şekil 11: Yol 700-1500 Devir Rastgele Titreşim Testi Gerilme Değeri



Şekil 12: Tarla Yol 4x4 0-14 km/h Rastgele Titreşim Testi Gerilme Değeri

SONUÇ

Bu çalışma egzoz sisteminin mesnet noktalarını ve titreşim karakteristiğinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak titreşim karakteristiği ve doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Modal analiz sonucunda elde edilen katılım faktörü ve etkin kütle değerlerine bakıldığında ikinci mod olan 12.397 Hz frekans değeri için kütle ekseninde öteleme, x ekseninde dönme hareketini eğiliminde olduğu görülmektedir. Rastgele titreşim test sonuçlarından PSD verileri g^2/Hz olarak alınmıştır. Alınan ivme değerlerinde frekansa bağlı pik noktaları sonlu elemanlarda bulunan doğal frekans değerleri ile örtüşmektedir ve bu değerlerde en yüksek g^2/Hz değerleri elde edilmiştir. Modal analiz, test ile elde edilen sayısal ve deneysel modal sonuçları uyumlu olduğu egzoz sistemi üzerinde Steinberg 3-bant hasar hesaplama yöntemi 3σ gerilme değerleri elde edilmiştir. 3σ gerilme değeri ile egzoz sisteminde kullanılan malzemenin akma mukavemetinin altında değerler elde edilmiştir. Parçanın üretim metoduna bağlı olarak malzemenin mevcut özellikleri, emniyet katsayısı belirlenirken göz önüne alınacak faktörler arasındadır. Buna bağlı olarak emniyet kat sayısını yüksek almak gerekmektedir. Analiz sonucunda tarla dördüncü vites seri modun da dört sıra 14' pulluk ile sürümde iken 32 MPa, tarla yolunda ikinci vites takviye tarla modun da 700-1500 dev/dk seyir halinde iken 18.85 MPa, tarla yolunda ikinci vites takviye tarla modun da 4x4 aktif 0-14 km/h seyir halinde iken 21 MPa gerilme değeri elde edilmiştir. En kritik yükleme ve sınır koşulları pulluk ile tarla sürümünde meydana gelmektedir. Bu koşul göz önüne alındığında egzoz sisteminin mesnet noktalarının seçimi titreşim vb. durumlardan en az etkilenecek şekilde belirlenmiş olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

Bötke, D. Yazgaç, Bir Otobüsün Egzoz Sisteminin NVH Açısından Sanal Olarak İncelenmesi, OTEKON'16, Bursa,2016

E. Bao, Y. Lu, "Vibration characteristics of a vehicle exhaust system," Noise Vib. Cont., vol. 32, no. 5, pp. 101-103, Oct. 2012.

H.Ateş, M.Yahşi, F.Öztürk, Egzoz Sisteminin Modal Analiz Korelasyon Ve Model Güncellemesi, OTEKON'14, Bursa,2014

EGZOZ SİSTEMİNİN NVH KARAKTERİSTİĞİNİN SONLU ELEMANLAR BENZETİMİ İLE ÇIKARTILMASI

Singiresu S. Rao, Mechanical Vibrations, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2011.

Ş.Yıldırım and E Esim, Modal Analysis of Double Beam Overhead Type Crane Systems by Finite Element Method. Konya Journal of Engineering Sciences. 7, 975-988, 2019.

Ş.Yıldırım and E. Esim, Free vibration analysis of multi-carriages crane systems with finite element method. 5th International Conference on Engineering and Natural Science, pp. 22-30. Prague, Czech Republic, 2019

Z. Liu, J. Tian, Y. Wu, J. Houxian, J. Li, "Hanger location layout of automotive exhaust system," J. Wuhan Univ. Tech.: Inform. Manag. Eng., vol.32, no. 6, pp. 950-953, Dec. 2010

İNTERNET KAYNAKLARI

O. Topçuoğlu , 2020. SOLIDWORKS Random Vibration Analiz #2

<https://blog.armadayazilim.com/2020/12/30/solidworks-random-vibration-analiz-2/>

BEBEK HAZIR GİYİMİNDE DÜŞÜK FORMALDEHİT MİKTARINI TESPİT EDEBİLEN HASSAS ALGILAMA YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Reyhan DÖŞEME¹

Öz: Tekstil sektörü, hammaddenin işlenmesinden nihai ürüne kadar olan süreç aşamalarında farklı türde kimyasalların kullanılmasını gerektiren bir sanayi dalıdır. Toksik bir kimyasal olan formaldehitin ham kumaş üretiminden hazır giyim üretimine kadar tüm süreç aşamalarında insan sağlığını korumayı ve sürdürülebilir bir çevreye katkı sağlamayı amaçlaması nedeniyle tekstil sektörü için tehlike oluşturmaktadır. Mevcut sistemde tekstil ürünlerinde formaldehit miktarının tespiti için Uluslararası Standartlar Organizasyonu tarafından belirlenen ISO-14148-1 formaldehit miktar tayini testi kullanılmaktadır. Bu teste göre 16 ppm alt sınırına kadar formaldehit miktarı belirlenebilmektedir. Bu çalışmada alt limiti 16 ppm olan ISO standardını daha hassas ölçüm yaparak ürün güvenliğini artırmak amacıyla alt limiti 3 ppm'e indirebilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaçla titrasyon yöntemi kullanılarak formaldehit standart çözeltileri hazırlanmış ve bu çözeltiler kullanılarak çeşitli test numuneleri ve kalibrasyon çözeltileri hazırlanmıştır. Sonuçlar, serbest formaldehit miktarının 3 ppm'e kadar belirlenebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Formaldehit Tespiti Test Metodu, Düşük Formaldehit, Ölçüm, Analiz, Analitik İşlem, Kalibrasyon, Tekstil Kimyasal Analiz, Hazır Giyim Çocuk Güvenliği Hassas Test Metodu

GİRİŞ

Kimyasal madde kullanımı başta tekstil ve kimya sektörü olmak üzere pek çok sanayi alanında uygulanmaktadır. Bu kimyasal maddeler

1 Akar Tekstil, Ar-Ge Merkezi, İzmir / Türkiye, e.mail: hasansabriceylan@akartextile.com

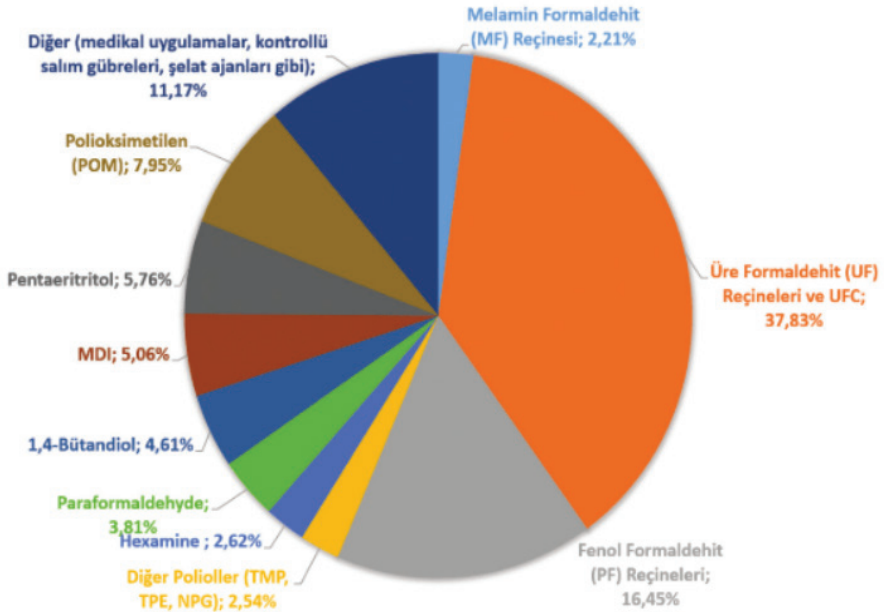
üretim proseslerinin belli aşamalarında prosese dahil edilmektedir. Bu nedenle, insan sağlığına ve çevreye verebilecek zararlar ortadan kaldırılmalı veya minimum seviyeye indirilmelidir. Ancak bazı kimyasallar üründen uzaklaştırıldığı takdirde üretimi engellemektedir. Gerek proses sırasında kullanılırken insan sağlığı ve çevre için tehdit oluşturmaktadır gerek ise atık durumunda uzun yıllar doğada yok olmamaktadır. Dolayısıyla, tehlikeli kimyasalların kontrollü bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Tekstil ekolojisi ham kumaş üretiminden nihai ürün olan hazır giyim üretimine kadar tekstil proseslerinin bütün aşamalarında insan sağlığını korumayı ve çevreye zarar vermeden sürdürülebilir üretim sağlamayı hedeflemektedir. Tekstil endüstrisi en fazla su tüketimi gerçekleştiren bu duruma bağlı olarak en fazla enerji harcayan ve kimyasal kullanan sektörlerden birisidir (Akarslan ve Demiralay, 2015). Türk tekstil endüstrisi için 1 ton tekstil kumaş kullanımında 20 ila 230 m³ su tüketildiği bilinmektedir (Orhon ve arkadaşları, 2003). Tekstil ürünlerinin boyanabilmesi için yüksek miktarda kullanılan su ile birlikte çok sayıda kimyasal kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, haşılama, kasar, baskı ve apre gibi farklı prosesler için çeşitli kimyasallar kullanılarak lif, elyaf ve kumaşların mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri yardımıyla kumaşların fonksiyonelliği arttırılmaktadır. Bu fonksiyonel özellikler proses süresini kısaltmak yoluyla zaman tasarrufu, prosesin maliyetinin azaltılması, kalite geliştirme ve ihtiyaca yönelik özellik kazanımı olabilmektedir (Karbaş, 1990). Kumaş terbiyesi ve üretim proseslerinin neden olduğu bu kimyasal yük doğrultusunda, tekstil ürünlerinde kullanılan toplam kimyasal miktarının, ürünlerin ağırlıkça %10 ila %100 oranları arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Hendrickx ve Boardman, 1995). Bu kimyasal maddeler genellikle asitler, oksitleyici maddeler, indirgen ve yükseltgen maddeler, nişastalar, yumuşatıcılar, ağartıcılar ve yüzey aktif maddelerdir. Yoğun bir şekilde kimyasal kullanımı insan sağlığı açısından tehdit oluştururken ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır.

Ekolojik dengeyi tehdit ederek ürün güvenliği açısından tehlike oluşturan formaldehit tekstil sektöründe geniş bir kullanım alanı bul-

maktadır. Formaldehit genellikle %37'lik sulu çözelti halinde % 0.05 ila % 15 metanol içeriği ile kullanılmaktadır.

Formaldehit içeren malzemeler dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe elektrik sistemi, motor bloğu, kapı panelleri, akslar ve fren ayarları gibi bileşenlerin yapısında bulunmaktadır. Ahşap malzeme üretiminde reçine olarak ve yapı sektöründe ise cam yünü içerisinde yer almaktadır. Kozmetik ve ilaç sektörlerinde ise üretim proseslerine belirli aşamalarda dahil edilmektedir. Tekstil endüstrisi kapsamında kumaş mamüllerine buruşmazlık özelliği kazandırmak için kullanılmakla beraber, boyama proseslerinde kullanılan kimyasalların içeriğinde az miktarda yer alabilmektedir. Formaldehit ve türevlerinin dünya genelinde satış değeri 2003 yılında 145 milyar doların üzerine çıkmıştır. Bu değerin, ABD ve Kanada gayri safi yurtiçi hasılasının yaklaşık %1.2'sini oluşturduğu belirlenmiştir. ABD ve Kanada ülkelerinde yaklaşık 11.900 sanayi tesisinde 4 milyondan fazla kişinin formaldehit endüstrisi için çalıştığı bilinmektedir.



Şekil 1. Formaldehit Türevi Malzemelerin Sektörel Dağılımı (Dynea, 2015)

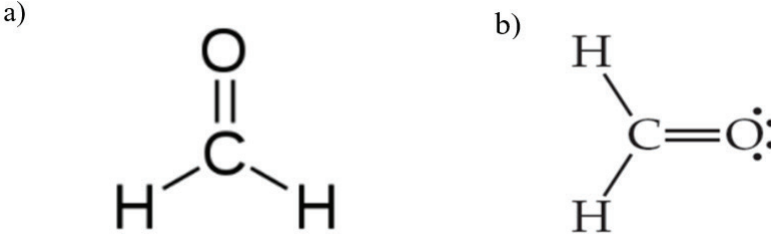
Formaldehit ve türevleri, çeşitli kimyasal proseslere olan uygunluğu ve yüksek maliyete sahip olmamasından dolayı günümüz endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu nedenle denetimli ve kontrollü kullanımı önem arz etmektedir (Dynea, 2015).

FORMALDEHİT

Formaldehitin Yapısı ve Oluşum Reaksiyonları

Tekstil sektöründe geniş bir kullanım alanı olan formaldehit organik yapılı ve zehirli bir kimyasal olup proses sırasında minimum seviyede kullanılması gereken kimyasallardan biridir.

Formaldehit diğer bir adıyla methanal (CH_2O), aldehit grubuna dahil olan reaktif bir kimyasaldır. Aynı zamanda C,H ve O içeren en basit yapılı organik moleküldür. Karbonil grubunun boş olan iki bağına birer hidrojen bağlanmasıyla meydana gelmektedir.



Şekil 1. Formaldehitin a) Moleküler Yapısı B) Lewis Yapısı [23]

Organizmanın doğal yapısında düşük miktarda ancak ölçülebilir oranda yer alan bu madde, atmosferik koşullarda meydana gelen farklı reaksiyonlar sonucunda oluşur. Molekül ağırlığı 30,026 g/mol olan formaldehit normal şartlar altında yanıcı, renksiz, keskin bir kokusu olan ve oda sıcaklığında hızla gaz haline geçebilen bir maddedir. Yoğunluk değeri 0.8153 g/cm³, erime noktası -15 °C ve kaynama noktası 95 °C 'dir. Su ve alifatik alkollerde ise erime ısısı yaklaşık 63 kJ/mol değerindedir. Kolayca polimerize olarak suda kolayca çözünmektedir. Formaldehit, formalin çözeltisi şeklinde taşınmakta ve depo edilmektedir. Formalin, ağırlıkça %37-%40 oranında formaldehit ve yaklaşık %60 oranında su içeren düşük polimer zincirli bileşendir. Bazı durumlarda, çözelti içeri-

sinde bulunan formaldehit moleküllerinin yeniden polimerizasyonu istenmiyorsa düşük miktarlarda metanol içerebilmektedir (Kiernan, 2000) (Regional Office for Europe, 2001) (Gayathri ve Muthamilarasi, 2005)

Formaldehit, anhidrit monomeri halinde ticari olarak bulunmamaktadır. Bununla birlikte çözeltili polimeri ve türevleri şeklinde kullanılır. Kuru gaz formunda ve 80-100 °C aralığında nispeten stabil halde bulunan formaldehit bu sıcaklık değerinin altında yavaşça polimerize olmaktadır. Ortamda bulunan asit, baz ve su bileşenleri polimerizasyonu hızlandırmaktadır. Formaldehit, hidrojen varlığında metal ve metal oksit kullanılarak metanole kolayca indirgenebilir. Bunun yanı sıra, aldol tipi bir reaksiyon ile hidroksi aldehitler, hidroksi ketonlar ve hidroksi bileşiklere kondense olmaktadır. Kondensasyon reaksiyonları sonucunda metilol ve metilen türevleri oluşturmaktadır².

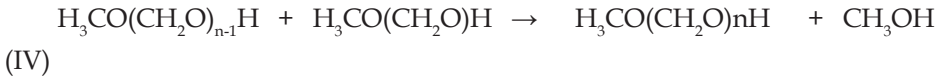
Dünya genelinde oldukça yaygın olarak üretilen ve kullanılan kimyasallardan biri olan formaldehit, genellikle su bazlı bir çözeltide dezenfektan ya da doku koruyucu olarak kullanılan suda çözünebilir bir gazdır. Kullanım alanı oldukça geniş olmakla birlikte, farklı kimyasallar ile birlikte kullanılmasını sağlayan reçineler gibi pek çok farklı formlarda da kullanılmaktadır. Bununla birlikte, insan vücudunda ve çoğu canlıda çok düşük miktarda bulunmaktadır. Buna ek olarak, sigara ve odun yanması gibi yakma işlemlerinde oluşan bir yan üründür. (Ecolabel, 2010)

Formaldehit atmosferik koşullarda fotokatalize uğrasa da şehir havasındaki yarı ömrü kısadır. Bunun sebebi, havada bulunan kirletici elementler ile nispeten hızlı reaksiyona girmesidir. Eğer gün ışığında nitrojen dioksit ortamda var ise formaldehitin yarılanma ömrü yaklaşık otuz dakika iken nitrojen dioksit bulunmayan ortamlarda formaldehit yarı ömrü elli dakikaya kadar artabilmektedir. (Regional Office for Europe, 2001)

Formaldehit sanayi prosesleri için en önemli ara ürünlerden biridir. Sahip olduğu yüksek reaktivite sebebiyle genellikle içerisinde metanol bulunan sulu çözeltilerde kullanılmaktadır. Bu çözeltiler içerisinde su ve metanol ile tepkimeye giren formaldehit oligomerleri oluşturur. Bu

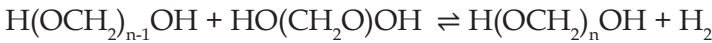
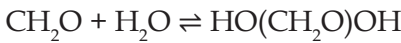
2 https://www.academia.edu/11756555/3_4_Formaldehitin_Fiziksel_%C3%96zelikleri

sebeple reaksiyona giren monomerik formaldehit miktarı azdır. Bu tür tepkimeler sulu çözeltilerinde poli (oksümetilen) glikolleri ($\text{HO}(\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$), metanol içeren çözeltilerinde ise poli(oxymethylene)-hemiformalleri ($\text{H}_3\text{CO}(\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$) oluşturur. Bu tepkimeler aşağıdaki gibidir;



Denklem 1. Formaldehit Oluşum Reaksiyonları (Sezer, 2005)

Gerçekleşen bu oligomerizasyon reaksiyonlarında denge dağılımı formaldehitin konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Formaldehit konsantrasyonu tepkime oluşumu için çok önemlidir. Konsantrasyon miktarı çok yüksek olmasa dahi uzun zincirli oligomerler oluşabilir. Ancak belirli formaldehit konsantrasyonun üzerine çıktığı takdirde uzun zincirli oligomerler çözelti içerisinde çöker. Sıcaklık arttırıldığında ise oligomerlerin su ve metanol içerisindeki çözünürlüğünün artmasına bağlı olarak formaldehit çözünürlüğü de artış gösterir (Thomas ve Hans, 2004). Bunun yanı sıra, düşük basınç koşullarında formalin çözeltisinin içerisindeki su buharlaştırılıp ayrıştırılırsa paraformaldehit polimeri oluşur. Paraformaldehit kimyasal formülü $\text{HO}(\text{CH}_2\text{O})_x\text{H}$ olan beyaz katı bir bileşendir ve ısıtıldığı zaman gaz formaldehite dönüşür. Bu sebeple, endüstride gaz formaldehit kaynağı olarak kullanılır (Kiernan, 2000).



Denklem 2. Paraformaldehit Oluşum Reaksiyonları (Sezer, 2005)

Gaz halinde bulunan formaldehit, 100 °C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde yavaş bir şekilde polimerizasyon reaksiyonu gerçekleştirir. Bu reaksiyon, asitler, alkaliler ya da su gibi polar safsızlıklar yardımıyla hızlandırılabilir (Gayathri ve Muthamilarasi, 2005).

Formaldehit, polimerleşme reaksiyonlarının haricinde de çok sayıda tepkimeye girebilir. İndirgenme-yükseltgenme reaksiyonlarında, metal ve metal oksit katalizörlerin varlığında hidrojen ile birlikte kolayca metanole indirgenir. Eş zamanlı olarak formik asit ya da korbondioksit ve suya yükseltgenir. Ek olarak, formaldehit, kuvvetli alkalilerin varlığında veya asit içeren ortamda ısıtıldığında metanol ve formik asit oluşturur.

Suda az miktarda çözünen formaldehit bisülfid oluşumu önemli bir reaksiyondur. Bu reaksiyonda hidrosiyamik asit, formaldehit ile tepkimeye girerek glikonitril açığa çıkarır. Güçlü alkaliler ya da kalsiyum hidroksit varlığında formaldehit glikolaldehit ara ürününü içeren heksos oluşumu tepkimesi verir.

Formaldehit, amonyak ve amonyum klorür ile reaksiyona girerek monometilamin, dimetilamin veya trimetilamin ve formik asit oluşturur. Benzen, tolidin ve anilin gibi aromatik bileşikler formaldehit ile reaksiyona girerek difenil metanları oluştururlar. Formaldehit ve hidroklorik asit varlığında benzen benzil klorür oluşturur. Formaldehit, verilen örneklerden de görüleceği üzere çok sayıda reaksiyona girebilen çok yönlü bir kimyasaldır (Gayathri ve Muthamilarasi, 2005). Formaldehit kullanılarak prosesi gerçekleşen ürünler diğer aldehitlere kıyasla daha dayanıklıdır ve ürün üzerinde sararma yapmamaktadır.

Formaldehitin Kullanım Alanları

Zehirli ve tehlike bir kimyasal olmasına karşın kolay uygulanabilir, oldukça reaktif, ucuz ve kolay elde edilebilir olmasından dolayı formaldehitin kontrollü kullanımı oldukça yaygındır. %37'lik formaldehit çözeltisinin dünya genelinde tüketimi 2003 yılında 24 milyon metrik ton iken, 2006 yılında bu değer 28 milyon metrik tona yükselmiştir. Bu yıllar arasında dünya genelinde kullanım kapasitesi yıllık % 3,9, tüketim oranı ise ortalama % 5,4 oranında artış göstermiştir. Bu oranlar incelediğinde, tekstil kimyasallarının düşük bir yüzdeliği oluşturduğu bilinmektedir. Ancak, yirminci yüzyılın başlarında, Fransız kimyagerlerin pamuk üzerine yapmış olduğu deney sonucunda, formaldehitin kırışıklık direncini arttırarak kumaş büzülmesini kontrol edebildiği ve çevresel etkilerinin nispeten daha az olduğu gözlenince formaldehit kullanımı arttırılmıştır.

Günümüzde selüloz içeren tekstil ürünlerinin büyük bir çoğunluğunda formaldehit türevleri kullanılmıştır (Technical Bulletin 6399, 2002).

Formaldehitin kullanım alanı oldukça geniş olmakla birlikte tekstil sektöründe en sık kullanılan maddelerden biridir. Selüloz yapılı tekstil ürünleri için selülozik liflere, direkt boya veya reaktif boya uygulandıktan sonra fiksaj maddesi olarak kullanılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı hammadde içerikleri için koruyucu madde olarak formaldehit kullanılmaktadır. Boya baskı ünitesinde, ısı transferli yapıştırıcılar ve flok, folyo gibi çeşitli baskı işlemleri için bağlayıcı madde görevinde kullanılırlar. Korozyon oluşumundan kaynaklı olarak baskı işlemlerinde diğer maddelere yardımcı indirgeyici ajan olarak kullanılmaktadır. Bazı özel yıkama ya da bitim işlemlerinde bağlayıcı ve reçine olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarına ek olarak, tekstil işletmelerinde en sık kullanıldığı alan ise yoğun olarak buruşmazlık apre işleminde kırışıklık ve bükülme önleyici olarak, bazı boyarmaddelerin haslıklarını geliştirme işlemlerinde ve pigment baskılarda çapraz bağlayıcı maddeler için formaldehit kullanılmaktadır.

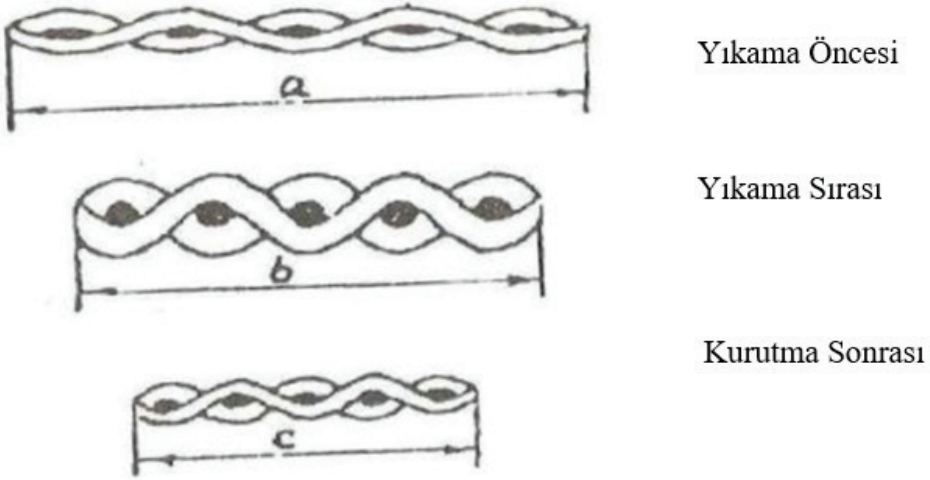
Selüloz esaslı kumaşlar, gelişmiş konfor özellikleri, yapısının doğal liflerden oluşması, sürdürülebilir ve yenilenebilir özelliklere sahip olması sebebiyle oldukça tercih edilmektedir. Ancak, buruşmuş görünümlü özel kumaş üretimi haricinde, yıkama, kurutma ve kullanım sırasında gerçekleşen buruşma eğilimi istenmeyen bir özelliktir. Bunun sebebi kumaş yüzeyinde oluşan biçimsel bozulmaya bağlı olarak istenmeyen görünüme neden olan kat izleri ve çizgiler oluşturmasıdır (Carty ve Byrne, 1991) (Perkins, 1996)

Formaldehitin Buruşmazlık Apresine Etki Mekanizması

Kumaşın hammaddesi olan serbest lifin yapısını oluşturan bileşikler birbirine hidrojen bağları, Van der Waals bağları ve kovalent bağlar ile bağlanarak bir denge oluşturmaktadır. Ancak kumaşa istenmeyen buruşma kuvveti etki ettiği zaman lifin sahip olduğu yan valens bağları koparak ya da zayıflayarak lif dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Lifler arasında yan valens bağların oluşmasıyla yeni bir denge hali-

ne geçilir. Buruşma kuvveti etkisini yitirdiğinde lifler buruşmuş olarak kalır ve kumaş üzerinde istenmeyen görüntüler ortaya çıkar.

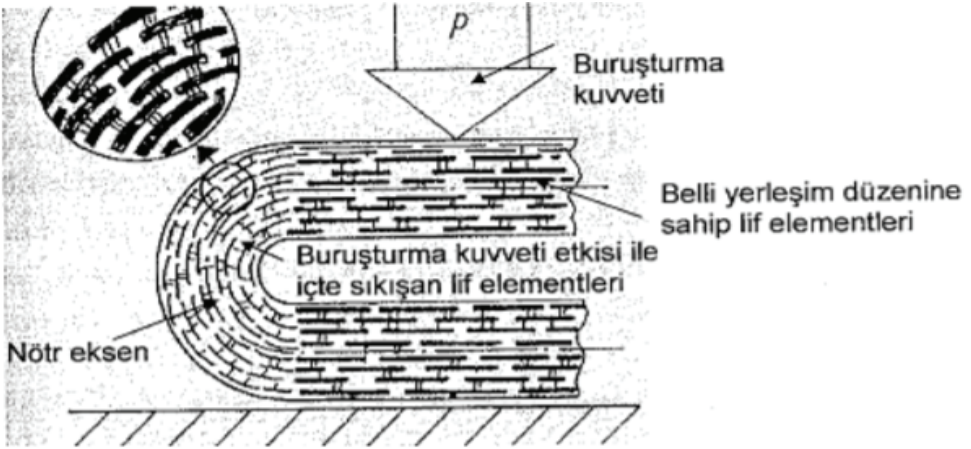
Tekstil mamulünün buruşma eğiliminin temel nedenlerinden biri liflerin nem absorpsiyon kabiliyetidir. Pamuk ve yün gibi lifler suyu kolayca yapısına absorbe eder ve buruşmaya sebep olur. Polyester ve naylon gibi suyu absorpsiyon kabiliyeti daha az olan lifler ise buruşmaya karşı daha yüksek dayanım göstermektedir. Bunun sebebi, lif yapısına karışan su molekülleridir. Bu moleküller, selüloz liflerinin yapısındaki kristal bölgelere yerleşerek hidrojen bağları ve dipol kuvvetler yardımıyla kristal yüzeyine tutunmaktadır. Bu sayede lifler su alarak şişer ve dolayısıyla kumaş mamulünün boyuna çekmesine sebep olur (Duman ve Tuncay, 1995).



Şekil 2. Liflerin Su Absorpsiyonu Sonucu Kesit Şişmesi Şematik Gösterimi (Duman ve Tuncay, 1995)

Selülozik liflere bir dış etmen tarafından kuvvet uygulandığı zaman yapısındaki serbest hidroksil gruplarının komşu polimer zinciri ile yeniden hidrojen bağları oluşturması da buruşmanın diğer sebepleri arasındadır. Serbest hidroksil grupları, yapısında alkol bulunan moleküllerle reaksiyona girme eğiliminde olan fonksiyonel gruplardır. Selülozik lifin yapısında bulunan aldehitler, epoksiler, isosiyanatlar ve organik asitler

hidroksil gruplarıyla reaksiyona girmektedir. Kimyasal apre uygulaması sayesinde oluşan bu hidrojen bağlarının yerini çapraz bağlar almaktadır. Çapraz bağlar, hidrojen bağlarına göre çok daha güçlüdür ve dış gerilimlere karşı daha dayanıklıdır. Böylelikle, selüloz mikrofibrilleri ile moleküller arasındaki kuvvetli çapraz bağlar, mikrofibrillerin birbiri üzerine kaymasını engelleyerek buruşmanın önüne geçmiştir. Tekstil sektöründe formaldehit ve formaldehit türevleri en çok kullanılan çapraz bağlayıcı kimyasallardır (Tomasino, 1992).



Şekil 3. Buruşma Kuvveti Etkisinde Kalan Lif Yapısı (Çoban, 1999)

Formaldehit, alkollerle (-OH), amidlerle (-NH) ve aktive edilmiş -CH gibi hidrojen bileşikleriyle reaksiyona girebilmektedir.

Alkol-formaldehit tepkimesi: $R-O-H + HCHO \rightarrow R-OCH_2OH$ (hemiasetal)

Amid-formaldehit tepkimesi: $RC-N-H + HCHO \rightarrow RC-NCH_2OH$ (N-metilol)

Aktive edilmiş -CH - formaldehit tepkimesi:

$-C-H + HCHO \rightarrow -C-CH_2OH$ (hidroksimetil)

Denklem 2. Hidroksimetil türevleri ve selüloz ile metilen bağının oluşum mekanizması (Tomasino, 1992).

İlk tepkime sonucunda meydana gelen hidroksimetil grubu selüloz ile metilen bağı oluşan ikinci bir tepkimeyi de beraberinde getirmekte-

dir. Asit katalizörü ve yüksek ısı varlığında meydana gelen bu tepkimeler aşağıdaki gibidir;

Alkol-formaldehit tepkimesi: $R-OCH_2OH + R-OH \rightarrow R-O-CH_2-O-R + H_2O$ (asetal)

N-Metilol Grupları- formaldehit tepkimesi:

$-C-N-CH_2OH + H-N-C- \rightarrow -C-N-CH_2-N-C- + H_2O$

$-C-N-CH_2OH + HO-R \rightarrow -C-N-CH_2-O-R + H_2O$

Denklem 3. Hidroksimetil Tepkimeleri Oluşum Mekanizmaları [14]

Formaldehit açığa çıkaran buruşmazlık bitim işlemlerinde ise gerçekleşen tepkimelerde suda çözünmeyen bir reçine ortaya çıkmadığı için kumaş tuşesi yumuşak olmaktadır. Bu sınıfa ait olan iki temel bileşikten birincisi dimetilol propilenüredir. Bu bileşik nihai ürünün beyazlık derecesinin önemli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Dimetilol propilenüre ile muamele edilen kumaşlarda ısıya bağlı olarak sararma ve koku oluşumu gözlenmez (Kittinaovarut, 1998).

Dimetilol dihidroksi etilenüre, en çok verim sağlayan buruşmazlık maddesidir. Bu nedenle tekstil sektöründe en çok kullanılan bitim kimyasallarından biridir. Bu bileşiğin molekül kimyasına göre, selüloz molekülüyle çapraz bağ oluşturabileceği dört noktası bulunmaktadır. Bu dört noktadan ikisi hidroksil grubu, diğer ikisi ise metilol gruplarıdır. Lewis asit katalizörü varlığında gerçekleşen tepkime sırasında önce metilol daha sonra ise hidroksil grupları, selüloz molekülündeki hidroksil grupları ile ester bağları meydana getirmektedirler. Meydana gelen bu yeni ester bağları, selüloz molekülündeki hidrojen bağlarının yerini alarak daha güçlü olan kovalent bağları oluşturmaktadırlar.

Dimetilol dihidroksi etilenüre uygulanan mamüller, hipoklorit içeren maddeler ile yıkanma işlemine alındığı zaman klor atomları ile birleşerek kloroaminleri oluşturmaktadırlar. Kloraminler, düşük kuvvetli dış etkiler uygulandığı durumlarda bile parçalanmakta ve selüloz moleküllerinin zarar görmesini engelleyememektedir. Hidroklorik asit ve trietanol amin yardımcı kimyasal maddelerinin dimetilol dihidroksi etilenüre bileşiği çapraz bağlanmış olan selülozik liflerin anyonik boyalara karşı

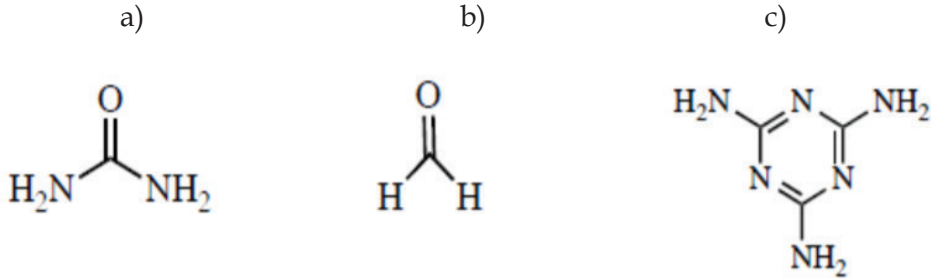
afinitesini arttırmaktadır. Ayrıca, reaksiyon sonucunda açığa çıkan formaldehit miktarını düşürmektedir. Buna ek olarak, boyalı mamüllerin ışık haslıklarına herhangi bir etkisi olmadığı için oldukça tercih edilen bir bitim işlemi kimyasalıdır.

Formaldehit bazlı azotmetilol bileşikleri kullanılarak uygulanan bitim işlemleri sonucunda selüloz polimer zincirleri depolimerizasyona uğrar. Bu nedenle, tekstil mamulünün kopma dayanımında düşüş meydana gelir. Bitim işlemleri eğer formaldehit içeriyorsa, katalizör olarak polikarboksilik asit veya Lewis asidi kullanılır. Selülozun molekül ağırlığı azaldıkça bitim işlemi yapılan pamuklu kumaş mamulünün kopma dayanımı azalır. Kopma dayanımında oluşan bu kayıp, pamuklu kumaş mamullerinin buruşmazlık özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Formaldehit içerikli bitim kimyasallarıyla bu kayıpların azaltılması yönünde çalışmalar yürütülmektedir (Kittinaovarut, 1998).

Buruşma etkisinin önüne geçebilmek için uygulanan farklı bir yöntem ise bitim işlemi sırasında reçine oluşturan kimyasalların kullanılmasıdır. Reçine oluşturan kimyasal maddeler endüstride açık zincirli azot bileşiklerinin suda çözünebilen tozuya da derişik çözeltileri şeklinde kullanılırlar. Bu kimyasal maddeler, kullanılan katalizörün yardımıyla lif içerisinde polikondenzasyona uğrayarak suda çözünmeyen karbamid reçinelerini meydana getirirler. Bu yöntem ile elde edilen buruşmazlık etkisinin sebep olduğu bazı dezavantajlar mevcuttur. Bu dezavantajlar arasında yıkamaya karşı düşük dayanıma sahip olması ve uygulanan işlem sonrasında tekstil mamulünün ürün tutumunun sertleşmesidir (Zinetbaş, 2015). Reçine oluşturan kimyasalların bileşenlerinde formaldehit ve formaldehit türevleri kullanılmaktadır. Bu türevleri üre/formaldehit, melamin/formaldehit ve fenol/formaldehit olarak tanımlayabiliriz.

Amino reçineleri, amin grupları ile aldehit bileşenlerinin tepkimeye girmesi sonucu elde edilen polimer grupları için kullanılan genel bir tanımlamadır. Bu reçineler, üç boyutlu polimer oluşturabilmek amacıyla küçük moleküllerin lifler içerisinde bulunan makromoleküller ile çapraz bağ yapmasını sağlayan ajanlar olarak kullanılırlar. Diğer bir adıyla aminoplastlar, kendi kendine yoğunlaşma özelliğine sahiptir. Genel anlamda polimerik sistemlerin modifiye edilmesinde, plastik malzemelerin yapısında ve yapıştırıcı maddelerin yapısında kullanılmaktadırlar.

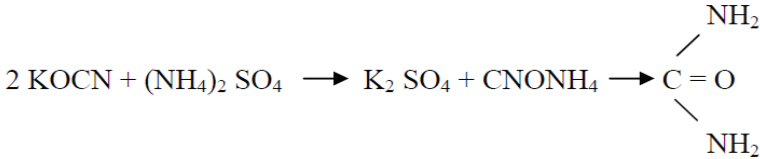
Bunun yanı sıra pamuk, suni ipek ve keten lifleri kullanılarak dokunmuş olan tekstil mamüllerinin düşük miktarda elastisiteye sahip olmasından dolayı amino reçinesi yardımıyla hafifçe şişirildikten sonra sertleştirilmektedir. Böylece, şişmiş durumdaki elyaf yapıları daha elastik hale gelmektedir. Ayrıca kullanılan bu reçine grubu, ağartma işlemi sırasında klor atomlarını tutarak kumaşa istenmeyen bir özellik olan sert tutum etkisi vermektedir (Tomasino, 1992).



Şekil 4. a) Üre B) Formaldehit C) Melamin Moleküler Yapıları
(Türkay, 2019)

Üre Formaldehit Reçineleri

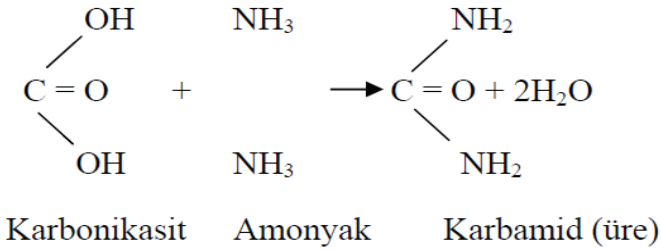
Üre endüstride sentetik olarak elde edilen karbonik asidin diami şeklinde tanımlanabilir. 1928 yılında Wöhler adlı bilim adamı tarafından amonyum siyanattan elde edilmiştir. Ardından kalsiyum karbürün önce kalsiyum siyanamid haline getirilmesi ve asidik ortamda az miktarda su varlığında hidroliz edilmesine dayanan Lidholm metodu ile üretilmeye başlanmıştır.



Denklem 4. Amonyum Siyanattan Üre Eldesi Reaksiyonu (Torlakoğlu, 2008)

Daha sonra J.G. şirketi tarafından geliştirilen karbondioksit ve amonyak kullanılarak üre elde etme yöntemi olan J.G. metoduna geçiş yapılmıştır. Bu yöntemde göre, karbondioksit ve amonyak, sulu ortamda

amonyum karbamat haline dönüşür. Ardından yüksek basınç altında ısıtılarak üre ve suya ayrıştırılmaktadır. Karbamat üre haline dönüştürülürken 135 °C-150 °C sıcaklıkta ve yüksek basınç koşullarında %40-%50'lik bir verim sağlanmaktadır. Reaksiyona girmeyen amonyak ve karbondioksit ise sonradan kullanılabilir. Bu metot kullanılarak elde edilen üre düşük maliyet ve yüksek saflık derecesine sahip olduğu için endüstride tercih edilmektedir.

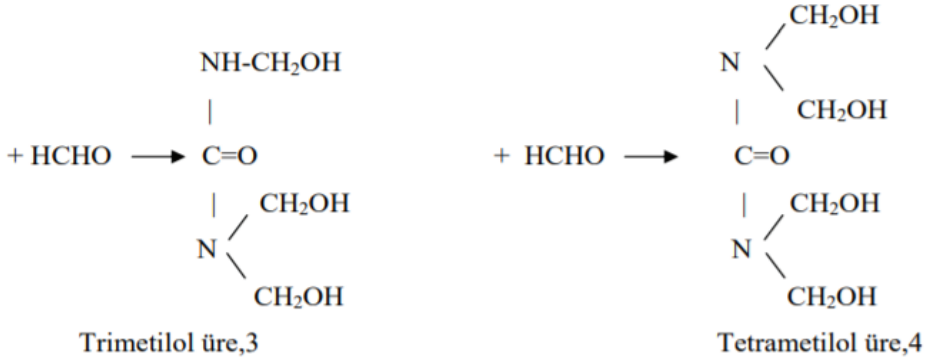
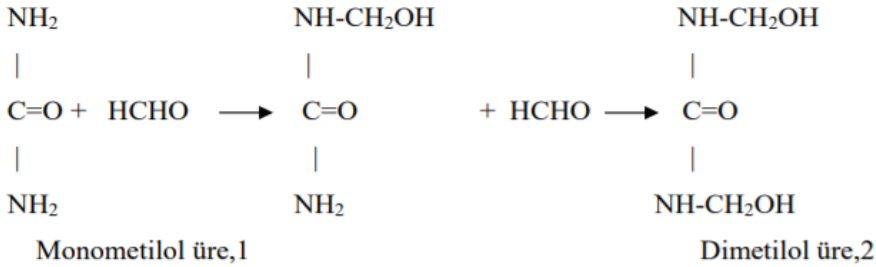


Denklem 5. Karbonik Asitten Üre Oluşumu (Torlakoğlu, 2008)

Üre ve formaldehit arasındaki ilişki ilk olarak 1884 yılında Hölzer tarafından incelenmiştir. H. John, üre ve formaldehit eldesine dayanan, yapıştırıcı olarak kullanılabilen reçine imalatı ile üç farklı patent almıştır. Ardından Goldschmidt ve Neuss, üre ve formaldehit için Pollak ve Ripper teknik için kullanılabilir suni reçine üretimi ile patent almayı başardılar. Üre, metal tuzları, fenoller ve karboksilli asitler ile aktif gruplar oluşturarak yeni bileşikler ortaya çıkarmaktadır. Ürenin formaldehit ile polikondenzasyon reaksiyonu fiziksel ve kimyasal parametrelere bağlıdır. Bu parametreler, üre/formaldehit oranı, çözeltinin pH derecesi, çözeltinin konsantrasyonu, reaksiyon sıcaklığı, katalizörlerin cinsi ve konsantrasyonudur (Torlakoğlu, 2008).

Üre formaldehit, bir metilasyon reaksiyonunda, bir amid (-N-H) grubu ile bir metanal (HCHO) grubunun reaksiyona girerek N-metilol (-NCH₂OH) grubu oluşturması mekanizmasıyla elde edilmektedir. Üre formaldehit reçineleri amino reçinelerinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle amino reçinelerinin önemli bir sınıfıdır (Torlakoğlu, 2008). Bir üre molekülüne formaldehit molekülünün bağlanması suretiyle oluşan bu yeni moleküle metilölüre denir. Reaksiyon sonucu oluşan metilölü türevlerinin ısı ve asit etkisiyle çapraz bağlanması sağlanır

ve metilen köprüleri oluşur. Bu reaksiyon sonucunda oluşan ürün bu-
ruşma dayanımını iyileştirmektedir. Aşağıda verilen reaksiyona göre
tepkime gerçekleşmektedir. Bu reaksiyona göre 2 mol metanalın 1 mol
üre ile tepkimeye girmesi dimetilölüre oluşumuyla sonuçlanmaktadır.
Çapraz bağlayıcı reçine olarak dimetilölüre kullanılmaktadır (Tomasi-
no, 1992).



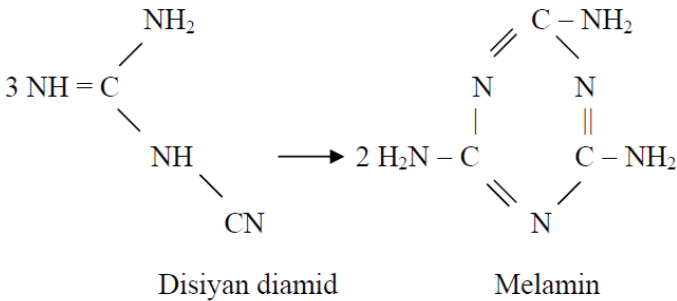
Denklem 6. Üre Formaldehit Oluşum Reaksiyonları (Torlakoğlu, 2008)

Üre formaldehit reçinesi oldukça az raf ömrüne sahip olduğu için hazırlanmasını takiben birkaç gün içerisinde kullanılmalıdır. Buna ek olarak, katalizör içeren banyoların birkaç saat içerisinde kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde kullanım fonksiyonunu kaybeder ve ortama yüksek miktarda formaldehit yayılabilir. Kolay uygulanabilmesi ve bu-
ruşmaya karşı dayanım göstermesi açısından tercih edilse de pamuklu kumaşlar üzerinde sert bir tuşe etkisi bırakmaktadır.

Üre formaldehit reçinesinin oluşturduğu çapraz bağlar su ile reaksiyona girdiği zaman kolayca hidroliz olabilmektedir. Bu nedenle yıkanıkça buruşma üzerindeki etkisi azalır ve buruşmazlık dayanımı azalır. Ayrıca, hipoklorit içeren ağartma maddeleriyle reaksiyona girdiği zaman, ısı etkisiyle hidroklorik asit açığa çıkaran ürünler oluşmaktadır. Bu durum, meydana gelen asit etkisinin bir sonucu olarak kumaş dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Direkt ve reaktif boya uygulanan kumaşların ışık haslığını düşürmektedir. En önemli olumsuz etkilerinden biri ise üre formaldehit reçinesi kullanılarak bitim işlemi uygulanan kumaş mamulünden ortama formaldehit salınımı olmaktadır (Tomasi-no, 1992)

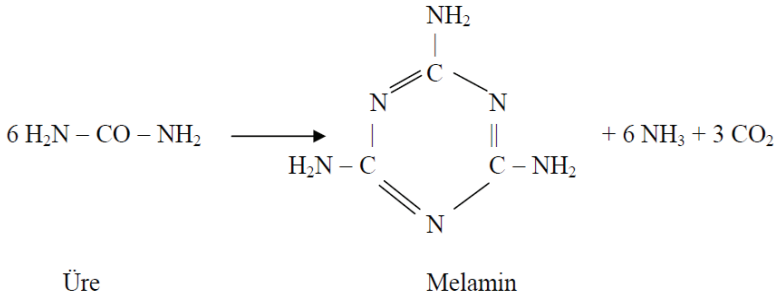
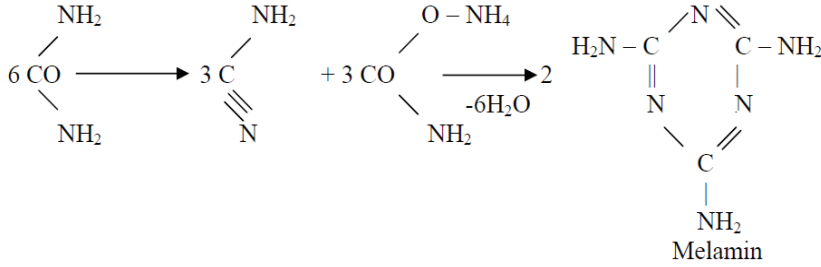
Melamin Formaldehit Reçineleri

Melamin, ilk olarak üretildiği yıllarda oldukça pahalıya mal edilirken son zamanlarda ekonomik olarak mal edilen bir bileşik olmasıyla bilinmektedir. Beyaz kristal bir yapıya sahiptir ve 350 °C sıcaklık değerinde kısmen süblimleşmektedir. Bu sayede melamin saflaştırma işlemi yapılmaktadır. Ayrıca, suda çok az çözünmekle birlikte organik çözücülerde çözünmediği bilinmektedir. Disiyan diamid maddesinin su ve amonyak varlığında ve ısı uygulanması suretiyle reaksiyona girerek melamin oluşturması prensibine dayanarak oluşturulmaktadır (Paksoy ve Selçuk, 1999)



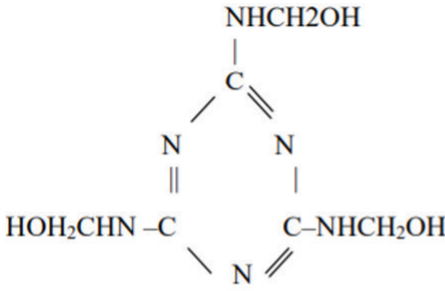
Denklem 7. Disiyan Diamidten Melamin Sentez Reaksiyonu
(Torlakoğlu, 2008)

Melamin ilk olarak 1834 yılında Liebig tarafından disiyan diamid kullanılarak elde edilmiştir. Ardından çok sayıda meamin sentez reaksiyonları geliştirilmiştir. BASF şirketi ise üre kullanarak kontinü bir reaksiyonla melamin imalatını gerçekleştirmiştir (Paksoy ve Selçuk, 1999)

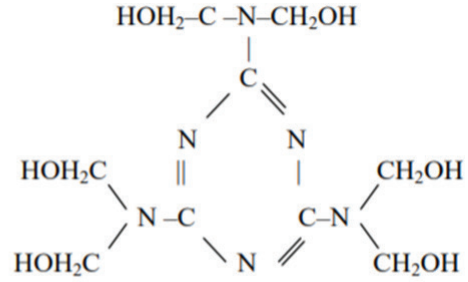


Denklem 8. Üre Kullanılarak Elde Edilen Melamin Reaksiyonu
(Torlakoğlu, 2008)

Melamin formaldehit reçinesi ise, melamin ve formaldehit maddelerinin reaksiyona girerek ürün olarak trimetilol melamin elde edilmesi suretiyle kullanılan reçinelerdir. Trimetilol melamin ve heksametilol melamin sentez reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Trimetilol melamin



Hekzametilol melamin

Denklem 9. Melamin Formaldehit Sentez Reaksiyonları (Torlakoğlu, 2008)

Melamin reçineler sanayide oldukça geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Boya sanayisi için önemli bir hammadde olmakla birlikte ahşap yapıştırılması, kağıtların ıslak dayanımlarının geliştirilmesi, deri mamüllere dolgu kazandırılması ve tekstil mamüllerinin fonksiyon kazandırılarak iyileştirilmesi gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

Melamin organik çözücüler içerisinde kolayca çözünebilen bir madde değildir. Ancak yüksek sıcaklık ve alkali ortam koşullarında formaldehit ile reaksiyona girebilir. Reaksiyon sonucunda oluşan metilol grupları metanol veya polialkoller aracılığıyla esterleştirilerek reçine haline getirilir.

Ticari açıdan en çok kullanılan reçineler hegzametilol melamin ve trimetilol melamindir. Depolama esnasında molekül yapısında bulunan hidroksimetil gruplarının polimerize olmasından dolayı formaldehit oluşumu gözlenmektedir. Bu olumsuz durumun önüne geçebilmek adına kullanılan bileşiklerin metillenmesi ve metoksimetil şeklinde depolanması sağlanmaktadır.

Metilol elde etmek için sulu formaldehit (%37'lik çözelti) ya da paraformaldehit kimyasalları kullanılır. Oluşan metilol sayısının artış göstermesi reçinelerin stabilitesinin artmasını sağlar. Melamin metilollerinin iç moleküler yapısında proton köprülerinin meydana gelmesi reçine di-

rencinin yükselmesini sağlar. Alkali ortam koşulları ve yüksek sıcaklık değerleri metilol bileşiklerinin polikondenzasyon reaksiyonlarını hızlandırır. Böylelikle katalizör kullanımına ihtiyaç duyulmadan melamin metilollerinin oluşumu hızlı bir şekilde gerçekleştirilir.

Formaldehitin üre ve melamin ile vermiş olduğu reaksiyonlar oldukça benzer olmakla birlikte ayırt edici önemli bir fark vardır. Bu fark, üre molekülü üzerinde bulunan dört hidrojenden iki hidrojen bağ yapabilirken, melamin molekülü üzerinde bulunan altı hidrojen de bağ kurmak için uygundur (Tracton, 2006)

Melamin formaldehit reçineleri, üre formaldehit reçinelerine göre dış mukavemeti daha yüksek, mekanik dayanımı daha fazla, kimyasala ve suya direnci daha iyidir. Ayrıca, UV ışınlarına karşı direncinin daha yüksek olması da melamin formaldehitin daha çok tercih edilmesinin sebeplerindendir. Formaldehit, melamin formaldehit yapımında sıvı formda kullanılır. Isı altında melamin metilollerin ve üre reçinelerinin oluşumu oldukça hızlı gerçekleşmektedir. Ancak, üre reçinelerinden farklı olarak, melamin reçineleri ortam pH derecesinin 7 ve altında olduğu değerlere nazaran daha yavaş bir şekilde tepkime gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla alkali ortamda polikondenzasyona uğramaktadır (Paksoy ve Selçuk, 1999).

Amino reçineleri, tekstil sektöründe, pamuk, keten ve suni ipek hammaddeleri kullanılarak mamül haline getirilen kumaşlara buruşmazlık özelliği kazandırılmasında oldukça önemli rol oynar. Formaldehit kullanılarak oluşturulan bu reçineler, mamül elyaflarının önce şişirilmesi ardından sertleştirilmesi suretiyle elastik özelliklerini geliştirir. Böylece, elastisitesi artmış olan elyaf buruşmaya karşı yüksek direnç göstermiş olur (Torlakoğlu, 2008).

Formaldehitin Zararlı Etkileri ve Alınan Önlemler

Formaldehit tekstil endüstrisinde etkin bir şekilde kullanılmasına rağmen insan sağlığına ve çevreye karşı zararlı bir kimyasaldır. Belirli bir seviyede toksik bir etki yarattığı bilinmektedir. Atmosferik koşullarda kolayca çözülerek yayılması ve formaldehit reçinelerinin ya da reçinelerin kullanılmış olduğu son ürünlerin yapısındaki serbest formalde-

hiti atmosfere bırakma yatkınlığına sahip olması çevre ve insan sağlığı açısından oldukça tehlike yaratmaktadır.

İnsanlar için endişeye yol açan maruz kalma durumları cilt teması ve soluma ile gerçekleşmektedir. Formaldehit, su ve toprakta bulunan bakteriler ve gün ışığı yoluyla kısa süre içerisinde parçalanabilmektedir. Böylelikle ortamda birikmez. İnsan vücudu söz konusu olduğunda da formaldehit metabolik olarak parçalanır ve birikim görülmez.

Formaldehite karşı gösterilen vücut tepkisi ve direnci, temas süresi, maruziyet miktarı ve temas türüne göre değişmektedir. Genel olarak, gözlerde yanma, burunda ve boğazda tahriş ve cilt problemleri yaratabilir. Buna ek olarak, mide bulantısı, kusma, baş ağrısı, yorgunluk ve baş dönmesi semptomları da kişi tarafından hissedilen diğer bulgular-dandır. Ancak yüksek miktarda formaldehite maruz kalındığı takdirde akciğerde sıvı birikmesine sebep olup karaciğer, böbrekler ve merkezi sinir sistemine ciddi hasarlar vermektedir (Ecolabel, 2010).

Formaldehit üretiminin gerçekleştirildiği ya da proses sırasında kullanıldığı sanayi kuruluşlarındaki formaldehite aşırı maruz kalan çalışanlar üzerinde yapılan araştırmalar beyin kanseri, kan kanseri, akciğer kanseri ve kolon kanserine sebep olduğunu kanıtlamıştır (Ünsaldı ve Çift, 2010). Oral yolla vücuda formaldehit alındığı takdirde üst gastroin-testinal sistemde lokal korozif etki ortaya çıkarır. Şiddetli kusma, ishal, mide bulantısı karın ağrısı gibi belirtiler ile başlayıp ardından nekroz ve kanama meydana gelir. Birkaç gün ardından ise dolaşım kollapsı şiddetli metabolik asidoz ortaya çıkarır, belirli enzimler inhibe olur iken belirli enzimler aktive olur ve ölüm gerçekleşmektedir (Ünsaldı ve Çift, 2010). Bunun yanı sıra, ani formaldehit maruziyeti ölüm ile sonuçlanabilmektedir. Koku eşiği 1 ppm olmasına rağmen koku duyusu etkinliğine bağlı olarak formaldehit algılama eşiği zamanla azalır ve koku eşiği ayırt edici olmaktan çıkmaktadır. Havada 0.1 ppm bulunduğu zaman gözlerde yanma ve sulanma, öksürük nefes darlığı gibi şikayetlere yol açar. 2 ppm konsantrasyonda gözlerde tahriş yaratmakta ve 20 ppm konsantrasyonlarda ise korneada kalıcı matlaşmaya sebep olmaktadır. Bilinen tüm bu yan etkileri sebebiyle formaldehit kullanımına yasal bir sınırlama getirilmiştir. Çeşitli testlere tabi tutulan ürünler içerdiği formaldehit miktarına göre kullanım serbestliği kazanmıştır.

Tekstil Sektöründe Formaldehit Tayin Metotları

Formaldehit kullanımı olan tüm firmalar için OSHA tarafından formaldehit buharının limiti 8 saatlik bir zaman dilimi için maruz kalma limiti 0.75 ppm olarak belirlenmiştir. Konfeksiyon ve boyama gibi formaldehit bulunduran ortamlarda iyi derecede havalandırma sistemleri bulunması bu limitleri yakalamakta etkili olduğu söylenebilir. Diğer bir önemli sınırlama ise, tekstil sektöründe sıkça kullanılan formaldehitin kumaş üzerinde kalan miktarı içindir. Tekstil ürünleri üzerindeki formaldehit miktarı tayini için Uluslararası Standartlar Örgütü olarak bilinen ISO'nun ISO-14148-1 olarak formaldehit miktar belirleme testi bulunmaktadır. Bu teste göre kumaş üzerinde 16 mg/kg 3500 mg/kg arasında serbest ve hidrolize formaldehit aralığında kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Formaldehit miktarı için alt sınır 16 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu sınır altındaki sonuçlar 'algılanmaz' olarak rapor edilmektedir. Özellikle bebek tekstil ürünleri için formaldehit miktarının çok hassas yöntemlerle analiz edilmesi gereklidir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) verilerine göre Türkiye'de 2018 yılında 1 milyon 310 bine yakın bebek dünyaya gelmiştir. Bilinç düzeyinin artması, anne babaların çocuklarını daha sağlıklı büyütme isteği tekstil sektöründe yeni ürün ve hizmetlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bugün Türkiye'de 0-3 yaş arası bebek ve küçük çocuk sayısı yaklaşık 4.7 milyona ulaşmış durumdadır. Son zamanlarda tüm bebek ürünlerinde ürün güvenliği ön plana çıkmıştır. Dolayısıyla bebek ürün güvenliği önemli ölçüde hassasiyet gerektirmektedir. Eko-tex 100 standardına göre bebek ürünleri içerisinde bulunan formaldehit miktarı için kabul edilebilir üst limit 20 ppm olarak belirlenmiştir. Ancak uluslararası standartlara sahip global markaların firma bazındaki standartlarına göre hassasiyet ölçüsünü artırmak için 5 ppm sınırına kadar düşürülmüştür.³

Tekstil ürünleri için serbest formaldehit miktarının tayini önemli bir araştırma sahasıdır. İşlem görmüş bir kumaş mamülü yüzeyinden ortama salınan formaldehit miktarı kullanılan formaldehit reçenesi türü, reçine miktarı, sıcaklık, bağıl nem, kumaşın yüzey alanı, kumaşın maruz

3 https://www.academia.edu/11756555/3_4_Formaldehitin_Fiziksel_%C3%96zelikleri

kalma süresi, formaldehit reçinesinin kürlenme derecesi ve ön yıkama uygulaması parametrelerine bağlıdır.

Kumaş yüzeyinde bulunan serbest formaldehiti tayin etmek için belirli standartlara göre uygulanan metotlar vardır. Bu standartlar Eko-Tex 100, AATCC 112, ISO 14148-1 ve ISO 14148-2 gibi tekstil konulu çevre standartlarıdır.

- **Eko-Tex 100 Standardı:** Bu standarda göre formaldehit analizi yapmak için öncelikle numuneye formaldehit içeriğinin varlığına ilişkin nitel analiz yapılmaktadır. Ardından formaldehit içeriği tespit edildikten sonra nicel analiz uygulanmaktadır. Bu kapsamda 112 sayılı Zararlı Maddeler İçeren Evrensel Ürünlerin Kontrolüne İlişkin Japonya kanunu esas alınarak test uygulaması yapılmaktadır. Öncelikle 250 mililitrelik erlen içerisine 100 mililitre saf su konulur ve hassas olarak tartılan 1 gram numune erlen içerisine alınır. Erlenin ağzı kapatılarak 40 o C' de bir saat süresince belirli aralıklarla çalkalanması sağlanır. Daha sonra çözelti süzülerek soğutulur. Hazırlanan çözelti örneğinden 5 mililitre alınarak erlen içerisine doldurulur. Üzerine 5 mililitre asetil-aseton çözeltisi eklenir ve su banyosunda 40 o C' de 30 dakika süresince bekletilir. Yeterince soğutulmasının ardından spektralfotometre cihazında 412 nanometre değerinde absorpsiyon değerleri okunur. Formaldehit çözeltisine asetil-aseton eklenmesinin sebebi oluşan rengi kullanarak absorpsiyon değerinin ölçülebilmesidir. Ancak, tekstil kumaşı üzerinde yer alan ve kumaş yüzeyinden sökülebilen boyar maddeler de absorpsiyon değeri olarak okunabilmektedir. Bu nedenle formaldehit değeri okunurken hassas ölçümün önüne geçilerek yanıltıcı sonuçlar alınabilir. Bu durumu engellemek amacıyla dimedone konfirme testi yapılması gereklidir. Bu test sonucunda eğer absorpsiyon değerleri okunuyorsa ölçülen formaldehit miktarı çözelti içeriğindeki formaldehit miktarından yüksektir. Eğer absorpsiyon değerleri okunmuyorsa ise çözelti içerisindeki formaldehit miktarı olması gereken miktardır.

- **AATCC 112 Standardı:** Bu yöntemde göre formaldehit tayininde ise test numunesinin belirli bir süre boyunca belirli sıcaklık değerinde sızdırmaz kap içerisinde sulu bir çözelti ile süspanse edilmesi sağlanır. Böylelikle test numunesi içerisinde bulunan ve ortama salınan formaldehit gazı sulu çözelti içerisinde adsorbe olur. Çözelti içerisinde adsorbe

olarak oluşan yeni kompleksin formaldehit miktarı görünür spektrofotometre ile ölçülür. Hem kumaş yüzeyinde bulunan serbest formaldehit hem de ortama salınan formaldehit miktarı inkübasyon prosedürüne göre yakalanmaktadır. Bu durumun aksine Japon Hukuku prosedürüne göre test numunesinde bulunan serbest formaldehitin soğuk sulu sodyum sülfid çözeltisine ekstrakte edilir ve numune türetilerek ölçülür. Ancak bu prosedüre göre ortama salınan formaldehit miktarının yakalanmasının kesinliği söz konusu değildir. Algılama aralığı 20 ppm civarındadır. İki yöntemin kendine has formaldehit okuma aralığı vardır. Örneğin AATCC 112 metoduna göre 300 ppm değerindeki formaldehit çözeltisi Japon Kanunu metoduna göre 75 ppm değerinde görülebilir. Ancak yöntemler arasında kesin bir ilişki kurmak mümkün değildir.

- **ISO 14148 Standardı:** Formaldehit tayini standardı kapsamında da benzer şekilde çözelti hazırlanarak formaldehit tayin edilmesi sağlanır. Bu standarda göre hazırlanmış olan test solüsyonu erlen içerisine alınır. Eş zamanlı olarak farklı bir erlen içerisine hazırlanan 5 mililitre standart formaldehit çözeltisi ilave edilir. Ardından her iki erlen içerisine 5 mililitre asetil-aseton eklenerek çalkalanması sağlanır. Çalkanan erlenler 40 Oc sıcaklığında 30 dakika süresince su banyosunda bekletilir. Daha sonra ortam sıcaklığında yaklaşık otuz dakika kadar bekletilerek yeteri kadar soğuması sağlanır. 5 mililitre asetilaseton reaktif çözeltisinin 5 mililitre su içerisindeki solüsyonu ile ham reaktif ile aynı şekilde işlemden geçirilmesi sağlanır. İşlemler tamamlandıktan sonra 412 nanometre dalga boyunda ve 10 milimetre ölçeğinde absorpsiyon hücrelerinde absorpsansları ölçülerek formaldehit tayini yapılır. Yapılan miktar tayinin ardından kumaş mamullerinin içerdiği formaldehit ekstraksiyon seviyelerinin 500 mg/kg seviyesinden fazla olduğu tespit edilirse ya da 5:5 oranı kullanılarak hesaplanan formaldehit seviyeleri 500 mg/kg seviyesinden fazla ise kalibrasyon eğrisi aralığında çözeltisinin seyreltilmesi gerekmektedir. Analiz sırasında kumaş ve çözelti içeriğindeki safsızlıkların ve renk uyuşmazlığının etkisini görebilmek için ayrı bir deney tüpü içerisine 5 mililitre örnek solüsyonu alınarak üzerine 5 mililitre su ilave edilir ve aynı şekilde hazırlanır. Yeni hazırlanan çözeltiye göre absorpsans derecesi ölçülerek kontrol edilir. Aşağıda aynı kumaş

numunesi için yapılan farklı formaldehit analizi metotlarının karşılaştırılması olarak gösterilmiştir.

Tekstil mamülleri üretim aşamasındayken ortama salınan formaldehitin hava konsantrasyonunu azaltmak için farklı metotlar da uygulanmaktadır. Bu metotlar içerisinde temiz hava kullanarak seyreltme, hava filtreleme, kurutucu kaynaklı bağıl nemin azaltılması, termal oksidasyon ve mamül sertleştirme sıcaklıklarının düşürülmesi bulunmaktadır. Ancak tüm yöntemler dikkate alındığı zaman kumaş üzerinde bulunan serbest formaldehit miktarını azaltma yöntemleri en etkili yöntemlerdir. Yukarıda anlatılmış olan metotların yanı sıra, kumaş üzerinde bulunan serbest formaldehit miktarını azaltmak için kullanılan diğer seçenekler ise aşağıdaki gibidir.

- Düşük serbest formaldehit içeren reçinelerin tercih edilmesi
- Dimetiloldihidroksietilenüre (DMDHEU) tipi reçinelerin tercih edilmesi
- Dietilen glikol ya da farklı bir alkol ile eterifiye edilmiş DMDHEU tercih edilmesi
- İşlem gören kumaşın uygun sıcaklıklarda sertleştirilmesi ve ardından temizleme maddesi ile formaldehit miktarını azaltacak ajanlar kullanılması
- Formaldehit içermeyen dayanımı yüksek reçinelerin tercih edilmesi
- Kumaş numunesinin düşük alkalinite şartlarında nötr pH içermesi için hazırlanması

Formaldehit içermeyen reçine kullanımı durumunda, etkili formaldehit içermeyen çapraz bağlayıcı reçinelerin formaldehit içeren reçinelere kıyasla daha toksik etki yarattığı ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, DMDHEU yerine formaldehit içermeyen polikarboksilik asit türevleri ve dimetilüre glioksal gibi reçinelerin kullanımı yüksek maliyet problemi beraberinde getirmektedir. Ayrıca bu maddelerin tek başına kullanıldığı zaman istenen etkiyi yaratmadığı ve dayanım ve etkisinin artırılması için indirgeyici katalizör ile birlikte kullanılması gerekmektedir. Bu gibi durumlar formaldehitin yasal sınırlamalar ve mevcut güvenlik

önlemleri dâhilinde kullanımını zorunlu kılmıştır (Technical Bulletin 6399, 2002).

Gerçekleştirilen proje kapsamında, formaldehitin tespiti için mevcut olan metotların daha hassas ölçüm yapabilmesi için geliştirilmesi amaçlanmıştır. Cilt tarafından emiliminde kansere sebebiyet veren ve insan sağlığı için ciddi tehlike oluşturan formaldehit kimyasalının laboratuvar koşullarında tayinin sırasında kullanılan malzemelerin bozulma testlerine tabi tutulması sağlanarak ölçümlerin yüksek oranda güvenilirliği hedeflenmiştir. Projenin uluslararası anlamda yenilik durumu tam bilinmemekle birlikte ulusal anlamda yenilik içerdiği bilinmektedir. Mevcut metotların 16 ppm değerine kadar olan formaldehit miktarı ölçülebilmekte ve tespit edilebilmektedir. Bu durum, ürün güvenliği açısından şüphe oluşturmaktadır. Özellikle bebek tekstil ürünleri için formaldehit miktarının 3 ppm alt sınırına kadar düşürülerek formaldehit seviyesinin minimum seviyede tutulması sağlanacaktır. Proje dahilinde kullanılan metotlar üzerinde yapılacak olan matematiksel işlemleri geliştirme çalışmaları projenin güçlü bir Ar-Ge niteliği taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle uluslararası metot olan ISO 14184-1 formaldehit içeren bebek ürünleri için özel doğrulama teknikleri ve hassas algılama limiti ile geliştirilmiş olacaktır.

KAYNAKÇA

Akarşlan, F.; Demıralay, H., (2015). Effects of Textile Materials Harmful to Human Health, *Acta Physica Polonica, A*, Vol. 128 Issue 2B, pB-407-B-408. 2p.

Orhon, D., Kabdaslı, I., Germirli Babuna, F., Sozen, S., Dulkadiroglu, H., Dogruel, S., Karahan, O. Ve Insel, G., (2003). Wastewater reuse for the minimization of fresh water demand in coastal reasslected cases from the textile finishing industry, *Journal of Environmental Science and Health A* 38, 1641-1657.

Karbaş Ş., (1990). Tekstil ve Yardımcı Kimyasal Maddelerde Son Gelişmeler, *Tekstil ve Makine*, Yıl:4, Sayı:24, 312-318.

Hendrickx, I. ve Boardman, G.D., (1995). Pollution prevention studies in the textile wet processing industry, Department of Environmental Quality, Office of Pollution Prevention, Virginia, USA.

Kiernan, J.A., 2000, Formaldehyde, formalin, paraformaldehyde and glutaraldehyde: What they are and what they do, *Microscopy Today*, 8(1) 8- 12pp., <http://www.whilesciencesleeps.com/pdf/606.pdf>

Chapter 5.8 Formaldehyde Air Quality Guidelines - Second Edition WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2001

Gayathri, S., & Muthamilarasi, G., (2005), Manufacture of Formaldehyde from Methanol. (B. Tech. Project). Tamil Nadu, India: Chemical Engineering Department, SRM University.

Ecolabel, (2010), Official Journal of the European Union, L 27, 1-19. United States Government Accountability Office (GAO) (2010), "Formaldehyde in textiles".

Thomas Grützner, Hans Hasse: Solubility of Formaldehyde and Trioxane in Aqueous Solutions, Journal of Chemical & Engineering Data, 2004, Vol. 49, 642-646.

Technical Bulletin, 6399 Weston Parkway, Cary, North Carolina, 27513

Carty P, Byrne MS. The Chemical and Mechanical Finishing of Textile Materials. 2nd ed. Newcastle, UK, Newcastle upon Tyne Polytechnic Products Ltd, 1991.

Perkins WS. Textile Coloration and Finishing. 1st ed. North Carolina, USA, Carolina Academic Press, 1996.

Duman., Ö. Ve Tuncay, A., 1995, Selüloz Liflerine Sitrik Asit ile Buruşmazlık Özelliği Kazandırılması Üzerine Bir Çalışma, Ege Üniversitesi Kütüphanesi, 61s

Tomasino,C. 1992. Chemistry&Technology of Fabric Preparation &Finishing. North Carolina State University., p. 97-133, Raleigh, North Carolina.

Çoban., S., 1999, Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri , Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No:10, Bornova/İzmir

Kittinaovarut, S., 1998, Polymerization-crosslinking Fabric Finishing With Pad-drycure Using Nonformaldehyde BTCA/IA/AA Combinations To Impart Durable Press Properties in Cotton Fabric, Faculty of The Virginia Polytechnic Institute and State University, 175s.

Tracton, A.A., 2006, Coatings Technology Handbook, Taylor&Francis Group, Boca Raton, 828p.

Torlakoğlu, A., 2008, Atık Pet'den Üretilen Kısa Yağlı Alkid Reçinelerinin Amino Reçineleri İle Modifikasyonu, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.

Ünsaldı, E., Çift M.K., Formaldehit, Kullanım Alanları, Risk Grubu,Zararlı Etkileri ve Koruyucu Önlemler, YYU Veteriner Fakültesi Dergisi, 2010,21(1),71-75

Paksoy, A. Selçuk., 1999, Boya El Kitabı, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul, 975-395-314-3

Dynea 33'rd Annual IHS Chemical World Methanol Conference – Formaldehyde Outlook 11-12'th November 2015

Türkay, G., 2019, Investigation Of Methylation Reaction Parameters To Reduce Free Formaldehyde Content In Methylated Melamine Formaldehyde Resin, Ege Üniversitesi, İzmir

Sezer, N., 2005, Pamuklu Mamüllerde Kullanılan Buruşmazlık Kimyasalları İle Renk Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

Zinetbaş, G.,2015, Farklı Tip Buruşmazlık Etkisi Sağlayan Kimyasalların Boyanmış Viskon Dokuma Kumaşın Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Uludağ

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

İNTERNET KAYNAKLARI

https://www.academia.edu/11756555/3_4_Formaldehitin_Fiziksel_%-C3%96zelikleri

BULANIK AHP VE TOPSIS METODLARI İLE E-TİCARET REKABET STRATEJİSİ SEÇİMİ

Mahmut Mahir KURT¹, Osman YAZICIOĞLU²

Öz: Son yıllarda internetin kullanımının artması iş yapış şekillerini ve insanların davranışlarını değiştirmektedir. Perakende de bu alandan önemli ölçüde etkilenmektedir. Perakende sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin işlerini internete taşımalarının yanı sıra, yeni aktörlerin de e-ticaret yolu ile perakendeye giriş yapabilme imkanı doğmaktadır. E-ticaret yoluyla perakende alanında hizmet vermek isteyen şirketlerin önünde ciddi bir engelin de bulunmaması sektöre girişi kolaylaştırmakta olup, bunu sektördeki rekabetin yoğun olduğu şeklinde değerlendirmek de mümkündür. Bu çalışmada Türkiye’de perakende sektörü için rekabet stratejileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ilk önce literatür taraması yapılarak rekabet stratejisini etkileyecek kriterler (ana kriter/alt kriterler) belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen kriterler uzman görüşleri ile revize edilerek özgün hali oluşturulmuştur. Çalışmada alternatifleri rekabet stratejileri oluşturmakta olup, bunlar maliyet liderliği, farklılaşma ve odaklanma stratejisi şeklindedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve alternatiflerin değerlendirilmesinde ise bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri kullanılmıştır. Belirsizliği de dikkate almak amacıyla bulanık yöntemler çalışmada kullanılmıştır. Uzmanlardan anket yardımıyla toplanan sözel karşılaştırmalar bulanık karar verme yöntemleri kullanılarak çalışmanın sonucu elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara

1 İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul / Türkiye, e-mail: mahmutmahirkurt@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-1814-8607

2 İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul / Türkiye, e-mail: oyazicioglu@ticaret.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-0476-4396

*Bu çalışma yazarlardan Mahmut Mahir Kurt’un “Perakende E-Ticarette Sezgisel Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Strateji Seçimi” konulu doktora tez çalışmasından türetilmiştir.

göre rekabet stratejisi sıralaması farklılaşma, odaklanma ve maliyet liderliği şeklinde gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: E-Ticaret, Perakende, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS

GİRİŞ

Bu çalışma perakende e-ticarette rekabet stratejisi seçimde karar alma konusunda değerlendirme yapmak amacıyla hazırlanmıştır. İlk önce perakende e-ticaretin ekonomik boyutlarına bakmakta fayda vardır.

2021 yılında 5,2 milyar \$ olan dünya perakende e-ticaretinin 2026 yılında 8,1 milyar \$'a çıkacağı tahmin edilmektedir (insiderintelligence, 2022). 2020 yılında 23,74 trilyon \$ olan perakende ticaretin, 2025 yılında 31,7 trilyon \$ olması beklenmektedir (statista, 2022). Türkiye’de ise 2021 yılında perakende e-ticaret hacmi 234 milyar TL olarak gerçekleşmiştir (Ticaret Bakanlığı).

Türkiye’de Aralık 2015-Ekim 2022 döneminde kurulan şirketler incelenmiş olup, faaliyet türü “Posta yoluyla veya internet üzerinden yapılan perakende ticaret” olan şirketler internet üzerinden perakende e-ticaret işlemi üzerine işgal ettikleri kabul edilmiştir. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği’nin yayınlamış olduğu veride faaliyet türüne göre kurulan ve kapanan ilk 10 tür listelenmektedir. Buna göre faaliyet türlerine göre ilk on listesinde perakende e-ticaret olarak kurulan şirketler anonim şirket sınıfında Kasım 2019-Eylül 2022 döneminde, limited şirket sınıfında Nisan 2020-Eylül 2022 döneminde ve şahıs şirket türünde Temmuz 2017-Eylül 2022 döneminde kesintisiz olarak yer almaktadır. Kapanan şirketlerin faaliyet türlerine göre ilk on listesi aylara göre kümüle olarak listelenmektedir. Buna göre anonim şirket türü 2015, 2019, 2021 ve 2022 Ocak-Eylül sonu itibari ile, limited şirket türü 2022 Ocak-Eylül sonu itibari ile, şahıs şirket türünde ise 2020, 2021 ve 2022 Ocak-Eylül sonu itibari ile listede yer almaktadır (TOBB, 2022).

Yukarıda verilen veriler, perakende e-ticaretin önemini göstermektedir. Bu veriler perakende e-ticarete gösterilen ilgi ve ekonomik boyutu hakkında fikir vermektedir. Bu durum ayrıca bu kadar yoğun ilginin

olduğu bir alanda rekabeti ve dolayısıyla rekabet stratejisini de değerlendirmeyi önemli kılmaktadır.

Perakende e-ticaret için rekabet stratejisi seçiminin yapıldığı bu çalışmada belirsizlikleri de dikkate almak amacıyla bulanık karar verme yöntemi kullanılmıştır.

Perakende e-ticarette rekabet stratejisi seçimi amacıyla yapılan bu çalışmada; perakende, e-ticaret, rekabet stratejisi alanında literatür taramıştır. Literatür taraması ile çalışmada kullanılan kriterler (ana kriter/alt kriter) belirlenmiştir. Belirlenen kriterler için uzman görüşü alındıktan sonra son hali verilmiştir. Rekabet stratejilerinde ise Porter'ın rekabet stratejisi alternatifleri dikkate alınmıştır. Oluşturulan model sonrasında uzmanlardan dilsel terimler yardımıyla görüşleri toplanmıştır.

Perakende

Perakendeciliği, bireysel ihtiyaçlar için mal ve hizmetleri, tüketicinin hangi mal ve hizmete talebi olduğunu, yer, zaman ve talebe göre tanımlayan, tedarik ve satış süreçlerini gerçekleştiren, içinde bulunduğu değer zincirini iyileştiren, büyük zincir mağazalarından, yerleşim yerinde semt pazarında faaliyet gösterenine kadar farklı ölçeklerde hizmet veren, üretim ve toptancılık gibi faaliyetleri bulunmasına karşın ana faaliyeti perakendecilik olan, çoğunlukla sattığı üründe fazla değişiklik yapmamasına karşın, hizmet alanında üretici olarak yer alan, fiziki mağazalardan online mağazalara kadar değişik yollarla son tüketiciye ulaşan oldukça karmaşıklaşabilen yapılar olarak ifade etmek mümkündür (Kurt, 2021).

TUİK, perakende sınıflandırmasını gıda içecek ve tütün, gıda dışı ile otomotiv yakıtı ana başlıklarında incelemektedir (TUİK, 2022). Bunun yanında perakendeyi giyim, hizmet, hızlı tüketim malları (gıda) ve dayanıklı tüketim malları olarak sınıflamak mümkündür (Kurt, 2021).

Perakende de firmanın pazarlama çevresini mikro etmenler (müşteri, tedarikçi, aracı, rakip ve kamu) ve makro etmenler (demografi, ekonomi, doğal kültürel yasal ve teknolojik) belirlemektedir (Kotler vd., 2018).

Kanal kavramı perakende de önemli hususlardan birisidir. Müşterilerin istedikleri yer ve zaman da kesintisiz bir şekilde alışveriş yapabilir

mesi çoklu kanal (omni channel) olarak tanımlanmaktadır. Buna karşın çok kanallı (multi channel) kavramı birbirine bütünleşmiş kanallar veya bütünleşmemiş kanallar için kullanılabilir. Bir diğer kavram ise entegre olan veya olmayan kanalların etkileşimi için kullanılan çapraz kanal (cross channel) kavramıdır (Beck ve Rygl, 2015).

Literatürde perakende işi ile iştigal eden firmaların başarılı olmak için firma performansının değerlendirildiği çalışmaları finansal ve finansal olmayan çalışmalar ana başlıklarında toplamak mümkündür (Kurt, 2021). Finansal performans kriterlerine satış hacmi, karlılık, büyüme, pazar payı, yatırımın getirisi (Berman vd., 2018), satış geliri, sermayenin getirisi, fiyat kazanç oranındaki büyüme (Lewis ve Thomas, 1990), operasyonel oranlar, faaliyet oranları, mali yapı oranları ve likidite oranları (Gökalp, 2009) örnek olarak verilebilir. Finansal olmayan firma performansı kriterlerine ise uzun süreli müşteri ilişkisi kurmak (Gülşen, 2018), kamu memnuniyeti, imaj (Berman vd., 2018), ürün kalitesi, ürün çeşidi, bulunabilirlik, markalar (Varley, 2006), fiyat performans ve müşteri hizmetleri (Gökalp, 2009) örnek olarak verilebilir.

E-Ticaret

Ticari işlemlerin bireyler ve organizasyonlar arasında dijital olarak gerçekleştirilmesine e-ticaret denmektedir (Laudon ve Travel, 2018). İnternet ya da diğer ağlar yardımıyla iş ve işlemlerin gerçekleştirilmesine imkan tanıyan iş modeli e-ticarettir (Huseynov, 2016). Kişisel ihtiyaçların karşılanması amacıyla internet veya diğer elektronik kaynaklar vasıtasıyla mal ve hizmetlerin satış işlemine ise e-perakende olarak tanımlanmaktadır (Akbulut, 2018). E-ticaret “ürün ve hizmetlerin elektronik ortam kullanılarak üretim, dağıtım, pazarlama, satış ve teslimi” olarak tanımlamıştır (WTO, 1998).

E-ticaretin ilk bölümü olan keşif dönemi 1995-2000 yılları arasında statik web sayfaları, perakende satış ve gelişmemiş arama motorlarının bulunduğu büyüme ve keşifler dönemi olup, 2000’li yılların başında bitmiştir. 2001-2006 yılları arası dönem ise konsolidasyon dönemi olarak adlandırılmakta olup, teknoloji gelişiminden daha çok işletme kaynaklı yönelim bulunmaktadır. Bu dönem büyük işletmelerin webde pozisyon-

larını güçlendirdiği, start-up firmalarından uzak durulan ve bankaların önceliğinin karlılık olduğu bir dönemdir. Yeniden keşif dönemi olarak tanımlanan, 2007 yılında başlayan ve halen devam etmekte olan dönemin önemli konuları ise iPhone, Web 2.0, mobil araçların kullanımı ve bulut bilişimdir (Laudon ve Travel, 2018).

E-ticarette önemli diğer bir konu da iş modelidir. İş modelleri şirketlerin mal ve hizmet alım satım ve gelir elde etmesi ile ilgilidir (Osterwalder, 2004). Başarılı bir iş modeli mevcut iş modellerinden daha iyi bir model önerir ve müşteri segmentlerine daha fazla değer sunarak yeni iş yapış şekillerinin eskilerinin yerini almasını sağlar (Magretta, 2002).

Üretici ve tüketici arasında satış yapanlara perakendeci denmektedir. Elektronik perakendecilik internet üzerinden yapılan perakendeciliktir. E-perakendeci ise online olarak perakende işi yapanlara denmektedir (Turban vd., 2017). İnternetin bir perakende kanalı olarak ortaya çıkmasının fiziki mağazalara zarar vereceği değerlendirilse de daha doğrusu e-ticareti yardımcı bir kanal olarak düşünmektir (Zentes vd., 2017).

E-ticaret başlığı altında değinilecek bir diğer konu da başarı faktörleridir. Tayland'da yapılan araştırmaya göre en kritik başarı faktörleri güven ve alışveriş alışkanlıkları ile ilgili alışkanlıklardır (Laosethakul ve Boulton, 2007). Fransa e-ticaret marketleri özelinde yapılan çalışmada zaman kazanımı, alışverişin istenildiği zaman yapılması, fiziksel aktivitenin azlığı, kullanışlılık ve rasyonel satın alma nedenlerinin motivasyonu artırmasının kritik başarı faktörleri olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, karışık algılanan web sitesi, ürün kalitesine ilişkin soru işaretleri, kısıtlı seçenek, monoton alışveriş deneyimi, tamamlanmamış teslimat, ürünlerin uygun yerleştirilmemesi ve sosyal bağlantılardaki eksiklik ise satın alma işleminin tekrarlanmamasına neden olmaktadır (Colla ve Lapoule, 2012). E-perakendeciler, fiziki perakendeden farklı olarak özel müşteri hizmeti sunabilmektedirler. Fiziki mağazalarda geçerli olan çoğu başarı faktörleri e-ticaret için de geçerlidir (Turban vd., 2017).

E-ticaretin 8 önemli özelliği, ulaşılabilirlik, uluslararası erişim, uluslararası standart, zenginlik (video, ses ve metin mesajı), etkileşim, bilgi yoğunluğu, kişiselleştirme-özelleştirme ve sosyal teknolojidir (Laudon

ve Travel, 2018). Makul maliyetlerle, herhangi bir yer ve zamanda iş yapma imkanı global olarak e-ticaretin en büyük avantajıdır. Güven, kimlik doğrulama, güvenlik, siparişi yerine getirme ve teslim ise en büyük zorluklarıdır. Büyük miktarda ürünle uğraşma, IT ve bilgi noksanlığı ve bunlara ait fırsat ve risklerin ayırımında olmak KOBİ'ler için e-ticaret stratejisini ortaya koymayı zorlaştırmaktadır (Turban vd., 2017). Pazara giriş engellerinin az olması perakende e-ticarette rekabeti artırmaktadır. Tecrübe ve marka bilinirliği olmadan sürekliliğin sağlanması ve karlılık zordur. Tüm online müşterilere ulaşmak kaynakları çabucak tüketir. Niş pazar strateji oluşturmak, amaçlanan pazarı ve gerekliliklerini tarif etmek kazanç için değerlendirilebilir (Laudon ve Travel, 2018).

Üyeliğe dayalı alışveriş siteleri için alışverişin tekrarında; ürün fiyatlarının indirimli olması, ürünlerin kaliteli olması, zaman tasarrufu, ürün çeşitliliği ve kolaylık etkilidir. Siparişlerin tekrarlanmamasında ise ekonomik (bütçe kısıtı), zaman kaybı, fiyat avantajının bulunmaması, ürünlerdeki kalite eksikliği veya ürünlerin orijinal olmaması etkindir (İnci, 2014).

Strateji

Stratejinin tanımını yapmak, kör insanların bir file dokunup onu tanımlamasına benzetilmiştir (Mintzberg ve Lampel, 1999). Stratejinin öngütün en önemli işlevi olarak, işlemenin seçtiği yol, olumsuz veya olumlu durumlara karşı hazırlıklı olunması, taktiklerin belirlenmesi olarak tanımlanabilir (Baykal, 2018). Farklı rekabet strateji yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; ürün portföy matrisi (Boston Danışmanlık Grubu), McKinsey matrisi, piyasa/rekabet matrisi, Porter'ın rekabet stratejisi, ürün yaşam evresidir (Çubukçu, 2018).

Şirket stratejisi olarak farklılaşma (yenilik, reklam, ürün kalitesi vb.), maliyet liderliği (kapasite kullanımı, göreceli direkt maliyetler), odaklanma (ürün hatlarının genişliği, müşterilerin farklılığı) ve varlık gereksinimi (sabit varlıkların gelire oranı) belirlenmiştir (Miller, 1986). Firma sektördeki konumunu rekabet stratejisi ile belirler. Firma kazancının sektörün üstünde veya altında olması ise konumlandırma ile ilgilidir. Firmalar sektörün ortalamasının üzerindeki getiriye rekabet avantajı ile

elde edebilirler. İşletmelerin mücadele içinde oldukları diğer işletmelere göre çok sayıda kuvvetli ve zayıf yönleri olabilir. Buna karşın rekabet avantajı olarak esasen sahip olabilecekleri iki avantaj düşük maliyet ve farklılaşmadır. Sahip olunan bu iki avantaj maliyet liderliği, farklılaşma ve maliyet liderliğinde veya farklılaşmada odaklanma olmak üzere üç strateji ile elde edilebilir (Porter, 1998). Porter'ın rekabet stratejileri ve bunların karışımı tartışılan, tercih ve kabul edilen tipolojilerdir (Akan vd., 2006).

Maliyet liderliğinde üzerinde yoğunlaşın konu işletmenin rakiplerine göre ürün veya hizmeti düşük maliyetle üretmesidir. Düşük maliyetli ürün üretebilmek için tesislerin verimli ölçekte olması gerekir. Bunun yanında Ar-Ge çalışmaları, satış ve pazarlama harcamaları maliyeti artırmamak için düşük seviyede tutulmaya çalışılır. İnovasyon riskleri azaltmak amacı ile taklit yoluyla hayata geçirilir. Çoğunlukla maliyet liderliği ve farklılaşma stratejilerinin birlikte uygulanmaya çalışılması iki stratejinin faydalarını olumsuz etkilediğinden aynı anda uygulanmazlar (Miller, 1986). Maliyet avantajının sağlanmasında ölçek önemli bir husustur. Ayrıca bu avantajın kaynağı sektörden sektöre geçişebilmektedir. Maliyet avantajının nedenleri ölçek, tescil edilmiş teknoloji, emtiaya ayrıcalıklı erişim hakkı olabilir. Maliyet liderliğini hedefleyen firmalar çoğunlukla tipik mamulleri satarlar ve hedef ölçekleri vardır (Porter, 1998). Buna karşın rekabetin maliyet üzerinden yapılması kısa vadeli olup, itimat edilemez. Rekabet halinde olunan işletmeler daha düşük giderleri sağlayan çözümler geliştirebilirler. Buna rağmen, gizli bilgi (tacit knowledge) kişilere has olması dolayısıyla rakip firmalar tarafından elde edilmesi zordur ve yetenekli insan kaynakları sayesinde maliyet liderliğinin sürekliliği kazanılabilir (Laudon ve Travel, 2018).

İşletme farklılaşma stratejisini benimsediğinde alıcı nezdinde kıymetli görülen sektörün kimi kısımlarında benzersiz olmayı hedefler. İşletme alıcı ve sektör açısından değerli atfedilen bir veya birkaç hususiyeti eşsiz bir şekilde yerine getirmek amacıyla konumunu belirler. Eşsiz olma durumu, işletme için yüksek fiyatı kabul edilebilir noktaya getirir. Sektörler için farklılaşma muhtelifdir. Malın kendisi, malın teslimat yöntemleri, pazarlama yöntemleri gibi etmenler farklılaşmayı sağlamaktadır. İşletmenin farklılaşma amacıyla katlandığı maliyet, farklılaşma ile

elde edilen malın karından daha az olmalı ve diğer işletmelerin kıyaslanabilecek mallarının fiyatlarını da dikkate almalıdır. İşletme açısından ürünlerinin yüksek fiyatlı olabilmesi için fiilen eşsiz bir şeyler ortaya koyması ya da alıcı nezdinde böyle bir kabul oluşması gerekmektedir. Alıcılar açısından çok sayıda nitelik kıymetli olarak kabul edilebileceğinden farklılaşma stratejisi maliyet liderliği stratejisinin tersine sektörde çok sayıda olabilir (Porter, 1998). Farklılaşmanın gayesi benzersiz albenisi olan ürün ortaya çıkarmaktır. Farklılaşma, yenilik ve pazarlama ile yapılmaktadır. Yenilik ile farklılaşmada firmalar yeni ürün ve yeni teknolojilerle farklılaşarak rakiplerini yönlendirmenin yanı sıra ürünleri için talep ettikleri fiyatlar daha yüksektir ve öncü olma durumu ve Ar-Ge vurgulanan noktalardır. Pazarlama ile farklılaşmada nadiren yeni ürün ortaya konmaktadır. Pazarlama ile farklılaşan firmalar ilgi uyandıran paketleme, iyi hizmet, uygun lokasyon, güvenilir ürün/hizmet gibi alanlara ilaveten güçlü bir pazarlama yapısına sahiptirler (Miller, 1986).

Üreticinin mal ve hizmetlerinin benzersiz olması ve rakiplerinden ayrışması farklılaşma ile olmaktadır. Farklılaşmanın karşıtı olarak sıradanlaşma da tercih için tek neden fiyattır. Bu durumda ise mal ve hizmetin fiyatı maliyetine kadar inecektir. Bundan kurtulmak için mal ve serviste tek sağlayıcı olunan tekel benzeri bir konumun elde edilebilir. Farklılaşma, esas mal ve hizmeti tüketici tercihlerini esas alarak iyileştirerek, yeni nitelikler ekleyerek, tüketici sorunlarını ortadan kaldıracak niteliklere haiz mal ve hizmeti ortaya koyarak elde edilir. Mal ve hizmetler için benzersiz farklılaşma imkanları e-ticaret ile mümkündür. Tüketici özelinde satınalma tecrübesini hususi hale getirme, ev veya işten satınalma olanağı ile ulaşılabilirlik, dünyanın her yerinden erişim imkanı, mal ve hizmete ilişkin kullanıcıların değerlendirmeleri, ürün ve hizmete ilişkin zengin içerik ve kapsamlı mal ve hizmet bilgisi ile e-ticaret farklılaşmaya imkan tanımaktadır (Laudon ve Travel, 2018). Küçük işletmelerde teknolojik yapının yetersiz olması ve maliyet liderliğine imkan tanımayan üretim kapasitesi şirketleri niş pazarlara veya pazarlama ile farklılaşma stratejisini tercih etmeye yönlendirmektedir (Miller, 1986).

Odaklanma stratejisi, faaliyet kolunda kısıtlı rekabet ölçeğini göz önüne alır. Odaklanma stratejisini tercih eden işletmeler, iş kolunda diğer işletmelerin değerlendirmedeği segmentler için stratejilerini seçerler.

Bir iş kolunun geneli için uygun olmasa da odaklanma stratejisini benimseyen işletmeler, rekabette başarılı olabilmek için hedeflenen segment için stratejilerini en uygun duruma getirmeye odaklanmalıdırlar. Odaklanma; maliyet ve farklılaşma olarak ikiye ayrılmaktadır. Maliyet üzerinden yapılan odaklanma stratejisi hedef segment ölçeğinde maliyet üstünlüklerine odaklanırken, farklılaşma belirlenen segmentte rakiplerden farklılaşmayı amaç edinir. Sektörde pek çok segmenti hedefine alan bir işletme, bazı segmentlerin gereksinimlerinin üstünde hizmet sunabilir. Bu durumda işletmenin maliyetleri bu segmentler için yüksek olacaktır (Porter, 1998). Odaklanma stratejisinde, işletmeler kişiye özgün ürünler ile dar bir segmentte çalışabilirler (Laudon ve Travel, 2018).

Strateji Analizi

Çevre, sektör, değer zinciri ve kaynaklar strateji analizinde değerlendirilmiştir (Kurt, 2021). Firmaların, rakipleri ile mücadele ettiği endüstri çevreyi oluşturur. Genel çevrenin, toplumda firma ve iş kolunu etkileyen; demografik, sosyokültürel, iktisadi, siyasal/kanuni, teknolojik, global ve sürdürülebilirlikten oluşan boyutları vardır (Hitt vd., 2016).

Benzer ürünleri üreten firmalar iş kolunu oluşturur ve rekabet dolayısıyla birbirlerini etkilerler. (Hitt vd., 2016). İşletmeler arasındaki çekişme, iş koluna giriş bariyerleri, yerine geçebilecek ürünün varlığı, satıcıların pazarlık kuvveti ve müşterilerin pazarlık kuvveti iş kolunun yapısını tanımlayan beş güçtür (Porter, 1979).

Değer, müşterilere sunulan fiziki ve fiziki olmayan mal ve hizmetlerin toplamıdır. Ayrıca ödenen bedel mukabilinde elde edilen faydadır (Berman vd., 2018). Firmanın değer zinciri birbiri ile ilişkili işlemlerdir (Porter ve Millar, 1985). Her bir işlem son ürüne iktisadi değer katar ve değer zinciri katma değerli işlemler ile birbirine bağlıdır (Laudon ve Travel, 2018).

Kaynaklar, somut (üretim ekipmanı vb.) ve soyut (insan kaynakları vb.) olarak iki kısımdır. Kaynaklar işletmelerin yeteneklerini meydana getirmek için bir araya toplanır. Yetenekler üretim gibi bir işlevsel kısımda veya reklam gibi işlevsel kısmın bir bölümünde oluşturulur.

Yetenekler ise yetkinliklerin esas kaynağı olup, rekabet avantajı sağlar (Hitt vd., 2016).

ÖNERİLEN MODEL

Çalışma kapsamında kriterler (ana kriterler ve alt kriterler) literatür yardımı ile belirlenmiş ve alanlarında uzman kişilerin değerlendirmeleri ile nihai şeklini almıştır (Kurt, 2021).

Çalışmada ana kriter rakiplerle mücadele edilen çerçeveyi tasvir eden çevre, firmanın işleyişi ile ilgili olan operasyonlar ve satılan ürünü alan müşterilerdir. Bu ana kriterlere ait alt kriterlere Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Ana Kriter ve Alt Kriterler

Ana Kriterler	Çevre	Operasyonlar	Müşteri
Alt Kriterler	Rekabet Ortamı, Demografik Çevre kültürel ve ekonomik çevre, Yasal çevre	Değer zinciri entegrasyonu, Kaynakları rekabet avantajına çevirebilme, İş modeli	Müşterinin internet kullanım beceri ve deneyimi, İnternet sitesi imkanları ve imajı, Beklenen fayda, Müşterinin yaşadığı alışveriş tecrübesi, Destekleyici kanalların varlığı

Alternatifleri oluşturan rekabet stratejileri Porter’ın üç jenerik stratejisi, maliyet liderliği, farklılaşma ve odaklanma (maliyet ve farklılaşma) olarak değerlendirilmiştir (Kurt, 2021).

YÖNTEM

Doğru ve düzgün düşünmeyi inceleyen bilim dalı mantıktır (Öztürk, 2011). Klasik mantık doğru ve yanlış değerlerini içeren önermelerle alakalıdır. 1927 yılında öne sürülen belirsizlik ilkesi klasik mantık sistemini derinden etkilemiştir. Kuantum kuramcıları, ‘doğru’ veya ‘yanlış’ tan

oluşan iki değerli mantık sistemine bir üçüncü veya orta doğruluk değeri ilave ederek 'belirlenemezlik'in betimlenmesine imkân tanımışlardır (Kılıç, 2015).

Bulanık kümeler 1965'te Zadeh tarafından belirsizliği açıklamak için geliştirmiştir (Göksu, 2008). Her bir nesnenin bulanık kümede üyelik derecesi 1 ile 0 arasında değer almaktadır (Zadeh, 1965).

Metodoloji

Bu çalışmada ana kriterlerin ağırlıkları bulanık AHP ile değerlendirilecek ardından bulanık TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralaması yapılacaktır.

Bulanık AHP

- **Adım 1:** Uzmanların Uzmanlık Derecelerinin Birleştirilmesi

Uzmanların strateji, e-ticaret ve perakende için bilgi düzeyleri farklıdır. Karşılaştırma matrislerinin bütünleştirilmesinden önce uzmanlar aynı önem düzeyinde değillerse ağırlıklarının saptanması gerekir. Uzmanları değerlendiren bir kurul (C) tarafından elde edilen sözel değişkenlerin karşılığı olan bulanık değerler aşağıdaki gibidir. Uzman sayısı p , kuruldaki üye sayısı r , matriste yer alan $\tilde{w}_{ij} = (\tilde{l}_{ij}, \tilde{m}_{ij}, \tilde{u}_{ij})$ j . kurul üyesinin i . uzman için belirlemiş olduğu dilsel ifadenin bulanık sayı karşılığını ve \tilde{W} bulanık karar matrisini göstermektedir (Çakır ve Özdemir, 2016). Çalışmada kurul yerine uzmanın uzmanlık konusundaki ağırlığı dikkate alınmıştır.

$$\tilde{W} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_r \\ kv_1 & \left[\begin{array}{cccc} \tilde{w}_{11} & \tilde{w}_{12} & \dots & \tilde{w}_{1r} \\ \tilde{w}_{21} & \tilde{w}_{22} & \dots & \tilde{w}_{2r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_{p1} & \tilde{w}_{p2} & \dots & \tilde{w}_{pr} \end{array} \right. \\ kv_2 & \\ \vdots & \\ kv_p & \end{matrix}$$

İlk uzman için bulanık vektör $\tilde{w}_1 = \tilde{w}_{11} + \tilde{w}_{12} + \dots + \tilde{w}_{1r}$ şeklindedir. Üçgensel bulanık üyelik fonksiyonuna göre birleştirilme işlemi aşağıdaki gibi yapılır. Eşitlikteki \tilde{w}_s , s . uzmanın bulanık ağırlığını belirtir (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$\tilde{w}_s = (l_s, m_s, u_s)$$

$$l_s = \min\{l_{sj}\}, m_s = \frac{1}{r} \sum_{c=1}^r m_{sj}, u_s = \max\{u_{sj}\} \quad (1)$$

- **Adım 2:** Durulaştırma

Elde edilen değerler için durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. En iyi gerçek sayı değeri (Best Nonfuzzy Performance Value-BNP) durulaştırma işlemi için kullanılmıştır (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$d'(BNP_s) = \frac{(u_s - l_s) + (m_s - l_s)}{3} + l_s \quad (2)$$

- **Adım 3:** Normalizasyon

Durulaştırma adımının ardından normalizasyon adımı gerçekleştirilir. Normalizasyon işlemi ile uzmanların önem ağırlığı w_s elde edilir (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$w_s = d(BNP_s) = \frac{d'(BNP_s)}{\sum_{j=1}^m d'(BNP_j)} + l_s \quad (3)$$

- **Adım 4:** Ana Kriter ve Alt Kriterler için Birleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Uzmanların ana kriter ve alt kriter için belirlemiş oldukları değerler ile bir önceki adımda elde edilen uzmanların önem ağırlığı çarpılarak ağırlıklandırılmış değerlere ulaşılır ve tüm uzmanlar için değerler toplanarak birleştirilmiş karar matrisine elde edilir.

Önem ağırlıkları aynı olamayan uzmanların ikili karşılaştırma matrisleri aşağıdaki denklem ile oluşturulur (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$\tilde{a}_{ij} = [w_1 \otimes \tilde{a}_{ij}^1 + w_2 \otimes \tilde{a}_{ij}^2 + \dots + w_p \otimes \tilde{a}_{ij}^p] \quad (4)$$

Uzmanlara ait birleştirilmiş karar matrisi aşağıdaki gibidir (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$\tilde{A} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ K_1 & \left[\begin{matrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{matrix} \right] & & & \end{matrix} \quad (5)$$

Birleştirilmiş bulanık sayı $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, aşağıdaki gibi hesaplanır (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$l_{ij} = \sum_{s=1}^s \{w_s \otimes l_{ijs}\}, m_{ij} = \sum_{s=1}^s \{w_s \otimes m_{ijs}\}, u_{ij} = \sum_{s=1}^s \{w_s \otimes u_{ijs}\} \quad (6)$$

- **Adım 5: Sentetik Genişletme**

Kriterlerin amacı gerçekleştirme düzeyi genişletme ifadesi ile belirtilmektedir (Paksoy vd., 2013). $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ kriter seti ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ amaç seti olsun. Tüm kriterler için denklem (8) kullanılarak tüm hedefler için genişletme analizi gerçekleştirilir. Böylece her bir kriter için m tane genişletme analizi oluşturulmuş olur. Bu değerler aşağıda gösterildiği gibidir. Tüm M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) üçgen bulanık sayılardır (Chang, 1996).

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

i . kriter için bulanık sentetik genişletme değeri S_i aşağıdaki gibi tanımlanır (Kahraman vd., 2003).

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (8)$$

Mertebe analizine aşağıda belirtilen bulanık toplama işlemleri uygulanarak $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ değerlerine ulaşılır. Denklem (11) ile vektörün tersine ulaşılır (Karakış, 2019).

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j \right) \quad (10)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n l_j} \right) \quad (11)$$

Bulanık sayıların kıyaslanması amacıyla hiyerarşideki tüm elemanların ağırlık vektörleri bulanık sentetik değerler yardımıyla elde edilir (Paksoy vd., 2013).

- **Adım 6:** Olabilirlik Derecesi

$M_1 \geq M_2$ 'in olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Karakış, 2019).

$$V(M_1 \geq M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d): \begin{cases} 1 & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (1)$$

- **Adım 7:** Normalizasyon

$k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ için aşağıdaki kabulde bulunalım (Chang, 1996).

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (1)$$

$A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ n üyesi olduğu durumda ağırlık vektörü aşağıdaki gibi olacaktır (Chang, 1996).

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (1)$$

Bulanık olmayan sayı W için normalizasyon işlemi yardımıyla normalize ağırlık vektörü aşağıdaki gibi elde edilir (Chang, 1996).

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (1)$$

Bulanık TOSIS

- **Adım 8:** Uzmanların Görüşlerinin Birleştirilmesi

Önem ağırlıkları aynı olmayan s tane uzman görüşü aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilir. Denklemde alternatiflerin kriter değerleri \tilde{x}_{ij}^s , s . uzman için i . alternatifin j . kriter değeri; w_{kv}^s , s . uzman ağırlığını ifade etmektedir (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$\tilde{x}_{ij} = [w_{kv}^1 \otimes \tilde{x}_{ij}^1 + w_{kv}^2 \otimes \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + w_{kv}^s \otimes \tilde{x}_{ij}^s] \tag{16}$$

- **Adım 9:** Normalizasyon

Karar matrisinin normalizasyonu için aşağıdaki denklemlerden yararlanır. B ve C, fayda ve maliyet kriterleri olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır (Yıldız, 2013).

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_i^+}, \frac{m_{ij}}{u_i^+}, \frac{u_{ij}}{u_i^+} \right) \quad j \in B, \quad u_i^+ = \max_i u_{ij} \tag{17}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \quad j \in C, \quad l_j^- = \min_i l_{ij} \tag{18}$$

Normalize bulanık karar matrisi \tilde{R} denklem (17) ve (18) aşağıdaki gibi elde edilir (Yıldız, 2013)

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \tag{19}$$

- **Adım 10:** Ağırlıklandırma

$\tilde{r}_{ij}, (V_i, j)$ normalize üçgen bulanık sayıdır. Ağırlıklı normalize karar matrisi \tilde{V} , her bir karar kriterinin değişik olacağı hesaba katılarak aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır.

Burada $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j'$ dir (Yıldız, 2013).

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \tag{20}$$

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi, ağırlık matrisinin bulanık olmadığı durumlar için normalize bulanık karar matrisi \tilde{r}_{ij} ile ağırlık matrisinin çarpılması yöntemiyle elde edilir (Çakır ve Özdemir, 2016).

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes w_j \quad \tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes w_j \quad (21)$$

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi elde edilmesinden sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS, A+) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS, A-) aşağıdaki denklemler yardımı ile oluşturulur. Bu durumda $\tilde{v}_{ij}^+ = (1,1,1)$ ve $\tilde{v}_{ij}^- = (0,0,0)$ olup, $j = 1,2, \dots, n'$ dir (Yıldız, 2013).

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad (22)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (23)$$

- **Adım 11:** Pozitif ideal çözüme yakınlık ve negatif ideal çözüme uzaklığın hesaplanması

Tüm alternatifler için bulanık pozitif ideal çözüm A^+ ve bulanık negatif ideal çözüme A^- mesafe aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilir. d_v iki bulanık sayı arasındaki mesafe olup, hesaplanmasında vertex metodu kullanılabilir (Yıldız, 2013).

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad i = 1,2, \dots, m, \quad j = 1,2, \dots, n \quad (24)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1,2, \dots, m, \quad j = 1,2, \dots, n \quad (25)$$

$$d(a,b) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u_a - u_b)^2]}, \quad d(a,b) \in R^+ \quad (26)$$

- **Adım 12:** Yakınlık katsayısının hesaplanması

Bulanık ideal pozitif ve negatif çözüme ilişkin mesafelerin hesaplanmasının ardından tüm alternatiflerin yakınlık katsayıları (CC_i) belirlenir. Yakınlık katsayısı, bulanık pozitif (A^+) ve bulanık negatif (A^-) ideal çözüme mesafeyi beraber hesaba katar (Yıldız, 2013). Tüm alternatifler için yakınlık katsayısı aşağıdaki denklem yardımı ile belirlenir. CC_i indeksi

1'e daha yakın olan alternatif bulanık pozitif ideal çözüme (FPIS) yakinken ve bulanık negatif ideal çözüme (FNIS) uzaktır (Alcan vd., 2013).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ - d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ - d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (27)$$

UYGULAMA

Perakende e-ticaret için rekabet stratejilerinin değerlendirilmesi için 9 uzmandan anket yardımı ile cevapları dilsel terimler olacak şekilde görüş alınmıştır. Çalışma, ağırlıkların hesaplandığı 7 adımdan oluşan bulanık AHP ve alternatiflerin değerlendirildiği 5 adımı bulunan bulanık TOPSIS işlemlerinden oluşmaktadır.

Bulanık AHP kısmında ilk olarak Adım 1'de uzmanların perakende, strateji ve e-ticaret alanlarında birleştirilmiş önem dereceleri birleştirilmiştir. Ardından durulaştırma (Adım 2) ve normalizasyon (Adım 3) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon işlemi sonrasında uzmanların ağırlıkları elde edilmiştir. Adım 4'te uzmanların normalize edilmiş önem dereceleri ile aynı uzmanın ana kriter ve alt kriterler için değerlendirmeleri birlikte değerlendirilir ve ardından tüm uzmanların değerleri toplanarak ana kriterler ve alt kriterler için birleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. Adım 5 ile bulanık sentetik değerler elde edilir. Olabilirlik (Adım 6) ve normalizasyon (Adım 7) işlemleri ile ana kriter ve alt kriterler için bulanık olmayan ağırlıklar elde edilir.

Bulanık TOPSIS kısmında, alternatifler için uzmanların önem ağırlıkları dikkate alınarak birleştirilmiş karar matrisi (Adım 8) elde edilir. Çalışmada tüm kriterler fayda kriteri olarak değerlendirilmiş olup Adım 9'da normalizasyon işlemi ile birleştirilmiş normalize karar matrisi elde edilir. Adım 7'de elde edilen kriter ağırlıkları dikkate alınarak Adım 10'da ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulur. Bu işlemin ardından pozitif ideal çözüme yakınlık ve negatif ideal çözüme uzaklık (Adım 11) ve alternatifler için yakınlık katsayıları (Adım 12) hesaplanır (Tablo 2).

Tablo 2. Alternatifler İçin Yakınlık Katsayıları

	Maliyet Liderliği	Farklılaşma	Odaklanma
Pozitif İdeal Çözüm Yakınlık	10.50	10.34	10.40
Negatif İdeal Çözüm Uzaklık	0.56	0.72	0.66
Yakınlık Katsayıları	0.050	0.065	0.059

SONUÇ

Perakende e-ticarette rekabet stratejisinin belirlenmesine yönelik olan bu çalışmada bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada perakende, e-ticaret ve rekabet stratejileri ile ilgili literatür taraması yapılmış ve ana kriter ve alt kriterin oluşturulmasında değerlendirilmiştir. Alternatifler Porter'ın maliyet liderliği, farklılaşma ve odaklanma olarak sınıflandırdığı rekabet stratejilerinden oluşmaktadır. Değerlendirilen ana kriter ve alt kriterler ile alternatif stratejileri uzman görüşleri son halini almıştır. Oluşturulan ana kriter, alt kriter ve alternatif stratejileri için uzmanlardan anket yardımıyla görüşleri alınmıştır. Ankette kullanılan karşılaştırmalar dilsel terimlerden oluşmaktadır.

Bulanık AHP ile ana kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanırken, bulanık TOPSIS yöntemi ile de alternatif stratejileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, farklılaşma, odaklanma ve maliyet liderliği sıralaması elde edilmiştir.

Perakende e-ticarette sektöre giriş engellerinin az olması, rekabetin yoğun olmasının bir nedenidir. Bu sebeple, teslimat, satış kanalları, ürün çeşidi gibi alanlarda farklılaşarak rekabet avantajı kazanılabilir. Odaklanma ile, daha küçük ölçekli bir pazar ve ürün gamı gibi alanlarda odaklanılarak daha büyük ölçekte rekabet eden firmalardan iyileştirmeler ile farklılaşarak veya maliyet liderliği elde ederek rekabet avantajı elde etmek mümkündür. Maliyet liderliği, en son tercih edilen rekabet stratejisidir. Maliyet liderliğinin elde edilmesi ve sürekliliğinin sağlanması zordur.

Bilgilendirme: Bu çalışma “Perakende E-Ticarette Sezgisel Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Strateji Seçimi” adlı doktora tezinden türetilmiştir. Doktora tezinde sezgisel bulanık ve bulanık işlemler karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre alternatiflerin sıralaması aynı olsa da, sezgisel bulanık yöntemlerle yapılan değerlendirmelerde alternatiflerin sıralaması daha belirgindir.

KAYNAKÇA

Akan, O., Allen, R. S., Helms, M. M., and Spralls, S. A. (2006). Critical tactics for implementing Porter’s generic strategies. *Journal of Business Strategy*, 2(27), 43-53. doi:10.1108/02756660610640173

Akbulut, M. (2018, Aralık 4). Elektronik Perakendecilikte Firma Yaşam Döngüsü Yaklaşımları. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16(4), 237-255. doi:10.11611/yead.457991

Alcan, P., Balin, A., and Başlıgil, H. (2013). Fuzzy multicriteria selection among cogeneration systems: A real case application. *Energy and Buildings*, 67, 624-634. doi:10.1016/j.enbuild.2013.08.048

Baykal, T. (2018, Haziran). Örgütlerde Etkinlik ve Etkililik için stratejik Yönetim ve Stratejik Planlama. *Social Sciences Research Journal*, 7(2), 151-160.

Beck, N., and Rygl, D. (2015). Categorization of multiple channelr etailingin Multi-,Cross-,and Omni-Channel Retailing for retailers and retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, s. 170-178. doi:10.1016/j.jretconser.2015.08.001

Berman, B., Evans, J. R., and Chatterjee, P. (2018). *Retail Management A Strategic Approach* (13. Global Edition b.). Harlow: Pearson.

Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 649-655.

Colla, E., and Lapoule, P. (2012). E-commerce: exploring the critical success factors. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 842-864. doi:10.1108/09590551211267601

Çakır, E., and Özdemir, M. (2016). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Altı Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması. *Business and Economics Research Journal*, 7, 167-201. doi:10.20409/berj.2016217536

Çubukçu, M. (2018). İşletmelerde Uygulanan Strateji Tipleri ve Uygulama- dan Örnekler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 1(2), 142-156.

Gökalp, F. (2009). *Perakende Sektöründe Performans Ölçümü: Türkiye Üzerine Bir Model Denemesi (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. İzmir: Ege Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Göksu, A. (2008). *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Gülşen, İ. (2018). *Perakendecilikte Yenilik ve İşletme Performansı (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Hitt, M. A., Ireland, R. D., and Hoskisson, R. E. (2016). *Strategic Management: Competitiveness & Globalization: Concept And Cases (12 b.)*. Boston: Cengage Learning.

Huseynov, F. (2016). *Determining Online Consumer Typologies and Their Shopping Behaviors in B2C E-Commerce Platforms (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. Ankara: The Graduate School of Informatics of The Middle East Technical University.

İnci, B. (2014). *Bir Online Perakendecilik Yöntemi Olarak "Özel Alışveriş Sitesi" İş Modeline Yönelik Tüketici Alguları ve Satın Alma Davranışları (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kahraman, C., Cebeci, U., and Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16(6), 382-394. doi:10.1108/09576050310503367

Karakış, E. (2019). Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS ile Bütünleşik Karar Destek Modeli Önerisi: Özel Okullarda Öğretmen Seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 112-137.

Kılıç, M. (2015). *Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Tabanlı Bir Yaklaşım (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kotler, P., Armstrong, G., and Opresnik, M. O. (2018). *Principles of Marketing (17e b.)*. Harlow: Pearson.

Kurt, M. M. (2021). *Perakende e-ticarette sezgisel bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri ile strateji seçimi (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Laosethakul, K., and Boulton, W. (2007). Critical Success Factors for E-Commerce in Thailand: Cultural and Infrastructural Influences. *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, 1-22. doi:10.1002/j.1681-4835.2007.tb00205.x

Laudon, K. C., and Travel, C. G. (2018). *E-Commerce 2018 (14. Global Edition b.)*. Harlow: Pearson.

Lewis, P., and Thomas, H. (1990). The Linkage Between Strategy, Strategic Groups, and Performance in the U.K. Retail Grocery Industry. *Strategic Management Journ*, 385-397. <https://www.jstor.org/stable/2486631> adresinden alındı

Magretta, J. (2002, Mayıs). Why Business Model Mater. *Harvard Business Review*, 86-92.

Miller, D. (1986). Configurations of Strategy and structure: Towards a Synthesis. *Strategic Management Journal*, 7, 233-249.

Mintzberg, H., and Lampel, J. (1999). Reflecting on the Strategy Process. *Sloan Management Review*, 40(3), 21-30.

Osterwalder, A. (2004). *The Business Model Ontology A Proposition In A Design Science Approach (Basılmamış Doktora Tezi)*. Lozan: Université de Lausanne.

Öztürk, B. (2011). *Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. Bursa: Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N., and Özceylan, E. (2013). Bulanık Mantık. T. Paksoy, N. Yapıcı Pehlivan, & E. Özceylan içinde, *Bulanık Küme Teorisi* (s. 5-20). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti.

Porter, M. E. (1979). How Competitive Forces Shape Strategy. *Harvard Business Review*.

Porter, M. E. (1998). *Competitive Advantage Creating And Sustaining Superior Performance*. New York: The Free Press.

Porter, M. E., and Millar, V. E. (1985, Temmuz-Ağustos). How Information Gives You Competitive Advantage. *Harvard Business Review*, 63(4), 149-160.

Turban, E., Whiteside, J., King, D., and Outland, J. (2017). *Introduction to Electronic Commerce and Social Commerce* (4. b.). Cham, İsviçre: Springer. doi:10.1007/978-3-319-50091-1

Varley, R. (2006). *Retail Product Management* (2 b.). New York: Routledge.

WTO. (1998, Eylül). WTO. Nisan 16, 2018 tarihinde World Trade Organization: https://www.wto.org/english/tratop_e/ecom_e/ecom_e.htm adresinden alındı

Yıldız, A. (2013). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Tedarikçi Seçimi ve Ekonomik Sipariş Miktarının Tespiti: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information And Control*, 8, 338-353.

Zentes, J., Morschett, D., & Schramm-Klein, H. (2017). *Strategic Retail Management* (3. b.). Wiesbaden: Springer Gabler. doi:10.1007/978-3-658-10183-1

İNTERNET KAYNAKLARI

İnsiderintelligence. (2022). Worldwide Ecommerce Forecast Update 2022. <https://www.insiderintelligence.com/content/worldwide-ecommerce-forecast-update-2022> (E.T.02.11.2022)

statista. (2022). Total retail sales worldwide from 2020 to 2025. <https://www.statista.com/statistics/443522/global-retail-sales/> (E.T.02.11.2022)

Ticaret Bakanlığı. (2021). Elektronik Ticaret Bilgi Sistemi (ETBİS) 2021 Yılı Verileri. <https://www.eticaret.gov.tr/dnnqthgzvawtdxraybsaacxtyawm/content/FileManager/Dosyalar/2021%20Y%C4%B1%C4%B1%20E-Ticaret%20B%C3%BCIten.pdf> (E.T.02.11.2022)

TOBB. (2022). Kurulan/Kapanan Şirket İstatistikleri. <https://www.tobb.org.tr/BilgiErisimMudurlugu/Sayfalar/KurulanKapananSirketistatistikleri.php> (E.T.02.11.2022)

TÜİK. (2022). Perakende Satış Endeksleri Ağustos 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Perakende-Satis-Endeksleri-Agustos-2022-45725> (E.T.06.11.2022)

GEMİ DİZEL MOTORLARINDA AMONYAK KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kubilay BAYRAMOĞLU¹

Öz: Dünyada taşımacılığın yaklaşık %90'ı deniz taşımacılığı ile sağlanmaktadır. Deniz taşımacılığı oranının bu denli yüksek olması, taşımacılıkta kullanılan deniz araçlarının en ekonomik şekilde sevk edilmelelerini zorunlu hale getirmektedir. Gemilerde kullanılan sevk sistemlerinin tahrik edilmesinde yüksek güç gereksinimlerini sağlayan ağır devirli iki zamanlı dizel motorlar kullanılmaktadır. Ancak bu motorlarda temel olarak dizel yakıt özellikle marine dizel yakıt kullanılmaktadır. Marine dizel yakıt temel olarak karbon, hidrojen ve sülfür atomlarından oluşmaktadır. Dolayısıyla gemi dizel motorlarında yanma sonucu temel olarak karbondioksit, su ve serbest azot atomları yanında NO_x ve SO_x gibi istenmeyen zararlı gazlar oluşmaktadır. Küresel ısınma ve sera etkisini azaltmak amacıyla uluslararası denizcilik örgütü (IMO) tarafından gemilerden kaynaklı emisyonları azaltmak için çeşitli düzenlemeler getirilmiştir. Bu çalışmada gemilerden kaynaklı emisyonların azaltılması amacıyla alternatif bir yakıt olan amonyağın gemi dizel motorlarında kullanılabilme potansiyeli incelenmiştir. Yapılan araştırmalar, bir yakıt olarak amonyağın temel yanma özellikleri ve geleneksel gemi yakıtları ile karşılaştırılması ile motor emisyon ve performansına etkisinin incelenmesini kapsamaktadır. Çalışma sonuçlarına göre bir yakıt olarak amonyağın iyi bir hidrojen taşıyıcısı olması, kolay depolanabilmesi ve taşınabilme özellikleri bakımından diğer yakıtlara karşı avantaj sağladığı belirlenmiştir. Ancak amonyağın alt ısı değerinin düşük olması nedeniyle birim kütle başına verebildiği enerji miktarı diğer yakıtlara oranla daha düşüktür. Bu durum amonyağın

1 Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Kdz. Ereğli, Zonguldak / Türkiye, e-mail: kubilay.bayramoglu@beun.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-5838-6132

alternatif yakıtlar ile karışım halinde kullanılmasına neden olmaktadır. Tutuşma gecikmesi, laminer alev hızı ve yanma odası basıncı gibi performans parametreleri incelendiğinde geleneksel yakıtlar ile amonyak karışımında amonyak miktarının artması tutuşma gecikme süresini arttırırken, laminer yanma hızı ve yanma odası maksimum basıncının azalmasına neden olmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresinin uzaması yanma odası yanma basıncı ve sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır. Azalan yanma odası basıncı motor gösterge efektif basıncı ve motor gücünün azalmasına bağlı performans kaybına neden olmaktadır. Ayrıca alternatif yakıtlara amonyak eklentisinin NO_x , HC ve CO emisyonlarını arttırdığı, CO_2 emisyonlarını ise azalttığı belirlenmiştir. HC ve CO emisyonlarının artması tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına bağlı yanma kalitesinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde NO_x emisyonları amonyak yapısında bulunan yakıt NO mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Amonyak yapısında karbon atomlarının bulunmaması, egzozda yaklaşık %10 seviyelerinde bulunan CO_2 emisyonlarının azalmasını da beraberinde getirmektedir. Bu çalışma sonucunda gemi dizel motorlarında yakıt olarak amonyak kullanımının performans ve emisyon açısından dizel motora etkisi geleneksel fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gemi Dizel Motoru, Amonyak Yanması, Emisyonlar, Dizel Motor Performans Parametreleri, IMO Düzenlemeleri

GİRİŞ

Küresel ısınma, günümüzde herkesi doğrudan ilgilendiren en önemli çevre sorunlarından biridir. Küresel ısınmanın hem insan toplulukları hem de doğal ekosistemler üzerindeki olası etkilerine azaltmak amacıyla farklı eylem planları yapılmaktadır. Günümüzde küresel ısınmanın temel sebepleri kömür, petrol, gaz gibi fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu oluşan zararlı gazlar, küresel ısınmanın temel nedenlerindedir. Fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu önemli miktarlarda metan, NO_x ve kloroflorokarbonlar ile her yıl yaklaşık 7 milyar ton karbonun CO_2 olarak atmosfere salınmaktadır (Houghton, 2005). CO_2 emisyonları günümüzde sera gazlarının %75'lik kısmını oluşturmakta olup, küresel ısınmanın ana sebebi olarak gösterilmektedir. Günümüzde okyanusların küresel ısınmanın yaklaşık %71'ini oluşturduğu, deniz taşımacılığının küresel alanın yaklaşık %71'ini oluşturduğunu ve bu sektörün CO_2

emisyonlarının yaklaşık %6'sını oluşturduğu bilinmektedir (Y. Wang ve diğerleri, 2022).

Karbon emisyonlarının oluşumundaki en önemli etken sanayileşme ve şehirleşmedir. Sanayi ve şehirleşme beraberinde enerji tüketimi ve sonucunda da çevresel problemleri beraberinde getirmektedir (Kou ve Xu, 2022). Dizel motorlardan kaynaklı çevreye salınan CO₂ emisyonlarının büyük bir bölümü gemi dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Gemi dizel motorlarından kaynaklı salınan CO₂ emisyonlarının azaltılması amacıyla farklı düzenlemeler getirilmiştir.

Temel düzenleme Enerji verimliliği Dizayn İndeks (EEDI) ile gemi dizel motorlarından kaynaklı emisyonların azaltılması 2050 yılına kadar aşamalı olarak azaltılması planlanmaktadır (Okubo ve Kuwahara, 2020; Smith ve diğerleri, 2015). Ayrıca hali hazırda işletilmekte olan gemilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarını azaltmak için Enerji verimliliği yönetim planı (SEEMP) de yürürlüğe girmiştir. Ayrıca işletilmekte olan bir geminin tasarım parametreleri dikkate alınarak taşımacılıkta kullanılan geminin CO₂ emisyonlarını ölçmek anlamıyla Enerji Verimliliği Mevcut İndeks (EEXI) kullanılmaktadır (Czermański ve diğerleri, 2022). Denizcilikte gemilerden kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla uygulanan sınırlamalar öncelikli bir alan haline geldi. Birleşmiş Milletler 'in uluslararası denizcilik kurumu olan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), 2018'de gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin bir başlangıç stratejisi benimsemiştir (IMO, 2020). İlk IMO Stratejisi, 2030 yılına kadar 2008 yılına kıyasla deniz taşımacılığında sefer başına karbondioksit (CO₂) emisyonlarını en az %40 oranında azaltmak ve uluslararası denizcilikten kaynaklanan toplam yıllık sera gazı (GHG) emisyonlarını 2050 yılına kadar en az %50 oranında azaltmaktır. 2008 ile karşılaştırıldığında. IMO'nun Deniz Çevresi Komitesi'nin (MEPC 76) 76. oturumu, Haziran 2021'de, İlk IMO Stratejisi (IMO) tarafından belirlenen karbon emisyonu hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunacak olan gemilerden kaynaklanan karbon emisyonlarını azaltmak için birkaç zorunlu önlemi kabul etti. Önlemlerden biri, her bir gemi için birim yük taşıma başına karbon emisyonlarını ölçen karbon yoğunluğu göstergesidir (CII).

Bir geminin bir yıl içindeki CII değeri ile IMO tarafından belirlenen referans CII değerleri karşılaştırıldığında, geminin performansı 'A' (majör üstün), 'B' (küçük üstün) ve 'C' (orta dereceli) olarak derecelendirilecektir. 'D' (küçük düşük) veya 'E' (düşük) CII notları gemilerin CO₂ emisyonlarını karşılama bakımından yetersiz olduğunu göstermektedir. IMO tarafından izin verilebilen karbon emisyon salım oranı için 'A', 'B' veya 'C' notu gereklidir ve ardışık üç yıl 'D' veya bir yıl boyunca 'E' alan gemiler için düzeltici önlemler alınmalıdır (S. Wang, Psaraftis ve Qi, 2021). Bunun yanında Paris iklim konferansında 2030 yılına kadar karbon emisyonlarının yaklaşık %65 oranında azaltılması amaçlanmaktadır (Agreement, 2015). Ayrıca Kyoto protokolü ile hem küresel ısınma hem de küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği konusunda mücadele edilmesi amaçlanmaktadır. Kyoto protokolü Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında imzalanmıştır. Kyoto protokolünün temel amacı, bu protokol imzalayan tüm ülkeler ile karbondioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salımını azaltmaktır. Ayrıca bu protokol ile sera etkisine neden olan karbon emisyonlarının salım miktarını 1990 yılındaki seviyelere indirmektir. Kyoto protokolü 1997 yılında imzalanmasına rağmen yeterli taraf devlet bulunmaması sebebiyle ancak 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu protokol toplam 160 ülke ve sera gazı salımını %55'inden fazlasını kapsamaktadır. Kyoto protokolü kapsamında atmosfere salınan sera gazı miktarının %5'e çekilmesi, sera gazlarının azaltılması için mevzuat düzenlenmesi, daha az enerji tüketiminin sağlanması için gerekli düzenlemelerin yapılması ve karbon emisyonlarının azaltılması için alternatif enerji kaynaklarının kullanılması gibi düzenlemeler amaçlanmıştır (Miyamoto ve Takeuchi, 2019).

Sera etkisine neden olan zararlı emisyonlardan bir diğeri de Azot Oksit (NO_x) emisyonlarıdır. NO_x emisyonları, yani nitrik oksit veya Azot Monoksit (NO), Azot Dioksit (NO₂), azot oksit (N₂O) ve bunların türevlerinden oluşmaktadır. NO_x emisyonları çok çeşitli sağlık ve çevresel etkilere yol açmaktadır. Nitrik oksit (NO), sudaki çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle solunum sisteminin tüm bölgelerine yayılır. Azot oksitler, Alveolar hücreler (epitel) ve akciğerlerin bitişik kılcal damarlarından yayılır ve Alveolar yapıları ve akciğerlerdeki işlevlerini

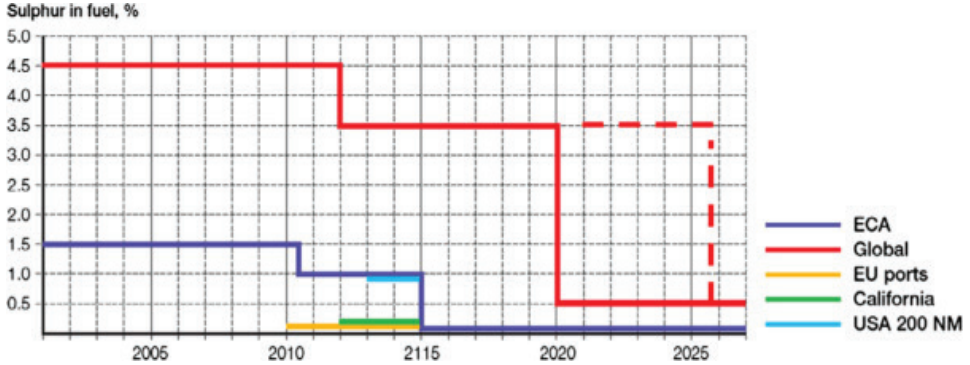
bozar (Boningari ve Smirniotis, 2016). Gemilerden kaynaklı NO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla yapılan ilk düzenlemeler MARPOL Ek VI kapsamında 1997 yılında yürürlüğe girmiştir (IMO, 2005). MARPOL Ek VI kapsamında yürürlüğe giren NO_x emisyonlarında Tier I, Tier II ve Tier III olmak üzere üç düzenleme getirilmiştir. Bunlardan İlki 1 Ocak 2000 tarihi itibari ile zorunlu hale getirilen Tier I düzenlemesidir. Tier I düzenlemesi ile gemi dizel motorlarından kaynaklı NO_x emisyonlarının 130 rpm den düşük ağır devirli motorlar için 17 g/kWh ile sınırlandırılması sağlanmıştır. Devamında 1 Ocak 2011 tarihinde ağır devirli gemi dizel motorları için NO_x emisyon kısıtlaması 14,4 g/kWh ile sınırlandırılmıştır. Son olarak ise 1 Ocak 2016 tarihinde ağır devirli gemi dizel motorları için NO_x emisyon sınırlandırması emisyon kontrol alanlarında, uygulamaya konulan Tier III sınırlamasıdır. Tier III sınırlaması ile getirilen NO_x emisyon kısıtlaması Tier II düzenlemesine oranla gemi dizel motorlarından kaynaklı NO_x emisyonlarının yaklaşık %76 oranında azaltılmasını amaçlamaktadır. Tablo 1. MARPOL Ek VI kapsamında yürürlüğe konulan NO_x emisyon sınırlamalarını göstermektedir (Bayramoğlu ve Özmen, 2021; Lehtoranta ve diğerleri, 2019; Ni, Wang ve Li, 2020; C. Wang, Corbett ve Firestone, 2008).

Tablo 1. MARPOL Ek VI NO_x Emisyon Sınırlaması

Tier	Tarih	NO_x Sınırlama, g/kWh		
		$v < 130$	$130 \leq v < 2000$	$v \geq 2000$
Tier I	2000	17,0	$45 v^{-0.2}$	9,8
Tier II	2011	14,4	$44 v^{-0.23}$	7,7
Tier III	2016	3,4	$9 v^{-0.2}$	1,96

İki zamanlı gemi dizel motorlarında kullanılan ağır yakıtlar SO_x emisyonlarının oluşumuna neden olmaktadır. Gemilerden kaynaklı SO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla NO_x ve CO_2 emisyonlarında olduğu gibi MARPOL EK VI kapsamında düzenlemeler getirilmiştir. Deniz Çevre Koruma Komitesi'nin (MEPC) Ekim 2016'daki 70. toplantısında IMO, egzoz gazlarındaki SO_x üst sınırını 2020 yılına kadar %3,5'ten %0,5'e düşürmek amacıyla düzenlemeler yürürlüğe koymuştur (Lähtenmäki-Uutela, Repka, Haukioja ve Pohjola, 2017; Lindstad, Rehn ve

Eskeland, 2017). MARPOL EK VI kapsamında Yürürlüğe konulan SO_x emisyon kısıtlaması Şekil 1’de sunulmuştur (Kim ve Seo, 2019).



Şekil 1. SO_x Sınırlamaları

Gemilerden kaynaklı SO_x emisyon azaltma sınırlamaları ilk olarak 2010 yılında globalde %4,5’den %3,5’e ve Emisyon kontrol alanlarında (ECA) ise %1,5’ten %1’e düşürülmüştür. Globalde ikinci düzenleme 2020 yılında %0,5 olarak belirlenmiş olup, ECA bölgesinde 2015 yılı itibarı ile %0,1 olarak uygulanmaktadır.

Yukarıda belirtilen düzenlemelerin karşılanması amacıyla fosil kaynaklı yakıtların yerine daha temiz alternatif yakıtların kullanılması gerekmektedir. Günümüzde fosil kaynaklı yakıtların yerine genel olarak rüzgar, dalga, güneş gibi alternatif enerji sistemlerinin kullanılması, ya da alternatif daha emisyon yayan alkol, biyodizel, hidrojen gibi alternatif yakıtların kullanılması önerilmektedir (Machaj ve diğerleri, 2022). Bu çalışmada, gemi dizel motorlarından kaynaklı belirtilen zararlı gazların azaltılması amacıyla amonyak kullanımının etkisi değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde amonyağın emisyon azaltılmasının yanı sıra motor performansına etkisi de araştırılan diğer konulardandır.

BİR YAKIT OLARAK AMONYAK

Kimyasal yakıtlar, uzun vadede de enerjinin depolanması, kolay taşınması ve güvenilir olması gelecek için umut vericidir. Günümüzde iklim değişikliği ve küresel ısınma ile sürdürülebilir yakıtların kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Amonyakın gemi dizel motorlarında

yakıt olarak kullanılması farklılık göstermektedir. Temel olarak amonyağın doğrudan kullanımı, metan, dizel gibi yakıtlarla katkı maddesi olarak kullanımı ve son olarak da hidrojen taşıyıcı olarak amonyak gemi dizel motorlarında kullanılmaktadır (Elishav ve diğerleri, 2020). Şekil 2. İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak amonyağın elde edilme ve kullanılma yöntemleri sunulmuştur. Ayrıca verilen tabloda amonyak yakıtın diğer alternatif yakıtlara göre kullanılma sebepleri de sunulmuştur.

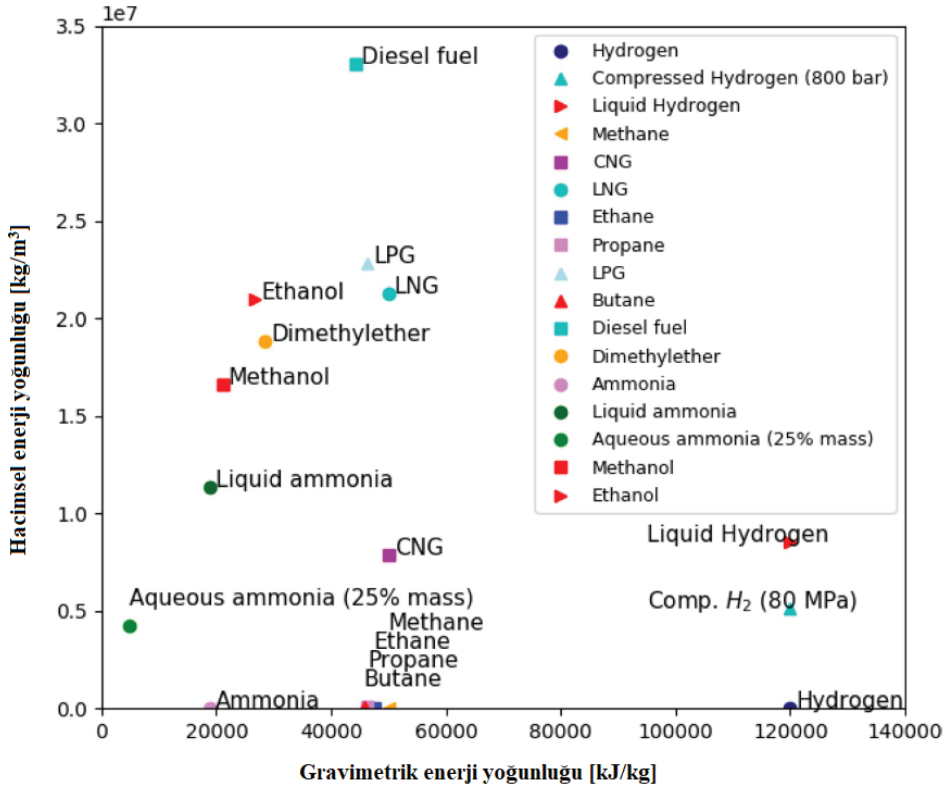


Şekil 2. Amonyakın Özellikleri

Amonyakın içten yanmalı motorlarda kullanım özellikleri yanma, üretim, dağıtım, maliyet, depolama ve hidrojen taşıma özelliği olarak sınıflandırılmaktadır. Amonyakın temel olarak yakıt olarak kullanılması iyi bir hidrojen taşıyıcısı olma özelliğinden dolayıdır. Hidrojen ile karşılaştırıldığında %33 daha yoğun olması, sıvı amonyak bir metreküpünde 106 kg-H₂/m³ hidrojen içermesi ve sıvılaştırma ile bu oranın yaklaşık 71 kg-H₂/m³ seviyelerine kadar inmesi iyi bir hidrojen taşıyıcı olduğunu göstermektedir. Amonyakın yanma özelliklerinden en önemlisi

bileşiminde karbon atomu içermemesi nedeniyle CO₂ emisyonlarının oluşumuna neden olmaz. Ancak buharlaşma alt ısı değeri ve otomatik ateşleme sıcaklığının yüksek olması amonyağın yakıt olarak kullanılmasındaki en büyük güçlüklerdir (Lhuillier, Brequigny, Contino ve Mounaïm-Rousselle, 2020). Amonyağın yakıt olarak üretilmesi sentetik yollarla da sağlanmaktadır. Bu prosesler sırasında karbon emisyonlarının yayılımı da engellenmiştir. Günümüzde alternatif yakıtların kullanılması önündeki en önemli engellerden biri de depolanabilmesidir. Amonyak hidrojen ile karşılaştırıldığında depolama ve aktarımı daha kolaydır. 1.1 MPa ve 300 K sıcaklıklarda sıvılaştırılabilmesi bakımından içten yanmalı motorlarda kullanımı da kolaydır (Chiong ve diğerleri, 2021). Ayrıca Amonyak maliyet bakımından diğer yakıtlara göre tercih edilebilir durumdadır. Özellikle benzin ile rekabet edebilir bir maliyete sahiptir. Amonyağın sentetik yolla elde edilmesi reformer ile sağlanmaktadır. Amonyak elde etmede kullanılan katalizörler düşük sıcaklık koşullarında ya da katalizör kullanmadan reformer aracılığı ile gerçekleştirilmektedir.

Amonyağın gemilerde kullanılan diğer yakıtlar ile hacimsel ve ağırlıklı enerji yoğunlukları Şekil 3'te verilmiştir (Schönborn, 2021).



Şekil 3. Gemi Dizel Motorlarında Kullanılan Alternatif Yakıtların Enerji Yoğunlukları

Gemi dizel motorlarında kullanılan yakıtlar içerisinde hacimsel enerji yoğunluğu en yüksek olan yakıt dizel yakıt olarak görülmektedir. Bu durumun en büyük sebebi dizel yakıt atom ağırlığının en yüksek olmasıdır. Aynı şekilde ağırlıklı enerji yoğunluğu en fazla olan yakıt ise hidrojenidir. Hidrojen birim hacim başına en yüksek ağırlığa sahip olan elementtir.

Amonyak genel olarak havada doğal amonyum tuzları olarak bulunan en saf haliyle renksiz ve keskin kokuya sahiptir. Amonyak yakıt olarak temelde metreküp başına 107 kg hidrojene denk olup, düşük donma noktası nedeniyle soğuk bölgelerde yakıt olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Yakıtların damlacık çapı ve yanma odasındaki dağılımı

yakıtın vizkozitesiyle doğrudan ilgili bir parametredir. Bir yakıt olarak amonyağın düşük vizkozitesi, yakıt püskürtme sırasında yakıt atomizasyonunu ve damlacık oluşumuna yardımcı olmaktadır. Ayrıca buhar basıncının LPG ile hemen hemen aynı olması daha kolay depolanmasına neden olmaktadır. Ayrıca amonyağın içten yanmalı motorlarda kullanılması yüksek setan sayısından dolayı vuruşu oluşumunu azaltmaktadır. Dolayısıyla amonyağın yüksek sıkıştırma oranına sahip motorlarda kullanılması vuruşu riskini azaltmaktadır (Fenghour ve diğerleri, 1995; Frigo ve Gentili, 2013). Ancak amonyağın içten yanmalı motorlarda kullanılmasının dezavantajlarından bazıları ise düşük alev sıcaklığı, düşük laminer yanma hızı, yüksek ateşleme enerjisi ve dar alevlenebilme sınırlarıdır (Duynslaegher, Jeanmart ve Vandooren, 2010). Amonyacağın yanma özelliklerinin diğer yakıtlar ile karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmiştir (Kurien ve Mittal, 2022) .

Tablo 1. Yakıtların Özellikleri

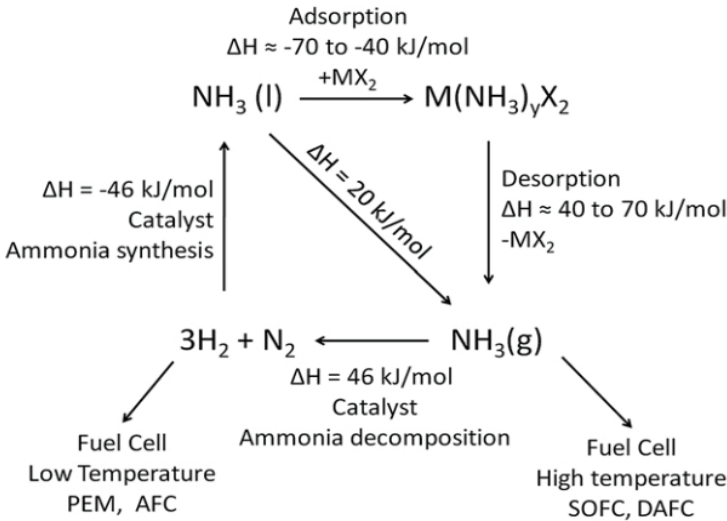
Özellik	Birim	Amonyak	Hidrojen	Benzin	Dizel
LHV	Mj/kg	18,8	120	44,5	45
Ateşlenebilme sınırı	%	15-28	4,7-75	0,6-8	1-6
Laminer alev hızı	m/s	0,015	3,51	0,58	0,86
Otomatik ateşleme sıcaklığı	°K	930	850	503	558
Hacimsel enerji yoğunluğu	GJ/m ³	11,3	36,4	33	36,4
Yoğunluk	Kg/m ³	0,703	0,082	740	849
Denklik oranı		6,04	34,3	14,5	14,5
Adyabatik alev sıcaklığı	°C	1800	21110	2138	2300

Amonyacağın temel yanma özellikleri alternatif yakıtlar ile karşılaştırıldığında alt ısıl değeri ve laminer alev hızının diğer yakıtlara oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak amonyağın yakıt olarak kullanılmasının en temel nedenlerinden biri yapısında karbon atomu taşımaması ve iyi bir hidrojen taşıma özelliğine sahip olmasıdır. Bunun yanında amonyak yakıt olarak doğrudan içten yanmalı motorlarda kullanıldığı gibi karışım halinde de kullanılabilir. Dizel motorlarda dizel yakıt ile düşük kendiliğinden tutuşma ve yüksek alev hızı nede-

niyle yanmayı hızlandırıcı yakıt olarak da kullanılmaktadır (Mittal, Donahue, Winnie ve Gillette, 2015). Ayrıca vurgulanması gereken bir diğer konuda yakıt olarak amonyağın yüksek sıkıştırma oranlarında yanmasıdır. Yapılan çalışmalarda amonyağın saf olarak yakılması için gerekli sıkıştırma oranının, çift yakıtlı kullanım moduna göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Kurien ve Mittal, 2022).

Günümüzde hidrojenin enerji potansiyelinin yüksek olması içten yanmalı motorlarda sürdürülebilir bir yakıt olarak tercih edilmesini de beraberinde getirmektedir. Hidrojenin bir yakıt olarak kullanılmasının temel sebebi hem tutuşma gecikmesinin düşük olması hem de yüksek ısı değerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca yapısında karbon atomu içermemesi karbon emisyonlarının oluşmamasını da beraberinde getirmektedir. Ancak hidrojen doğada serbest halde bulunmamaktadır. Farklı kaynaklardan farklı yöntemler ile elde edilmektedir. Amonyak yapısında azot ve hidrojen atomları taşımamasından dolayı iyi bir hidrojen taşıyıcı olarak karşımıza çıkmaktadır (Yip ve diğerleri, 2019).

Amonyakın hidrojen taşıyıcı olmasının birçok avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi ise amonyağın üretim ve nakliye teknolojilerinin gelişmiş olması ve endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmasıdır. Şekil 4 amonyağın parçalanma reaksiyonlarını ifade etmektedir.



Şekil 4. Hidrojen Depolamanın Yaşam Döngüsü

Burada da belirtildiği üzere amonyağın yapısında hidrojen ve azot atomlarının bulunması amonyağın yakıt olarak kullanılmasını mümkün hale getirmektedir. Amonyakın bozunumu sırasında oluşan hidrojen düşük sıcaklık yakıt pillerinde özellikle PEM ve AFC tipi yakıt pillerinde, amonyak ise SOFC ve DAFC gibi yüksek sıcaklık yakıt pillerinde kullanılmaktadır.

Haber-Bosch sürecinde amonyak sentezi, dünyanın en büyük ve en iyi çalışılan kimyasal süreçleri arasındadır. Günümüzde yıllık amonyak üretimi 120 milyon tonu aşmaktadır. Amonyak oluşumu için sentez reaksiyonu yaklaşık 300 ile 550 ° C sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Bu sıcaklıkta katalizörlerin çalışması üretim etkinliğinin artmasını sağlamaktadır. Düşük sıcaklık koşullarında çalışan katalizörler düşük maliyetler ile gerçekleştiğinden dolayı amonyak üretim maliyetleri düşmektedir (Klerke, Christensen, Nørskov ve Vegge, 2008).

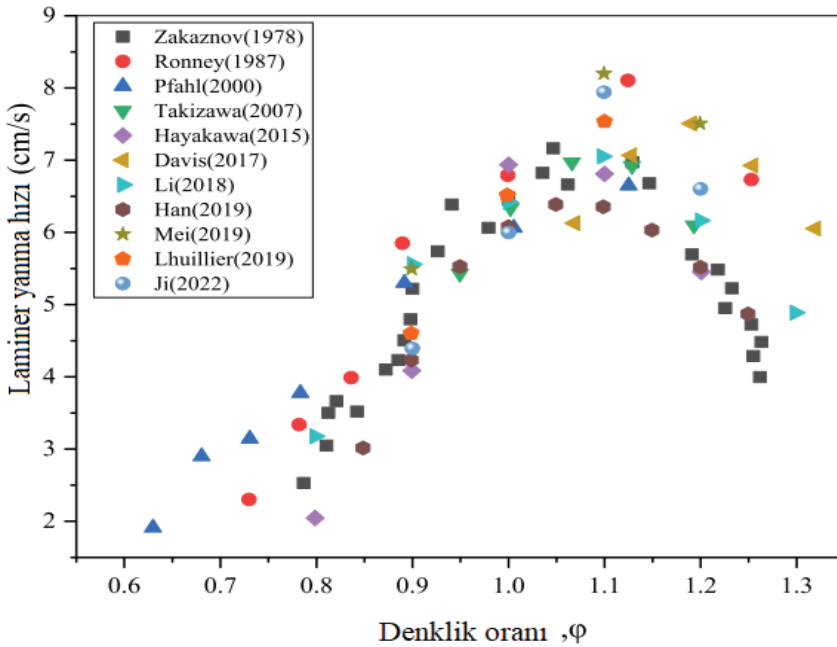
AMONYAĞIN MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dizel motorlarda yakıt olarak amonyağın kullanılması, hidrokarbon kaynaklı yakıtlara oranla düşük yakıt reaktivitesi göstermektedir. Bu durumun en önemli nedeni yüksek oktan sayısı ve düşük alev hızlarına neden olmasıdır. Amonyakın saf halde dizel motorlarda kullanılması motor performansının azalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda amonyak yakıt katkısı olarak kullanılmaktadır. En çok amonyak ile karışım halinde bulunan yakıtlar doğalgaz, amonyak ve hidrojen (Zhong, Zeng ve Zhang, 2022).

Yanma proseslerinde yanma hızının belirlenmesi, yakıcıların optimal tasarımını ve yanma performansını analiz ve tahmin etmede kullanılan en önemli göstergelerden biridir. Laminer yanma hızı, yakıcıların optimal tasarımını yönlendirmek için önemli olan yakıcıların yanma performansını analiz etmek ve tahmin etmek için kullanılabilir. Temel araştırma perspektifinden bakıldığında, laminer yanma hızı, yanma sürecindeki kimyasal reaksiyon mekanizmasını doğrulamak için kullanılan önemli bir parametredir ve önceden karıştırılmış yanmanın sağlam bir matematiksel modelinin oluşturulması için önemli bir temeldir ve

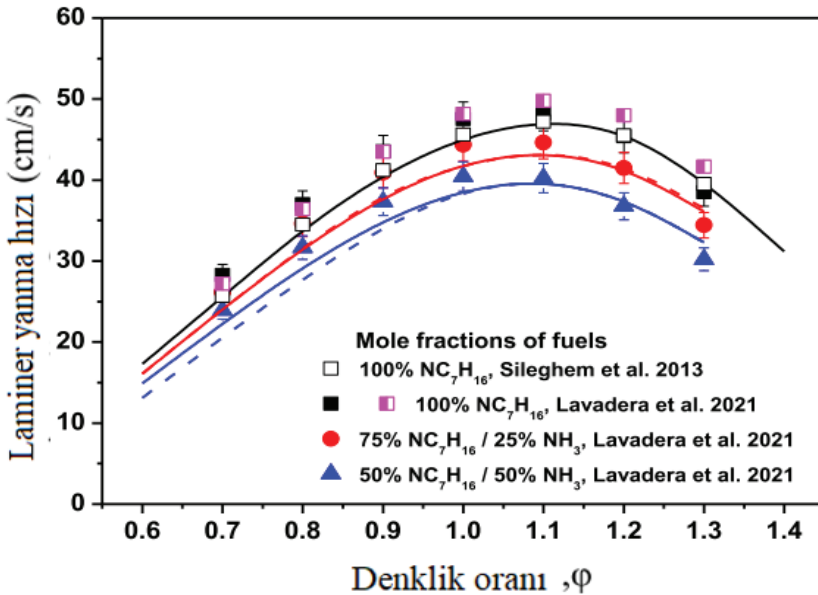
aynı zamanda simülasyon hesaplamaları için temel yanma verileri sağlar. Mühendislik açısından bakıldığında, laminer yanma hızı, yanma sisteminin genel verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür ve yanma sürecinin teorik tahmini ve yanma ürünü üretim mekanizması üzerine araştırmalar için önemli bir temeldir. Bu nedenle, önceden karıştırılmış laminer yanma hızının araştırılması büyük önem taşımaktadır (Kang, Pan, Zhang, Wang ve Tang, 2023).

Amonyak-hava yanma hızının belirlenmesi sayısal yanma analizleri ile gerçekleşmektedir. yapılan çalışmalarda literatürde denklik oranı ile laminer yanma hızı arasındaki ilişki farklı çalışmalara göre Şekil 5'te ifade edilmiştir (Davis, Pagliaro, Debold, van Wingerden ve van Wingerden, 2017; Han ve diğerleri, 2019; Hayakawa ve diğerleri, 2015; Ji ve diğerleri, 2022; Kang ve diğerleri, 2023; Lhuillier ve diğerleri, 2020; Li, Bi, Li ve Gao, 2018; Mei ve diğerleri, 2019; Pfahl, Ross, Shepherd, Pasamehmetoglu ve Unal, 2000; Ronney, 1988; Takizawa, Takahashi, Tokuhashi, Kondo ve Sekiya, 2008; Zakaznov, Kursheva ve Fedina, 1978).



Şekil 5. Laminer Yanma Hızı

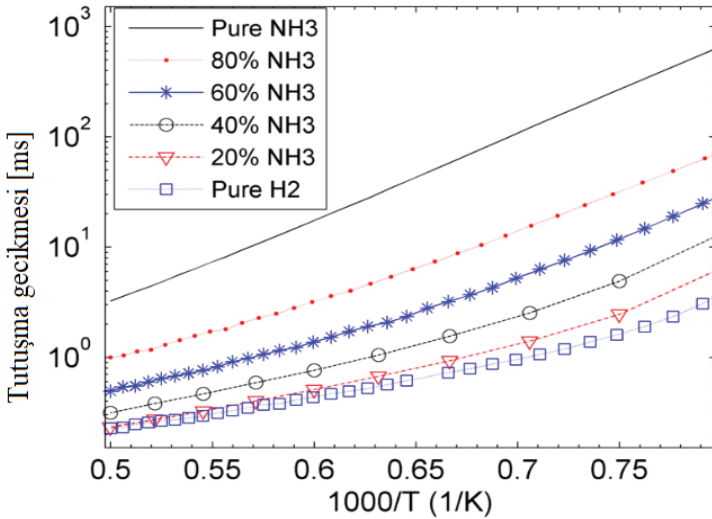
Geleneksel yakıtlar ile amonyakın karışımının laminer yanma hızına etkisini değerlendirmek amacıyla farklı çalışmalar kullanılmıştır. Farklı denklik oranlarında dizel yakıt olarak n-heptan ve amonyak karışımının laminer alev hızına etkisi Zhong ve diğerleri, (2022) tarafından incelenmiştir. Şekil 6 Farklı denklik oranlarında amonyak-n-heptan karışımının laminer alev hızına etkisini göstermektedir (Lavadera, Han ve Konnov, 2021; Sileghem ve diğerleri, 2013). Elde edilen bulgular artan amonyak oranının yanma proseslerinde laminer alev hızını azalttığını göstermektedir.



Şekil 6. n-heptan-Amonyak Karışımının Laminer Yanma Hızına Etkisi

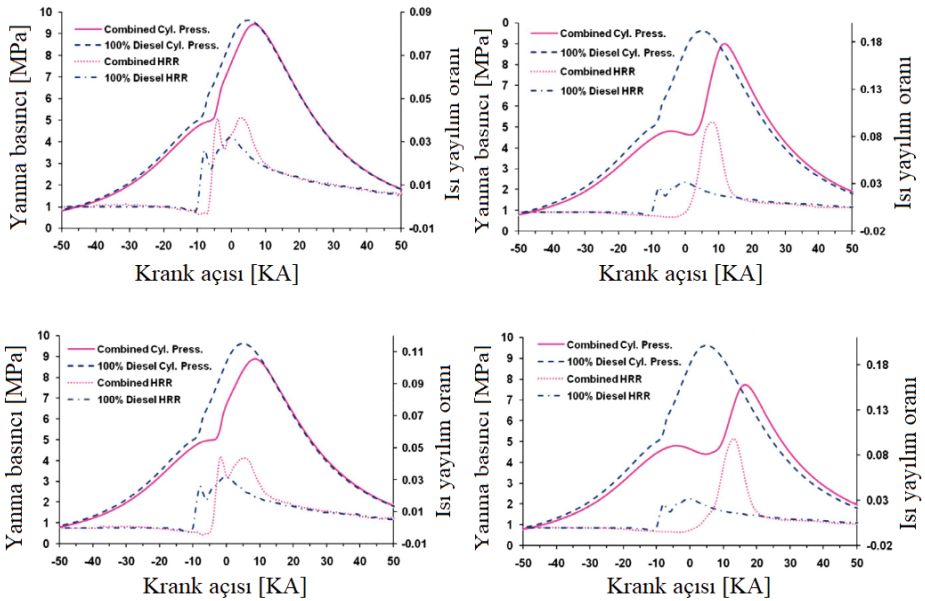
İçten yanmalı motorlarda sıkıştırma sonucu elde edilen yüksek basınç ve sıcaklık değerleri uygun püskürtme açısında püskürtülmekte ve yanma gerçekleşmektedir. İçten yanmalı motorlarda yanma dizel yakıtın yanma odasına hemen püskürtülmesi ile gerçekleşmez. Püskürtme zamanı ile yanma prosesi arasında geçen zamana tutuşma gecikmesi adı verilmektedir. Tutuşma gecikmesinin az olması amacıyla yakıt püskürtme zamanlamasının iyi yapılması gerekmektedir (Bayramoğlu ve

Nuran, 2020). Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda tutuşma gecikmesinin optimize edilmesi motor performansı için en önemli parametrelerden biridir. Farklı yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanılması tutuşma gecikmesini etkilemektedir. Bir yakıt olarak dizel ile amonyağın kullanılmasının tutuşma gecikmesine etkisini araştırmak amacıyla farklı çalışmalar yapılmıştır. Reiter ve Kong, (2011) tarafından yapılan çalışmada iki farklı düzenek hazırlanmıştır. Bunlarda ilki %5 dizel ve %15 amonyaktan oluşmakta, ikincisi ise %5 dizel ve %55 amonyaktan oluşmaktadır. Saf dizel yakıt yanması ile karşılaştırıldığında amonyak eklentisinin tutuşma gecikmesini arttırdığı belirlenmiştir. Aynı şekilde Gross ve Kong, (2013) tarafından yapılan çalışmada da %20 amonyak ve %80 DME (dimetil eter) ile %40 amonyak ve %60 DME karışımı karşılaştırmalı olarak incelenmiş amonyak miktarı fazla olan karışımda tutuşma gecikmesi süresinin arttığı belirlenmiştir. Hidrojen ve amonyağın tutuşma gecikmeleri karşılaştırıldığında saf amonyak yanması sonucu tutuşma gecikme süresinin en yüksek saf hidrojen yanması sonucu tutuşma gecikmesi süresinin de en az olduğu belirlenmiştir. Şekil 7 farklı oranlarda amonyak yanmasının tutuşma gecikmesine etkisini göstermektedir (Nozari, 2017).



Şekil 7. Farklı Oranlarda Amonyak Yanmasının Tutuşma Gecikmesine Etkisi

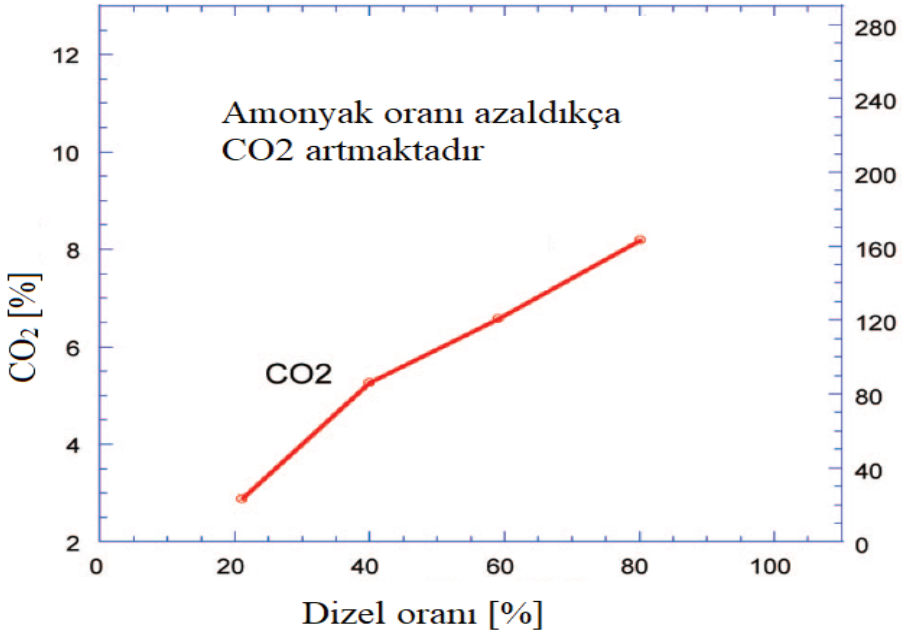
Dizel motorlarda performansın belirlenmesinde kullanılan en önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve basıncıdır. Dizel motorlarda amonyakın yakıt olarak kullanılmasının motor yanma odası basıncı ve sıcaklığına etkisini araştırmak için farklı çalışmalar yapılmıştır. Yanma odası basıncı dizel motorlarda güç parametresinin belirlenmesinde kullanılan temel parametredir. Gross ve Kong, (2013) tarafından yapılan çalışmada sıkıştırma ateşlemeli bir motorda dimetil-eter (DME) amonyak karışımının motor performansına etkisini değerlendirmek amacıyla yanma odası basıncını farklı yakıt miktarları için belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalarda %100 DME, %20 NH₃-%80 DME ve %40 NH₃-%60 DME yakıtlarından oluşmaktadır. Artan amonyak miktarı ile yanma odası basıncının azaldığı belirlenmiştir. Reiter ve Kong, (2011) tarafından yapılan çalışmalarda farklı oranlarda dizel-amonyak yakıt karışımının motor yanma odası basıncına etkisi değerlendirilmiştir. %100 dizel, %20, %40, %60 ve %80 amonyak oranlarında motor yanma odası basıncı karşılaştırıldığında %100 dizel kullanımı sonucu elde edilen basıncın amonyak eklentisi ile azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 8. Yanma Odası Basıncı (Reiter Ve Kong, 2011)

AMONYAĞIN EGZOZ EMİSYONLARA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

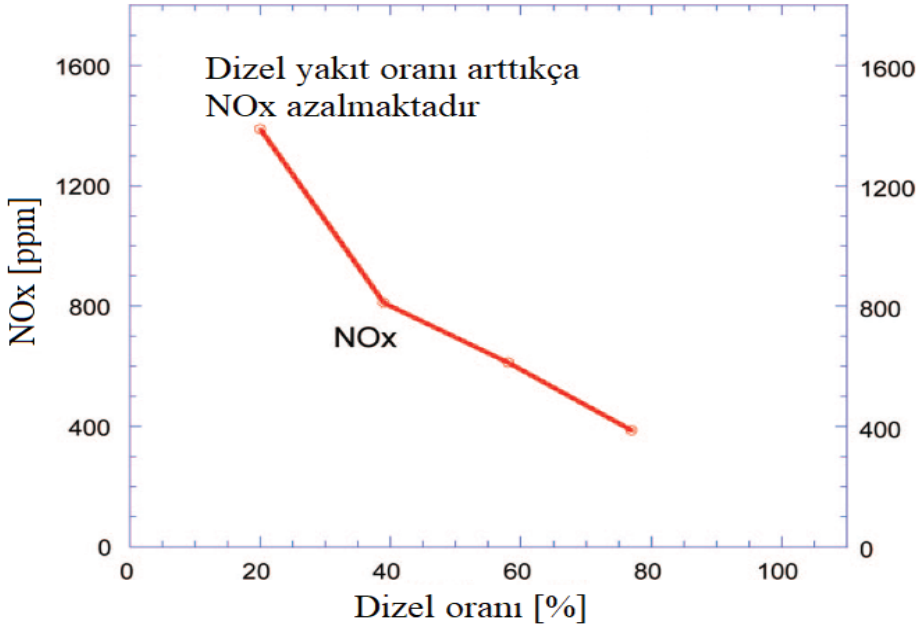
Yenilenebilir bir yakıt olarak amonyak, belirsiz arz ve dalgalanan talep arasındaki farkları karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Amonyakın yakıt olarak kullanılmasındaki temel motivasyon karbonsuz bir yakıt olmasından kaynaklanmaktadır. Amonyak hidrojen ile karşılaştırıldığında emisyonları azaltmasına rağmen motor performansında düşümlere neden olmaktadır (Pugh ve diğeri, 2021). Şekil 9. İçten yanmalı motorlarda farklı oranlarda dizel amonyak karışımının CO₂ emisyonlarına etkisini göstermektedir (Reiter ve Kong, 2008).



Şekil 9. Dizel Motorlarda Farklı Oranlarda Dizel-Amonyak Karışımının CO₂ Emisyonlarına Etkisi

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu oluşan bir diğeri önemli sera etkisine neden olan emisyon NO_x emisyonlarıdır. NO_x emisyonlarının temel kaynağı yanma proseslerinin gerçekleşmesinde olmazsa olmaz bileşen olan havadır. Havadaki azot ve oksijenin Zeldovic me-

kanizmasına göre yüksek yanma odası sıcaklıklarında birleşmesi sonucu oluşan NO_x emisyonlarının azaltılmasında kullanılan temel yöntem yanma odası sıcaklığının homojen olarak dağılımının sağlanması ya da yanma odası sıcaklığının düşürülmesidir (Zeldovich, 1946). Şekil 10 dizel amonyak karışımının NO_x emisyonlarına etkisini göstermektedir.

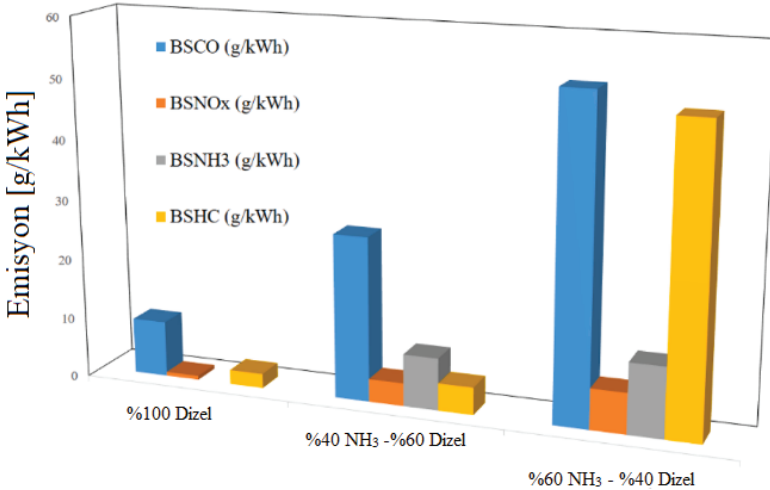


Şekil 10. Dizel Motorlarda Farklı Oranlarda Dizel-Amonyak Karışımının NO_x Emisyonlarına Etkisi

Ancak Zeldovic mekanizması yanında yakıt NO oluşum mekanizması da yakıtın bileşimindeki azottan kaynaklı oluşmaktadır. Amonyakın içten yanmalı motorlarda kullanılması sonucu yapıdaki azot bileşenlerinin oksijen ile buluşması sonucu NO_x emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun oluşmasının temel nedeni amonyak bileşimindeki atomik bağların daha zayıf olmasından kaynaklanmaktadır (Bayramoğlu, 2022). Dolayısıyla amonyağın yakıt olarak kullanılması sonucu NO_x emisyonlarının arttığı yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen bulgulardandır (Gross ve Kong, 2013; Herbinet, Bartocci ve Grinberg Dana, 2022; Reiter ve Kong, 2008, 2011).

İçten yanmalı motorlarda HC emisyonlarının oluşumunun temel sebebi yanma verimliliğinin düşük olmasıdır. Özellikle erken ya da geç yakıt püskürtülmesi gibi yanmanın tam gerçekleşmediği durumlarda yakıtın bir kısmı yanmadan dışarı atılmakta ve istenmeyen hidrokarbon emisyonlarının oluşumunu sağlamaktadır (Bayramoğlu ve Nuran, 2020; Bayramoğlu, Yılmaz ve Kaya, 2019). Ayrıca tutuşma gecikmesinin az olması ya da yanma odası sıcaklıklarının düşük olması da yanmamış hidrokarbon miktarını arttırmaktadır (Kurien ve Mittal, 2022; Ryu, Zacharakis-Jutz ve Kong, 2014). Amonyakın yakıt olarak kullanılması yanma odası sıcaklığını azaltmakta ve yakıtın tutuşma gecikmesi süresini arttırmasından dolayı HC emisyonlarının artmasını da beraberinde getirmektedir. Şekil 11 dizel amonyak yakıt karışımının HC emisyonlarına etkisini göstermektedir.

Aynı şekilde CO emisyonlarının da yakıt tutuşma gecikme süresinin artması ve düşük yanma odası sıcaklığı ile arttığı yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulardandır (Kurien ve Mittal, 2022; Şahin, Ziya Akcanca ve Durgun, 2018; Y. Wang, Zhou ve Liu, 2021). Şekil 11 dizel amonyak yakıt karışımının CO, NO_x, NH₃ ve HC emisyonlarına etkisini göstermektedir.



Şekil 11. Dizel Motorlarda Farklı Oranlarda Dizel-Amonyak Karışımının CO, NO_x, NH₃ ve HC Emisyonlarına Etkisi

SONUÇ

Gemilerden kaynaklı emisyonların azaltılması ve IMO tarafından getirilen düzenlemelerin sağlanması amacıyla gemi dizel motoru üzerinde farklı teknikler uygulanmaktadır. Bu tekniklerden ilki motor parametreleri üzerinde yapılan püskürtme zamanlaması, basıncı gibi motor yanma parametrelerinin değiştirilmesi, İkincisi, egzoz sisteminden çeşitli kimyasal teknikler ile emisyonların azaltılması ve son emisyon azaltma tekniği farklı alternatif yakıtların ya da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır.

Bu çalışmada bir yakıt olarak amonyağın gemi dizel motorlarında kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan incelemeler temel olarak gemi dizel motorlarından kaynaklı emisyonların azaltılması amacıyla IMO tarafından getirilen yenilikleri içermektedir. Sonrasında çalışma kapsamında amonyak yakıt özellikleri, motor yanma performansına ve emisyonlarına etkisi değerlendirilmiş ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Gemi dizel motorlarında amonyağın iyi bir hidrojen taşıyıcı olması en çok tercih edilme sebeplerindedir. Hidrojen doğada tek başına bulunmayan birim kütle başına en yüksek enerji verme potansiyeline sahip, gelecekte kullanılması en muhtemel yakıtlardan biridir. Ayrıca depolama ve transferinin kolay olması yapılan incelemelerde amonyağın tercih edilmesini sağlamaktadır. Ancak alternatif yakıtlar ile karşılaştırıldığında amonyağın alt ısı değerinin düşük ve otomatik tutuşma sıcaklığının yüksek olması amonyağın temel dezavantajlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Amonyak, düşük enerji değerine sahip olması ve otomatik tutuşma sıcaklığının yüksek olması yüzünden tek başına yakıt olarak kullanılmamaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda geleneksel yakıtlara katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Temel olarak amonyağın farklı hava denklik oranlarında laminer yanma hızı incelendiğinde, hava denklik oranı 1 için laminer yanma hızının diğer durumlara oranla en yüksek olduğu belirlenmiştir. alternatif yakıtlar ile amonyak karışımı sonucunda artan amonyak karışımına karşılık laminer yanma hızının azaldığı belirlenmiştir. Tutuşma gecikmesi yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile

yanması arasında geçen süreyi ifade etmektedir. Artan amonyak ilavesi ile tutuşma gecikmesi süresinin uzadığı belirlenmiştir. Bu durumda yanma performansını olumsuz etkilemektedir. Aynı şekilde içten yanmalı motorlarda gücün en önemli göstergelerinden biri yanma odası basınç değeridir. Artan amonyak miktarı ile yanma odası basıncının düştüğü belirlenmiştir. Yanma odası basınç değeri motorun performansını belirleyen iki temel parametrenin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu parametreler yanma odası efektif basıncı ve güçtür. Dolayısıyla yanma odası basıncının düşmesi motor gücünün de azalmasını beraberinde getirmektedir.

- Amonyakın gemi dizel motorlarında kullanılmasının temel nedeni IMO tarafından karbon emisyonlarına getirilen sınırlamalardır. Amonyakın yapısında karbon atomunun olmaması CO₂ emisyonlarının doğrudan azalmasına neden olmaktadır. Ancak tutuşma gecikme süresinin yüksek olması yanma performansını ve yanma verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Yanma performansının azalması CO ve HC emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır. Geleneksel yakıtlar ile amonyak karışımı yakıtlarda amonyak miktarının artması CO ve HC emisyonlarının da artmasını beraberinde getirmektedir. NO_x emisyonlarının amonyak eklentisi ile değişimi incelendiğinde, amonyak miktarının artması yakıt içerisinde NO_x emisyonlarının artmasını da beraberinde getirmektedir. Bu durumun temel nedeni NO_x oluşum mekanizmalarından doğrudan yakıt-NO mekanizması ile ilgilidir. Amonyak yapısındaki zayıf bağlardan dolayı yanma odasında kopan azot ile oksijen yüksek sıcaklık ile birleşerek NO_x emisyonu olarak atmosfere atılmaktadır.

Amonyakın dizel motorlarda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin değerlendirilmesi amacıyla farklı kinetik indirgeme mekanizmaları ile sayısal çalışmalar yapılabilir. Gemi dizel motorlarında amonyak kullanımının deneysel ve sayısal olarak incelenmesinin en önemli nedeni IMO tarafından getirilen CII, EEDI ve EEXI gibi sınırlamaların karşılanabilirliğinin belirlenmesidir. Ayrıca sentetik bir yakıt olan amonyakın elde edilmesinde kullanılan kimyasal süreçlerinde yapılan çalışmalar ile desteklenmesi ve geliştirilmesi sürdürülebilirlik açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Agreement, P. (2015). Paris agreement. Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris). Retrived December içinde (C. 4, s. 2017).

Bayramoğlu, K. (2022). Gemi Dizel Motorlarında Kullanılan Seçici Katalitik İndirgeme Sistemlerinin Tasarım ve Performans Açısından İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi.

Bayramoğlu, K. ve Nuran, M. (2020). Analyzing the Effect of Fuel Injection Timing and Injection Duration on Performance and Emissions in Diesel Engines. *Journal of ETA Maritime Science*, 8(1), 38–52. doi:10.5505/jems.2020.99705

Bayramoğlu, K. ve Özmen, G. (2021). Design and performance evaluation of low-speed marine diesel engine selective catalytic reduction system. *Process Safety and Environmental Protection*, 155(2), 184–196. doi:10.1016/j.psep.2021.09.010

Bayramoğlu, K., Yılmaz, S. ve Kaya, K. D. (2019). Numerical investigation of valve lifts effects on performance and emissions in diesel engine. *International Journal of Global Warming*, 18(3–4), 287–303. doi:10.1504/IJGW.2019.101088

Boningari, T. ve Smirniotis, P. G. (2016). Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NOx abatement. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 13(x), 133–141. doi:10.1016/j.coche.2016.09.004

Chiong, M. C., Chong, C. T., Ng, J. H., Mashruk, S., Chong, W. W. F., Samiran, N. A., ... Valera-Medina, A. (2021). Advancements of combustion technologies in the ammonia-fuelled engines. *Energy Conversion and Management*, 244, 114460. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2021.114460

Czermański, E., Oniszczyk-Jastrzębek, A., Spangenberg, E. F., Kozłowski, Ł., Adamowicz, M., Jankiewicz, J. ve Cirella, G. T. (2022). Implementation of the Energy Efficiency Existing Ship Index: An important but costly step towards ocean protection. *Marine Policy*, 145(August). doi:10.1016/j.marpol.2022.105259

Davis, S. G., Pagliaro, J. L., Debold, T. F., van Wingerden, M. ve van Wingerden, K. (2017). Flammability and explosion characteristics of mildly flammable refrigerants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49, 662–674. doi:https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.05.019

Duynslaegher, C., Jeanmart, H. ve Vandooren, J. (2010). Ammonia combustion at elevated pressure and temperature conditions. *Fuel*, 89(11), 3540–3545. doi:10.1016/j.fuel.2010.06.008

Elishav, O., Mosevitzky Lis, B., Miller, E. M., Arent, D. J., Valera-Medina, A., Grinberg Dana, A., ... Grader, G. S. (2020). Progress and Prospective

of Nitrogen-Based Alternative Fuels. *Chemical Reviews*, 120(12), 5352–5436. doi:10.1021/acs.chemrev.9b00538

Fenghour, A., Wakeham, W. A., Vesovic, V., Watson, J. T. R., Millat, J. ve Vogel, E. (1995). The Viscosity of Ammonia. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 24(5), 1649–1667. doi:10.1063/1.555961

Friigo, S. ve Gentili, R. (2013). Analysis of the behaviour of a 4-stroke Si engine fuelled with ammonia and hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(3), 1607–1615. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.10.114

Gross, C. W. ve Kong, S. C. (2013). Performance characteristics of a compression-ignition engine using direct-injection ammonia-DME mixtures. *Fuel*, 103, 1069–1079. doi:10.1016/j.fuel.2012.08.026

Han, X., Wang, Z., Costa, M., Sun, Z., He, Y. ve Cen, K. (2019). Experimental and kinetic modeling study of laminar burning velocities of NH₃/air, NH₃/H₂/air, NH₃/CO/air and NH₃/CH₄/air premixed flames. *Combustion and Flame*, 206, 214–226. doi:https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.05.003

Hayakawa, A., Goto, T., Mimoto, R., Arakawa, Y., Kudo, T. ve Kobayashi, H. (2015). Laminar burning velocity and Markstein length of ammonia/air premixed flames at various pressures. *Fuel*, 159, 98–106. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.070

Herbinet, O., Bartocci, P. ve Grinberg Dana, A. (2022). On the use of ammonia as a fuel – A perspective. *Fuel Communications*, 11(March), 100064. doi:10.1016/j.jfueco.2022.100064

Houghton, J. (2005). Global warming. *Reports on Progress in Physics*, 68(6), 1343–1403. doi:10.1088/0034-4885/68/6/R02

IMO. (2005). MARPOL -International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (9. bs.).

IMO. (2020). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships.

Ji, C., Wang, Z., Wang, D., Hou, R., Zhang, T. ve Wang, S. (2022). Experimental and numerical study on premixed partially dissociated ammonia mixtures. Part I: Laminar burning velocity of NH₃/H₂/N₂/air mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(6), 4171–4184. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.269

Kang, L., Pan, W., Zhang, J., Wang, W. ve Tang, C. (2023). A review on ammonia blends combustion for industrial applications. *Fuel*, 332(P2), 126150. doi:10.1016/j.fuel.2022.126150

Kim, A. R. ve Seo, Y. J. (2019). The reduction of SOx emissions in the shipping industry: The case of Korean companies. *Marine Policy*, 100(November 2018), 98–106. doi:10.1016/j.marpol.2018.11.024

Klerke, A., Christensen, C. H., Nørskov, J. K. ve Vegge, T. (2008). Ammonia for hydrogen storage: Challenges and opportunities. *Journal of Materials Chemistry*, 18(20), 2304–2310. doi:10.1039/b720020j

Kou, J. ve Xu, X. (2022). Does internet infrastructure improve or reduce carbon emission performance? –A dual perspective based on local government intervention and market segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 379(P2), 134789. doi:10.1016/j.jclepro.2022.134789

Kurien, C. ve Mittal, M. (2022). Review on the production and utilization of green ammonia as an alternate fuel in dual-fuel compression ignition engines. *Energy Conversion and Management*, 251(August 2021), 114990. doi:10.1016/j.enconman.2021.114990

Lähteenmäki-Uutela, A., Repka, S., Haukioja, T. ve Pohjola, T. (2017). How to recognize and measure the economic impacts of environmental regulation: The Sulphur Emission Control Area case. *Journal of Cleaner Production*, 154, 553–565. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.224

Lavadera, M. L., Han, X. ve Konnov, A. A. (2021). Comparative effect of ammonia addition on the laminar burning velocities of methane, n-heptane, and iso-octane. *Energy and Fuels*, 35(9), 7156 – 7168. doi:10.1021/acs.energyfuels.0c03424

Lehtoranta, K., Aakko-Saksa, P., Murtonen, T., Vesala, H., Ntziachristos, L., Rönkkö, T., ... Timonen, H. (2019). Particulate Mass and Nonvolatile Particle Number Emissions from Marine Engines Using Low-Sulfur Fuels, Natural Gas, or Scrubbers. *Environmental Science and Technology*, 53(6), 3315–3322. doi:10.1021/acs.est.8b05555

Lhuillier, C., Brequigny, P., Contino, F. ve Mounaïm-Rousselle, C. (2020). Experimental study on ammonia/hydrogen/air combustion in spark ignition engine conditions. *Fuel*, 269(September 2019), 117448. doi:10.1016/j.fuel.2020.117448

Li, Y., Bi, M., Li, B. ve Gao, W. (2018). Explosion behaviors of ammonia–air mixtures. *Combustion Science and Technology*, 190(10), 1804–1816. doi:10.1080/00102202.2018.1473859

Lindstad, H. E., Rehn, C. F. ve Eskeland, G. S. (2017). Sulphur abatement globally in maritime shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57(October 2017), 303–313. doi:10.1016/j.trd.2017.09.028

Machaj, K., Kupecki, J., Malecha, Z., Morawski, A. W., Skrzypkiewicz, M., Stanlik, M. ve Chorowski, M. (2022). Ammonia as a potential marine fuel: A review. *Energy Strategy Reviews*, 44(March), 100926. doi:10.1016/j.esr.2022.100926

Mei, B., Zhang, X., Ma, S., Cui, M., Guo, H., Cao, Z. ve Li, Y. (2019). Experimental and kinetic modeling investigation on the laminar flame propagation of ammonia under oxygen enrichment and elevated pressure conditions. *Combustion and Flame*, 210, 236–246. doi:https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.08.033

Mittal, M., Donahue, R., Winnie, P. ve Gillette, A. (2015). Exhaust emissions characteristics of a multi-cylinder 18.1-L diesel engine converted to fueled with natural gas and diesel pilot. *Journal of the Energy Institute*, 88(3), 275–283. doi:10.1016/j.joei.2014.09.003

Miyamoto, M. ve Takeuchi, K. (2019). Climate agreement and technology diffusion: Impact of the Kyoto Protocol on international patent applications for renewable energy technologies. *Energy Policy*, 129(May 2018), 1331–1338. doi:10.1016/j.enpol.2019.02.053

Ni, P., Wang, X. ve Li, H. (2020). A review on regulations, current status, effects and reduction strategies of emissions for marine diesel engines. *Fuel*, 279(June). doi:10.1016/j.fuel.2020.118477

Nozari, H. (2017). Combustion Characteristics of Ammonia as a Promising Alternative Fuel. Koç Üniversitesi, Doktora Tezi.

Okubo, M. ve Kuwahara, T. (2020). Introduction. *New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines*, 1–24. doi:10.1016/b978-0-12-812307-2.00001-8

Pfahl, U. J., Ross, M. C., Shepherd, J. E., Pasamehmetoglu, K. O. ve Unal, C. (2000). Flammability limits, ignition energy, and flame speeds in H₂-CH₄-NH₃-N₂O-O₂-N₂ mixtures. *Combustion and Flame*, 123(1), 140–158. doi:https://doi.org/10.1016/S0010-2180(00)00152-8

Pugh, D., Valera-Medina, A., Bowen, P., Giles, A., Goktepe, B., Runyon, J., ... Marsh, R. (2021). Emissions Performance of Staged Premixed and Diffusion Combustor Concepts for an NH₃/Air Flame With and Without Reactant Humidification. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 143(5). doi:10.1115/1.4049451

Reiter, A. J. ve Kong, S. C. (2008). Demonstration of compression-ignition engine combustion using ammonia in reducing greenhouse gas emissions. *Energy and Fuels*, 22(5), 2963–2971. doi:10.1021/ef800140f

Reiter, A. J. ve Kong, S. C. (2011). Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammonia-diesel fuel. *Fuel*, 90(1), 87-97. doi:10.1016/j.fuel.2010.07.055

Ronney, P. D. (1988). Effect of Chemistry and Transport Properties on Near-Limit Flames at Microgravity. *Combustion Science and Technology*, 59(1-3), 123-141. doi:10.1080/00102208808947092

Ryu, K., Zacharakis-Jutz, G. E. ve Kong, S. C. (2014). Performance characteristics of compression-ignition engine using high concentration of ammonia mixed with dimethyl ether. *Applied Energy*, 113, 488-499. doi:10.1016/j.apenergy.2013.07.065

Şahin, Z., Ziya Akcanca, İ. ve Durgun, O. (2018). Experimental investigation of the effects of ammonia solution (NH₃OH) on engine performance and exhaust emissions of a small diesel engine. *Fuel*, 214(October 2017), 330-341. doi:10.1016/j.fuel.2017.10.034

Schönborn, A. (2021). Aqueous solution of ammonia as marine fuel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 235(1), 142-151. doi:10.1177/1475090220937153

Sileghem, L., Alekseev, V. A., Vancoillie, J., Van Geem, K. M., Nilsson, E. J. K., Verhelst, S. ve Konnov, A. A. (2013). Laminar burning velocity of gasoline and the gasoline surrogate components iso-octane, n-heptane and toluene. *Fuel*, 112, 355-365. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.05.049

Smith, T. W. P., Jalkanen, J.-P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., ... others. (2015). Third IMO GHG study.

Takizawa, K., Takahashi, A., Tokuhashi, K., Kondo, S. ve Sekiya, A. (2008). Burning velocity measurements of nitrogen-containing compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1), 144-152. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.089

Wang, C., Corbett, J. J. ve Firestone, J. (2008). Improving spatial representation of global ship emissions inventories. *Environmental Science and Technology*, 42(1), 193-199. doi:10.1021/es0700799

Wang, S., Psaraftis, H. N. ve Qi, J. (2021). Paradox of international maritime organization's carbon intensity indicator. *Communications in Transportation Research*, 1(July), 100005. doi:10.1016/j.commtr.2021.100005

Wang, Y., Cao, Q., Liu, L., Wu, Y., Liu, H., Gu, Z. ve Zhu, C. (2022). A review of low and zero carbon fuel technologies: Achieving ship carbon reduction targets. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54(May), 102762. doi:10.1016/j.seta.2022.102762

Wang, Y., Zhou, X. ve Liu, L. (2021). Theoretical investigation of the combustion performance of ammonia/hydrogen mixtures on a marine diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(27), 14805-14812. doi:10.1016/j.ijhydene.2021.01.233

Yip, H. L., Srna, A., Yuen, A. C. Y., Kook, S., Taylor, R. A., Yeoh, G. H., ... Chan, Q. N. (2019). A review of hydrogen direct injection for internal combustion engines: Towards carbon-free combustion. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(22). doi:10.3390/app9224842

Zakaznov, V. F., Kursheva, L. A. ve Fedina, Z. I. (1978). Determination of normal flame velocity and critical diameter of flame extinction in ammonia-air mixture. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 14(6), 710 - 713. doi:10.1007/BF00786097

Zeldovich, Y. B. (1946). The Oxidation of Nitrogen in Combustion and Explosions. *Acta Physicochimica USSR*, 4, 577-628. doi:doi:10.1515/9781400862979.364

Zhong, B. jing, Zeng, Z. mei ve Zhang, H. zhen. (2022). An experimental and kinetic modeling study of JP-10 combustion. *Fuel*, 312, 112428. doi:10.1016/j.fuel.2021.122900

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA MEYDANA GELEN GELİŞMELER

Mustafa Raşit TURGUT¹, Senai YALÇINKAYA²

Öz: İçten yanmalı motorlarda meydana gelen aşınma durumu oldukça yüksektir. Teknolojik gelişme ve motor parçalarının geliştirilmesi motor parçalarının güvenilirliği üzerine katkı sağlamaktadır. İçten yanmalı motorlarda biyoyakıtların kullanımı ile biyoyakıtların motor donanımına etkisi ve kullanım ömrüne etkisi son zamanlarda yaygın çalışma yapılan en önemli konulardan birisidir. Biyoyakıt ile çalışan içten yanmalı motorlar için tribolojik çalışmalar, motor donanımlarında sürtünme, yağlama, aşınma konularını ele almaktadır. Ele alınan motor bileşenleri subap, piston ve silindir gömleği, yakıt enjektörü, pompa bileşenleri örnek verilebilir. Piston montajı, pompa montajı gibi çeşitli komponentlerin enerji dengesi ve enerji kayıpları bu çalışmada tartışılmıştır. Mekanik kayıplar dağılımı; %25 rulman, %45 piston montajı, %10 subap mekanizması, %20 pompalama gibidir. Çeşitli motor komponentlerinin yağlanması ve yağlama rejimi ayrıca tartışılmıştır. Alkol yakıtı (metanol, etanol, propanol, bütanol), motor donanımlarının sürtünme etkisini azaltır. Ancak, alkolün aşındırıcı özelliği sebebi ile alkol yakıtlı motor donanımlarının aşınması dizel yakıtlı motorlara göre daha yüksektir. Motor donanımlarının yağlanmasını yağlama yağı ve katkı maddelerinin özellikleri etkilemektedir. Motor çalıştırma şartları ve yakıt tipi, yağlama yağının vizkosite, yoğunluk, asidite gibi özelliklerini etkilemektedir. Alkol, yağlama yağının kirlenmesini arttırmaktadır ve birbirine temas eden motor komponentlerinde sürtünme katsayısını düşürmeye sebep olurken aynı zamanda

1 Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, e-mail: ms.rasitturgut@gmail.com, Orcid No: 0000-0003-1128-7919

2 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul / Türkiye, e-mail: syalcinkaya@marmara.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-7076-7766

çalışma performansına ters etki yapmaktadır. Alkol yakıtı kullanılan motorlarda çeşitli motor komponentlerinde karbon kalıntılarının olma ihtimali daha yüksektir. Yakıt enjektör ucunda dizel yakıt kullanıldığında (100 saat) az miktarda kalıntı kaldığı ve biyodizel (100 saat ve 700 saat) kullanıldığında kuru birikme gözlemlendiği bilgisine varılmıştır. Dizel yakıt ile çalışan motorlar ıslak karbon birikimine (yağlı, gresli) sebep olurken biyodizel yakıt ile çalışan motorlar kuru karbon birikimine sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınçta biyodizel yakıtı, yakıt enjektörü üzerinde erken karbon birikimine sebep olur. Bu nedenle, düzenli zaman periyodunda yakıt enjektörünün görsel olarak incelenmesi uzun dönem motor performansı açısından ciddi öneme sahiptir. Enjeksiyon zamanlaması, enjeksiyon basıncı ve sıkıştırma oranının ayarlanması, biyodizel yakıtlı motorlarda karbon birikiminin azaltılmasını sağlamak ve uzun dönem çalışma performansının korunmasını sağlamak için önemlidir. Biyodizel yakıtı içerisindeki doğal oksijen atomu var oluşu, daha iyi yanma sebebiyle parçaları üzerinde karbon birikimlerini azaltmaya yardımcı olur. Bu çalışmada biyoyakıt kullanılan içten yanmalı motorlar ve dizel motorlarda meydana gelen sürtünme, aşınma ve yağlama konuları önceden motor komponentleri üzerinde yapılan çalışmalar ele alınarak incelenmiştir ve yukarıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motor, Sürtünme, Aşınma, Yağlama, Biyoyakıtlı

GİRİŞ

Triboloji, belirli hareket altında makine komponentlerinin birbirleriyle etkileşimde olan arayüzlerinin yağlanması, aşınması ve sürtünmesini inceleyen bilim dalıdır.

Triboloji aynı zamanda belirli hareket altında motor bileşenlerinin bakımı ve güvenilirliği ile de ilgilenir. Birbiriyle etkileşimde olan malzeme arayüzlerinin, sürtünme ve aşınma sebebiyle içten yanmalı motorlar konusunda tribolojik çalışma yapılması malzeme israfı ve enerji kayıplarını azaltır.

Biyoyakıtlı çalışan içten yanmalı motorlar konusunda tribolojik çalışma yapılması, biyoyakıtların motor donanımı ve kullanım ömrüne etkisini iyileştirmek için sürtünme, aşınma ve yağlama konusunda çalışma yapmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada biyoyakıtla çalışan motorların tribolojik olarak (sürtünme, yağlama ve aşınma) çalışması incelenmiştir.

İki ya da daha fazla cismin birbiri ile temasta olması ve birbirine göre izafi hareket yapması ya da yapma eğiliminde olması durumunda cisimlerin harekete karşı gösterdikleri dirence sürtünme denir.

İki ya da daha fazla cismin birbiri ile temasta olması ve birbirine göre izafi hareket yapması ile sürtünme esnasında cisimlerin yüzeylerinde oluşan istenilmeyen malzeme kaybına aşınma denir.

Aşınmanın kısmen ya da tamamen önlenmesi, sürtünmenin azaltılması ve sıcaklığın artmasının önlenmesi amacıyla birbirlerine temas eden makine komponentleri arasında yağlayıcı malzemeler kullanılır. Yağlayıcılar; katı, sıvı, yarı katı ve gaz yağlayıcılar olmak üzere dörde ayrılırlar.

Petrol ürünlerinin yüksek fiyatları ve limitli rezervlerinden dolayı dünya genelinde yenilenebilir yakıtların istikrarlı olarak kullanımı artmaktadır.

Biyoyakıtlar dizel ve benzin gibi petrol bazlı yakıtlar için elverişli maddelerdir ve içten yanmalı motorlar için alternatif olarak kullanılabilir.

BİYOYAKITLAR

Biyoyakıtlar canlı ya da kısa bir süre önce yaşamış olan organizmalardan oluşmaktadır. Biyoyakıtlar fosil yakıtlara (petrol, doğalgaz, kömür gibi) ve nükleer yakıtlara büyük bir alternatif olan yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Biyoyakıtlar; yağlı tohumlar, karbonhidratlar, elyaf bitkiler, bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel ve endüstriyel atıklardan elde edilebilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütleler, güneş enerjisinin depolanmış halidirler. Bitkiler güneş enerjisini fotosentez aracılığıyla tutarlar.

Biyoyakıtların içinde bulunan karbon, bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalaması sonucu elde edildiği için biyoyakıtların yakılma-

sı, atmosferde tamamen karbondioksit artışına neden olmamaktadır. Bu sebeple, atmosferdeki karbondioksit miktarının artışına engel olabilmek için yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılması yerine biyoyakıtların kullanılması gerektiği görüşü daha hakimdir.

Alkol Yakıtı

İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak çeşitli alkoller kullanılmaktadır. Metanol, etanol, propanol ve bütanol yaygın kullanılan yakıtlardandır. Bunun sebebi, bu maddelerin kimyasal veya biyolojik olarak sentezlenebilir bir yapıda olmaları ve içten yanmalı motorlarda kullanılmasına izin veren özelliklere sahip olmalarındandır.

Metanol

Metil olarak da adlandırılan metanolün kimyasal formülü CH_3O-H 'dur. Odunun kuru damıtılması (havasız bir ortamda yüksek ısıya maruz bırakılması) ile elde edilmiştir ve ilk defa 1661 yılında bulunmuştur. Metanol, hidrokarbon ve yenilenebilir kaynaklardan özellikle doğalgaz ve biyokütleden üretilebilir. Uçucu ve renksiz bir sıvıdır.

Etanol

Etil alkol olarak da bilinen etanol, kendine özgü keskin bir kokuya sahip olan sıvı bir maddedir. Kimyasal formülü C_2H_6O 'dur ve $EtOH$ ya da C_2H_5OH olarak da tanımlanmaktadır. Etanolün yaygın olarak elde edildiği bitkiler; şeker pancarı, mısır ve patatestir. Fermentasyon ile üretilen ve alkollü içeceklerde bulunan etil alkol, yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrol ürünlerinin tüketiminin azaltılması ve hava kirliliğinin oluşumunun azaltılması için etanol, benzin ile farklı miktarlarda birleştirilerek kullanılabilir. Örnek uygulamalar, E10 ve E85 olarak bilinen sırasıyla %10 etanol ve %85 etanol içeren yakıtlardır.

Brezilya, 2006'dan beri etanolü yakıt olarak geniş ölçüde esnek yakıt motorlu araçlarında kullanmaktadır (Cavalcanti vd., 2012). Brezilya'da üretilen araçların %85'i esnek yakıt motorlu araçlardır ve etanol-benzin karışımı yakıt kullanılmaktadır. Amerika'da E15 (%15 etanol, %85 ben-

zin) ve E85 (%85 etanol, %15 benzin) petroleri kullanılmaktadır. (US Government 1988).

Bütanol

Dört karbonlu bir alkol olan bütanol, C_4H_9OH formülü ile gösterilir. Bütanol bir yakıttır ve bu nedenle yapısında bir değişiklik yapılmadan benzin ile kullanılmak üzere tasarlanmış araçlarda çalışır. Biyokütle ve fosil yakıtlardan üretilebilmektedir. Biyobütanol ve petrobütanol aynı kimyasal özelliklere sahiptir.

Propanol

Propanol (n-propanol), üç karbonlu doymuş alifatik alkoldür ve formülü $CH_3CH_2CH_2OH$ 'dür. 1-propanol olarak da adlandırılmaktadır. Rensiz, akışkan ve zehirlidir.

Biyodizel

Biyodizel, bitkilerden veya hayvanlardan elde edilen ve uzun zincirli yağ asidi esterlerinden oluşan bir dizel yakıt türüdür. Tipik olarak hayvansal yağ, soya fasulyesi yağı veya başka bir bitkisel yağ gibi lipitlerin bir alkolle kimyasal olarak reaksiyona sokulması ve transesterifikasyon işlemiyle bir metil, etil veya propil ester üretilmesiyle meydana gelen ve yakıt olarak kullanılan bir üründür.

Biyobenzin

Biyobenzin, su yosunu gibi biyokütleden üretilen bir benzin çeşididir. Günümüzde normal şartlarda üretilen benzin gibi molekül başına 6 (hekzan) ve 12 (dodekan) karbon atomu içermektedir ve içten yanmalı motorlarda kullanılabilir. Biyobenzin, alkol olduğu için kimyasal olarak biyobütanol ve biyoetanolden farklıdır.

Günümüzde çoğu ülke var olan motorları esnek yakıt sistemine dönüştürerek metanol ve etanolü yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanmaktadır. Çin, ulaşım sektöründe geniş ölçekli uygulamalar için M15 (%15 metanol, %85 benzin) yakıtını kullanmaktadır (Tibdewal vd., 2014).

Alkol içindeki oksijen varlığı oksidatif malzemelerin ve yağlayıcıların bozunmasına sebep olur ve yakıt ile temasta olan motor komponentlerinin oksidasyona meyilli olarak korozyon ve aşınması ile sonuçlanır. Bu sebeple, yakıtla direkt temasta olan çeşitli motor parçaları alkol ile uyumlu olmalıdır. Önemli yağlama yağı özelliklerini baskılayan ve yağlama yağının bozunmasına neden olan alkoller motorun çalışması esnasında yağlama yağı ile birleşir. Yağlama yağı içerisindeki alkolün kirlenmesi tribolojik durumun bir nedenidir. Yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip alkoller (metanol, etanol) ısınma, soğuk çalıştırma, kısa mesafeli sürüş esnasında yağlama yağının dizel ve benzine göre kirlenmesine daha meyillidir. Yağlama yağının bozunması yağlanan motor parçaları arasında sürtünme katsayısını arttırmaktadır ve daha yüksek aşınmaya sebep olmaktadır (Boons vd., 2008; Ferrarese vd., 2010).

İçten Yanmalı Motor Komponentlerinin Aşınma Analizi

Motor parçalarının aşınması periyodik olarak değiştirilen yağlama yağı ile değişmektedir. İnce bir film olan yağlayıcı motor içinde eş çalışan komponentleri ayırmaktadır. Yağ film kalınlığı göreceli olarak alkol yakıtlı motorlarda daha düşüktür.

Aşınma analizi için ana metodlardan biri aşınmış malzemelerin görsel incelenmesidir. İkinci olarak, yüzeylerin aşınma incelenmesi için çeşitli görüntü alma enstrümanları kullanılmaktadır. Bu metodlar uzun dayanım testlerinden sonra farklı motor komponentlerinin aşınmasını niteliksel değerlendirmek için kullanılmaktadır. Farklı yaklaştırma özelliklerine göre kullanılan kullanılan çeşitli enstrümanlar; dijital kamera, mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM)'dur. Malzeme aşınma çapı ebatı bu teknikler ile ölçülmektedir. Aşınma hacmi veya aşınma oranı optik cihazlarla edinilen aşınma derinliği, genişliği ve uzunluğunu gösteren 3D optik görsellerden hesaplanmaktadır. Deney malzemesi üzerinde yapılan aşınma testinde hacim kaybı, aşınma oranı, sürtünme katsayısı, ağırlık kaybı, hacimsel aşınma oranı, hacimsel aşınma direnci, aşınma derinliği ve bağıl aşınma derinliği aşağıda verilen sırasıyla (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) and (8) numaralı denklemler ile açıklanmıştır (M. Patel vd. 2019).

$$\Delta w = w_b - w_a \quad (1)$$

$$\mu = \frac{F}{D} \quad (2)$$

$$W_r = \frac{\Delta w}{S_d} \quad (3)$$

$$\Delta v = \frac{\rho \Delta w}{\rho_v S_d} \quad (4)$$

$$W_v = \frac{\rho \Delta w}{\rho_v S_d} = \frac{\Delta v}{S_d} \quad (5)$$

$$WR_v^{-1} = \frac{S_d}{\Delta v} \quad (6)$$

$$W_d = \frac{\Delta v}{A} \quad (7)$$

$$RW_d = \frac{W_d(\text{alaşım})}{W_d(\text{kompozit})} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilen parametreler aşağıda belirtildiği gibidir.

Δw = Deney malzemesi ağırlık kaybı (g)

W_b = Deney malzemesinin aşınmadan sonraki ağırlığı (g)

W_a = Deney malzemesinin aşınmadan önceki ağırlığı (g)

μ = Sürtünme katsayısı

F = Sürtünme kuvveti (N)

W_r = Aşınma oranı (g/m)

S_d = Kayma mesafesi (m)

Δv = Hacim kaybı (mm³)

ρ = Malzeme yoğunluğu (g/mm³)

W_v = Hacimsel aşınma oranı (g/m)

WR_v^{-1} = Hacimsel aşınma direnci (m/mm³)

W_d = Aşınma derinliği (m)

A = Deney malzemesi kesit alanı (m²)

RW_d = Bağlı aşınma derinliği

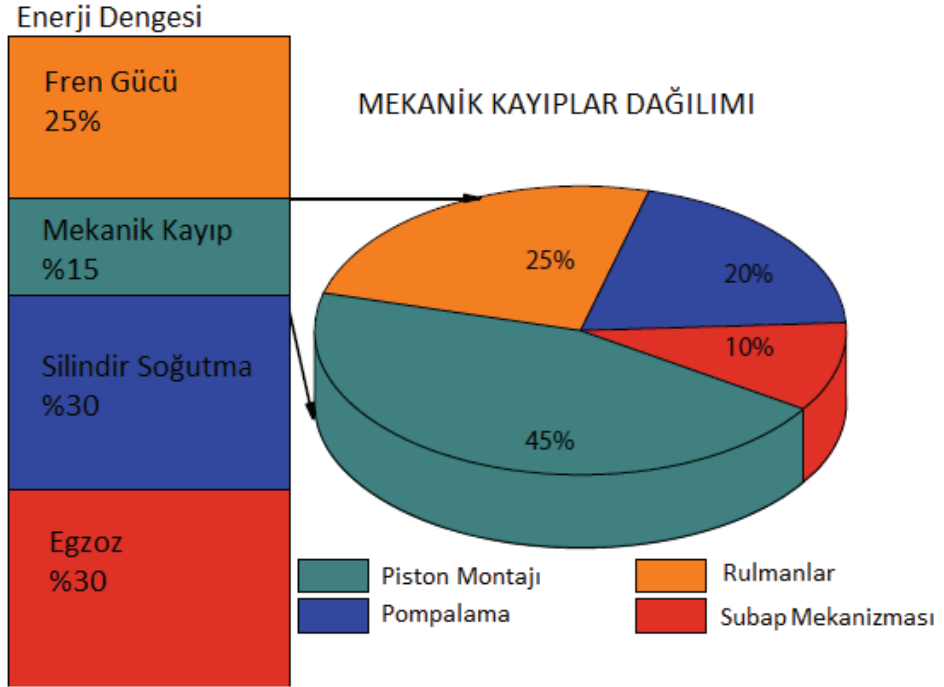
İçten Yanmalı Motorlarda Sürtünme Kayıpları

Bir aracın mekanik sürtünme kuvveti, ağırlığı tolere etmek, piston segman hatlarının toleransını düşürmek ve eşli çalışan motor komponentlerinin arasındaki yağlama kalitesini arttırmak metotları ile kayma

hareketlerini dönme hareketleri ile değiştirerek azaltılabilmektedir. Sürtünmenin azaltılması hedeflenen motor ana parçaları, supap aksamı, krank mili, perno rulmanları, piston, segmanlar ve yakıt pompasıdır. Bu parçalar yakıt sarfiyatını %1-4 e kadar düşürebilir. Supap aksamı düşük ve yüksek motor hızlarında daha yüksek sürtünmeye sebebiyet verir. Kam ve supap itme kolunun kayma temas yüzeyleri arasındaki sürtünme dönme tipi kam tasarımı ile değiştirilerek azaltılabilmektedir. Titanyum ya da seramik gibi hafif alaşımların kullanımı sürtünmeyi azaltmak için bir diğer seçenektir. Titanyum alaşımından yapılan valf yayları ayrıca ağır yükleri karşılayabilir. Aşağıda Şekil 1'deki görselde bir motorda sürtünme ve pompa kullanımı sebebi ile oluşan enerji dengesi ve mekanik kayıplar gösterilmiştir. Sürtünme kayıplarına ana olarak piston montajı, rulmanlar, supap itme kolu montajı ve pompa montajı sebep olmaktadır. Silindir segman arayüzü yaklaşık olarak %50 sürtünme kaybına neden olur. Ancak, silindir soğumasından dolayı enerji kaybı yaklaşık olarak %38'dir. Piston segmanının ana amacı yağlama yağının krank muhafazasından yanma odasına sızmasını ve yanma gazının yanma odasından krank muhafazasına sızmasını önlemektir. Çoğu piston segmanı iki sıkıştırma segmanı ve bir yağlama yağı segmanının kombinasyonudur. Segmanlar çoğunlukla hidrodinamik olarak yağlanmaktadır, ama segmanların üst ve alt ölü noktada yağlama rejimi sınır yağlamasına dönüştüğü için bu pozisyonda metal metale temas sağlanmaktadır. Bu segmanların segman gerilmesi bir conta gibi davranır, ancak sürtünmeye sebebiyet verir. Segmanların bastırılmış stresi sürtünmeyi yaklaşık %5-10 azaltarak, %1-2 ye kadar yakıt ekonomisi sağlamaktadır.

Piston tasarımı ayrıca motor içinde genel olarak sürtünmeyi etkilemektedir. Sürtünme direkt olarak temas alanı ile ilişkili olduğundan, piston eteği daha yüksek sürtünmeye sebep olmaktadır. Bu yüzden, piston etek ebatı sürtünmeyi azaltmak için piston gömleği ile temas alanını azaltabilir. Sürtünmeye daha önemli bir katkı ise hafif malzemeler kullanılarak motor komponentlerinin ağırlığının düşürülmesidir. Piston ve hafif malzemelerin başka bir kazancı ise motor vibrasyonunun azaltılmasıdır. Biyel kolunun ağırlığı ayrıca sürtünmeyi etkilemektedir ve ağırlığı yenilikçi hafif malzemeler kullanılarak azaltılabilmektedir. Bu yüzden, piston ve biyel kolunun imalatı için alüminyum alaşımları veya

güçlendirilmiş plastikler kullanılabilir (Kumar vd. (2022)). Piston ve piston segmanları üzerine özel bir kaplama yapılarak sürtünme azaltılabilmektedir. Bu malzemeler, sürtünmeyi yaklaşık %5 e kadar düşüren molibden ve elmas benzeri karbon (DLC), kendi yağlayıcı malzemelerdir. (Mobarak vd., 2014).



Şekil 1. Bir Motorda Yakıt Enerjisinin Mekanik Kayıplarının Dağılımı (Priest ve Taylor 2000; Taylor 1998)

Kaymalı yatak krank pimi ve krank şaftını desteklemektedir. Yağlama yağı filmlerini tamamen geliştiren krank şaft rulman hesabı sürtünme kayıplarını %25'e kadar azaltmaktadır. Daha fazla sürtünmeyi azaltmak kaymalı yatağı masuralı rulman yatağı ile değiştirerek sağlanabilmektedir. Genellikle dişli pompalar yağlama yağının akışını kontrol etmektedir. Uygun yağ pompası tasarımı sürtünmeyi %1.5 a kadar düşürebilmektedir (Taylor 1998). Yağlama yağı seçimi ayrıca farklı motor komponentleri arasındaki sürtünmeyi azaltmak için önemli bir fak-

tördür. Sürtünmeyi tolere ediciler (molibden gibi bileşikler) yağ sarfiyatını etkilemeden sürtünmeyi düşürmek için eklenebilmektedir.

Piston Segmanları ve Silindir Gömlekleri

Ana güç montaj komponentleri, piston ve segmanlardır. Sıkıştırma segmanları, yağ segmanları ve orta segmanlar olarak 3'e ayrılmaktadır. Her bir segman farklı malzemedен imal edilmiştir. Yağ segmanı segmanların en alt kısmına konumlanmıştır. Silindir gömleği ve piston segmanları arasında yağ film kalınlığını kontrol etmektedir. Pistonun gidip gelme hareketi esnasında yağı silindir gömleği ve piston segmanlarına taşır. Sıkıştırma segmanı silindir içerisindeki gazların yağlama yağı karterine sızdırmasını önlemektedir.

Bazı araştırmacılar alkol yakıtlı motorlarda piston segman montajının aşınma analizini gerçekleştirmiştir. Düşük çalışma sıcaklıklarında alkol yakıtlı motorların segman ve silindir iç çapı aşınması majör bir konu olarak raporlanmıştır (Ryan vd.,1986; Chen ve Papadopoulos 2019). Alkollerin kısmi oksidasyonundan formik asit oluşumu düşük sıcaklık şartlarında artmaktadır. Motor komponentlerinin korozyon aşınması demir ve kurşun ile çok fazla reaktif olmaktadır. Metanol yakıtlı motorların piston segmanlarının aşınması benzin yakıtlı motorlar ile benzerdir (Schaefer vd., 1997).



Şekil 2. Benzin ve Etanol Yakıtlı Motorların Testten Önce ve Sonra Piston ve Segman Görüntüleri (Santos vd., 2018)

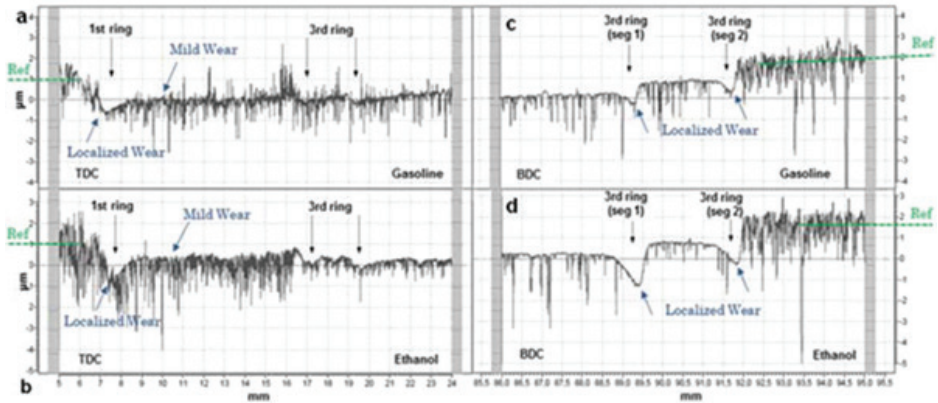
Filho vd., (2018) bir esnek yakıt motorunun silindir çapının aşınmasını test etmiştir. Şekil 2'de testten önce yeni piston ve piston segmanlarını ve benzin ve etanol yakıtlı motorlar testlerinden sonra karbon

birikimini göstermektedir. Etanol yakıtlı motor testi benzinden daha alçak karbon birikimlerini vermektedir. Bu karbon birikimleri pistonların, segmanların, silindir iç çapının aşınmasına neden olmuştur. Suthisripok ve Semsamran (2018) çalışmalarında piston ucunda dizel yakıt kullanıldığında az miktarda birikme (kalıntı) kaldığı ve biyodizel (100 saat ve 700 saat) kullanıldığında ise kuru birikme gözlemlendiğini tespit etmişlerdir. Şekil 3'te piston üzerindeki karbon birikimi gösterilmiştir.



Şekil 3. Piston Üzerindeki Karbon Birikimi (Suthisripok ve Semsamran, 2018)

Silindir iç çapının aşınma profili tepe ölü merkezi ve taban ölü merkezi olarak benzin ve etanol yakıtlı motorlar için Şekil 4'te gösterilmiştir.



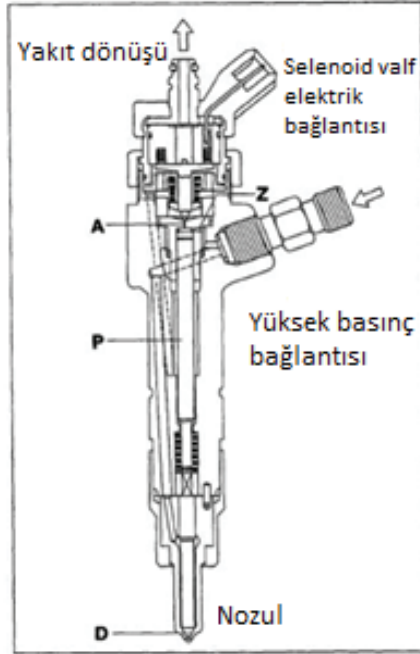
Şekil 4. Referans Noktasında Tepe Ölü Merkez (a ve b) ve Taban Ölü Merkezde (c ve d) Silindir Gömleğinin Aşınma Profili ve Esnek Yakıtlı Motorda Uçtan Uca Testte İlk ve Üçüncü Segman Pozisyonları (Santos vd., 2018)

Yüksek aşınma ilk segmanın tepe ölü merkezinde meydana gelmiştir. Aşınma taban ölü merkez pozisyonunda aşınma artmıştır. Taban ölü merkezinde silindir iç çapının aşınması tepe ölü merkezinden daha yüksektir. Maksimum aşınma etanol yakıtlı motor için taban ölçü merkez pozisyonunda meydana gelmiştir. Ancak, en düşük aşınma etanol yakıtlı motordan tepe ölçü merkez pozisyonunda gözlemlenmiştir.

Yakıt Enjeksiyon Sistemi

Yakıt enjekte sistemi yakıt pompası, yakıt filtresi ve enjektörden oluşmaktadır. Şekil 5'te enjektör görseli verilmiştir. Dört komponentten oluşmaktadır:

- 1) Çok delikli yaylı nozul iğnesi (A)
- 2) Kontrol pistonu (P)
- 3) Yakıtın beslendiği orifis (Z)
- 4) Selenoid valf ile açılıp kapanan orifis (D)



Şekil 5. Nozul

Yüksek yakıt enjeksiyon basıncı yakıt pompasının metalik komponentleri ve enjektör arasında aşınma durumunu arttıran yakıt sızmasından sakınmak için çok düşük boşluğa ($\sim 1 \mu\text{m}$) gereksinim duymaktadır. Yüksek basınç pompasında alkol kullanıldığında alkolün düşük viskozitesinden dolayı birbiriyle eş çalışan yüzeylerin aşınması artmıştır. Yakıt içindeki aşındırıcı parçacıklar ve su gibi atıklar komponent aşınmasını arttırmaktadır.

Metanol sulu bir çözelti oluşturarak nemi yüksek hassasiyetle absorbe eder. Depolama ve sevk esnasında su kullanılabilir. Su atığı serbest bir su formda, çözülmüş su ya da çözüntü halde olabilir. Yakıt enjeksiyon sistem parçalarının paslanması ve korozyon sebebiyle çelik komponentlerin aşınmasını su hızlıca oksitleyerek katalize eder. Bu durum yakıt ölçme sisteminin, nozulun ve pompanın arızalanmasına sebep olur. Bir araştırmada, yüksek basınç pompasının piston tampon aşınması sebebiyle etanol karışımı dizel yakıtla (%12 etanol) 100 saat çalıştıktan sonra bir pompa tarafından yakıt tesliminde %39 azalma olduğu rapor edilmiştir (Taylor 1998). Etanol dizel karışımında düşük sürtünme oluşumuna rağmen etanol dizel karışımının aşınma çapı, dizele göre %10 daha büyüktür. Yakıt enjeksiyon şablonu karbon birikimi sebebiyle yüksek oranda etkilenmiştir ve detaylı araştırılmaya gereksinim vardır (Hoang ve Le 2019). Biyodizel ile çalışan motor enjektörlerin dizele göre daha iyi durumda olduğu Pehan vd., (2009) tarafından endoskopik olarak incelenmiştir. Dizel yakıt kullanılan enjektör biyodizel yakıtı ile test edilmiştir. Bir kısım dizel yakıtı biyodizel ile temizlendikten sonra karbon birikiminin enjektör uç kısmında kaldığı görülmüştür. Bunun sebebi biyodizelin karbon birikimini kaldıracak daha iyi çözücü özelliği olmasından kaynaklanmış olabilir. Tüm 6 silindirlerde karbon birikim şekli benzerdir. Ancak, karbon birikim kapsamı biyodizel ve dizeller için farklıdır. Bunun sebebi enjeksiyon parametrelerini etkileyen biyodizelin yüksek viskozite ve molekül ağırlığından kaynaklanmaktadır (Wander vd., 2011; Liaquat vd., 2014). Temiz biyodizelin zayıf atomizasyonuna rağmen, karbon birikim miktarı dizelden daha düşüktür. Şekil 6'da Suthisripok ve Semsamran (2018)'in incelemesine istinaden yakıt enjektör ucunda dizel yakıt kullanıldığında az miktarda kalıntı kaldığı

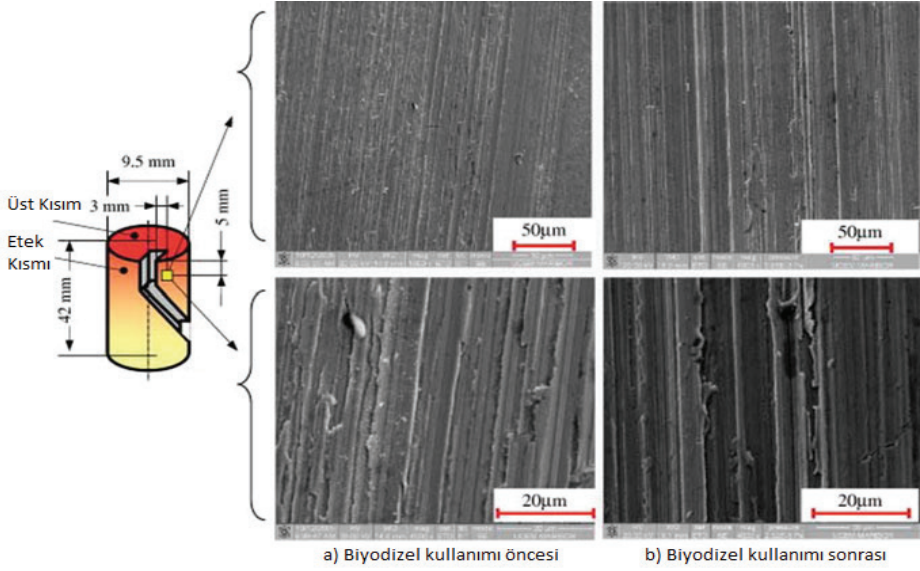
ve biyodizel (100 saat ve 700 saat) kullanıldığında kuru birikme gözleendiği bilgisine varılmıştır.



Şekil 6. Yakıt Enjektörü Üzerindeki Karbon Birikimi
(Suthisripok ve Semsamran, 2018)

Pompa Bileşenleri

Yakıtların pompa piston yüzeyine etkisini incelemek için Pehan vd., (2009), bir elektron mikroskobu kullanmışlardır. Pompa piston yüzeyi bölgesi enjeksiyon basıncından bir hayli etkilendiği için ölçüm bu bölgede mekanik tarama ile yapılmıştır. Sonuçlara göre biyodizelin etkisi pompa piston eteğinde $0,45 \mu\text{m}$ 'den $0,40 \mu\text{m}$ 'ye düşen rms pürüzlülük değerine göre iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum biyodizel ile daha iyi yağlama yapılmasıdır. Ancak, biyodizel yakıtı kullanımı durumunda pompa piston kafasında oluşan yüzey pürüzlülüğü dizel yakıtı kullanımına göre oldukça fazladır. Şekil 7'de biyodizel kullanımı öncesi ve sonrası yüzey kalitesi görülmektedir. Bu durum motor performansını etkilememektedir ama bu durumun hassas olarak ele alınması gerekmektedir. Peterson vd., (1999) RME20 karışımını ağır hizmet kamyon motorunda 161000 km test etmiştir ve testten sonra motor incelenmek üzere demontaj yapılmıştır. Tüm parçaların beklendiği gibi iyi bir durumda olduğu gözlemlenmiştir. Pompa iç kısmında az miktar karbon kalıntıları bulunmuştur. Agarwal (2021b), biyodizel kullanılan pompa ve milin hareket etmeyen komponentlerinde paslar olduğunu bildirmiştir. Uzun süreden sonra pompanın performansı yeterli görülmüştür.



Şekil 7. Biyodizel Kullanımı Öncesi ve Sonrası Pompa Piston Etek Yüzeyi Görüntüsü (Pehan vd., 2009)

Supap Takımı

Supap takımı, içten yanmalı motorlarda emme ve egzoz supaplarının operasyonunu kontrol eden sistemdir. Emme supapları, hava ve yakıt karışımının (ya da enjeksiyonlu motorlarda sadece havanın) yanma odasına akışını kontrol etmektedir. Egzoz supapları, yanma bittikten sonra kullanılmış gazların yanma odasından dışarıya akışını kontrol etmektedir (Şekil 8’de gösterilmiştir).

Motor yağlama davranışı supap takımını etkilemektedir ve iyi motor performansı için iyi bir yağlama yağı kullanılması çok önemlidir. Ancak yağlama yağı için yapılan hesaplamalar, test prosedürleri ve geliştirmeler en az öneme sahip konulardandır.

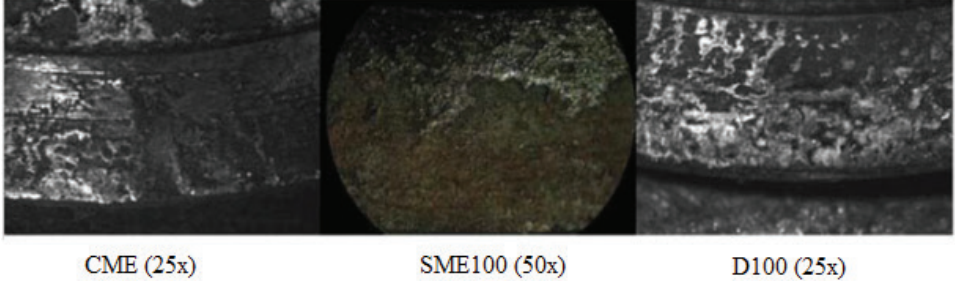


Şekil 8. Supap Takımı (Autonews, 2018)

Bazı kritik motor test örnekleri Sequence VE, Peugeot TU-3 ve Toyota 3A araçlar için verilmiştir (Rameshkumar ve Rajendran, 2012; Yuan vd., 2000). Bu testler kam ve hareketi ileten mekanizmaların aşınma davranışını incelemektedir. Genellikle, kam ve hareket iletici aksamın aşınması büyük olasılıkla aşındırıcı ve yapıştırıcılar tarafından meydana gelmektedir. Bazı durumlar ayrıca göstermiştir ki korozif aşınmanın meydana gelmesi sıcaklık farklarından kaynaklanmaktadır. Çinko dialkilditiofosfatlar gibi motor yağındaki aşınma önleyici takviyelerin uygulanması kimyasal aşınma etkilerini düşürmektedir (Yuan vd., 2000).

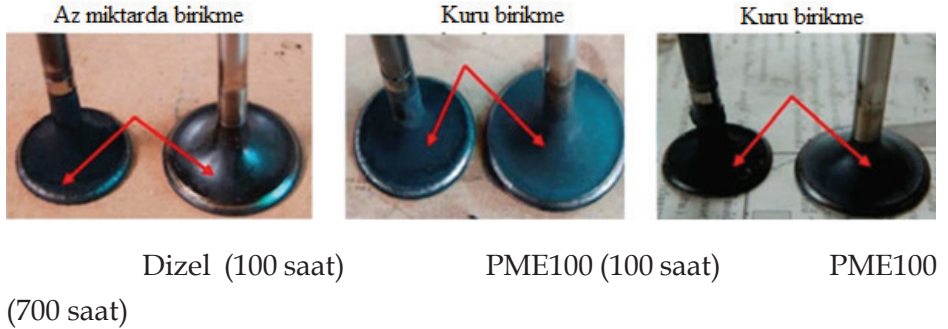
Yakıtların emme ve egzoz subaplarına etkisi incelenmiştir. Wander vd., (2011) subapları SME100, CME100 ve dizel yakıtlar için ele almıştır. Adezyon aşınması ve abrazif aşınma biyel ve biyel kanallarında görülmüştür. 1000 saat sonra aşınmalar kabul edilebilir limit içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Yetersiz yağlamadan dolayı SME100 ile yapılan deneyde kullanılan biyel, tespit pini yanında temas yorulmasına maruz kalmıştır. Egzoz subabı ile karşılaştırıldığında emme subabında yüksek yanma tortuları gözlemlenmiştir. Subap yatağında normal abrazif aşınma tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 9 'da görülmektedir. CME100 için düzensiz aşınmadan kaynaklı düzensiz temas izleri görülmektedir. Enjektör uçlarındaki gibi dizel yakıt ile az miktarda karbon birikimi ve PME (metil ester palm yağı) biyodizel yakıtı ile kuru karbon birikimi

emme ve egzoz subaplarında görüldüğü Suthisripok ve Semsamran (2018) tarafından bildirilmiştir. Bu durum Şekil 10'da görülmektedir.



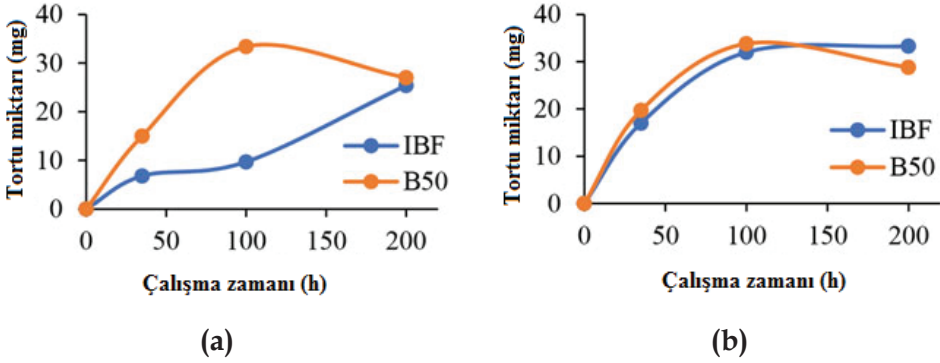
Şekil 9. Egzoz Subap Yatağının Makrografik Görselfi (Wander vd., (2011))

Perkins vd. (1991), subap yatakları ve yüzlerinin biyodizele göre dizel yakıtla çalışanlarda daha mat olduğunu tespit etmiştir. Tortu oluşum trendi şekil 11'de gösterilmiştir (Suryantoro vd. 2016). Görselfde görüldüğü gibi, tortu oluşumu yüksek oranda B50 (%50 metil ester palm yağı ve %50 dizel) yakıtı için 100 saate kadar artmıştır. Bunun nedeni, daha yüksek biyodizel içeriği ve yanma odasına yağ sızıntısı sebebiyle conta şişmesidir. Ancak, egzoz subabında karbon birikimi için eğilim IBF ve B50 yakıtı için benzerlik göstermektedir.



Şekil 10. PME100 ve Dizel ile Uzun Süre Test Edilen Subaplar (Suthisripok ve Semsamran 2018)

IBF, %10 palm yağı içeren dizel yakıttır. Egzoz subabındaki tortu çok kırılındır ve yüzeyden kolayca kalkmaktadır.



Şekil 11. IBF ve B50 Kullanımında Tortu Birikme Trendi, a) Emme subabı ve b) Egzoz Subabı (Suryantoro vd. 2016)

SONUÇ

Bu çalışmada biyoyakıtlı motorlarda meydana gelen sürtünme, aşınma ve yağlama konuları incelenmiştir. Piston montajı, subaplar, pompa montajı ve çeşitli komponentlerden kaynaklanan kayıplar ve enerji dengesi konuları ele alınmıştır. Motor komponentlerinin yağlanması da yağlama yağı özellikleri ve katkı maddelerinin özellikleri büyük bir öneme sahiptir. Motor çalışma şartları ve yakıt tipi, yağlama yağının yoğunluk, vizkosite, asitlik gibi özelliklerini etkilemektedir. Yüksek yükte yağlama yağı sıcaklığı yüksektir ve viskoziteyi düşürmektedir. Yağlama rejimi hidrodinamikten sınır yağlamasına değişmektedir. Motorlarda alkol karışımı yakıt kullanımı yağlama yağı kirlenmesini artırır ve temasta olan motor komponentleri üzerine ters etki yapmaktadır fakat, sürtünme katsayısının düşmesine neden olmaktadır. Alkol yakıtlı motorlarda çeşitli motor komponentlerinde karbon birikimi yüksektir ve motor performansı ve ömrünü düşürmektedir. Alkol yakıtlı motorlarda rutin bakımlarının yapılması bu tarz sorunların önüne geçmek için önerilmektedir.

Biyodizel yakıtı içinde doğal oksijen atomu varlığı, daha iyi yanma sebebiyle motor parçaları üzerinde karbon birikimlerini azaltmaya yardımcı olur.

Dizel çalışan motorlar ıslak karbon birikimine sebep olurken (yağlı, gresli) biyodizel ile çalışan motorlar kuru karbon birikimine sebep olur. Yüksek sıcaklık ve basınçta biyodizel yakıtı, yakıt enjektörü üzerinde erken karbon birikimini başlatır. Bu sebeple, düzenli zaman aralıklarında yakıt enjektörünün görsel olarak incelenmesi uzun dönem motor performansı açısından önemlidir. Enjeksiyon zamanlanması, enjeksiyon basıncı ve sıkıştırma oranının ayarlanması biyodizel yakıtlı motorlarda karbon birikimini düşürmek için önemlidir.

Tortu oluşumu ciddi bir şekilde B50 yakıtı için 100 saate kadar artmıştır. Bunun nedeni, daha yüksek biyodizel içeriği ve yanma odasına yağ sızıntısı ile conta şişmesidir. Ancak, egzoz subabında karbon birikimi için eğilim IBF ve B50 yakıtı için benzerlik göstermektedir.

Test araçları ile uzun dönemde biyodizelin uyumluluğu tatmin edicidir ve farkedilen dayanıklılık konularına rastlanmamıştır. Bu durum biyoyakıtların fizyokimyasal özellikleri ve uygun yanmasından dolayıdır.

KAYNAKÇA

Autonews (2018) Automotive News, <https://www.autonews.com/article/20180911/BLOG06/180919907/schaeffler-group-advances-the-art-of-the-valvetrain>, Accessed 11 September 2021

Allianz Versicherungs AG (1978) Handbook of loss prevention. Springer-Verlag, Berlin

A.K. Agarwal, Field-Testing of Biodiesel (B100) ve Diesel-Fueled Vehicles: Part 2 – Lubricating Oil Condition Monitoring, 143 (2021) 1–8. <https://doi.org/10.1115/1.4048308>.

Boons M., Van Den Bulk R., King T. (2008) The impact of E85 use on lubricant performance). SAE Technical Paper 2008-01-1763

Chen C.Y., Papadopoulos K.D. (2019) Ethanol's effects on acid neutralization by motor oils. Tribol Int 132:24–29

Cavalcanti M., Szklo A., Machado G. (2012) Do ethanol prices in Brazil follow Brent price and international gasoline price parity. Renewable Energy 43:423–433

Ferrarese A, Marques G, Tomanik E, Bruno R, Vatauvuk J (2010) Piston ring tribological challenges on the next generation of flex-fuel engines. SAE Int J Engines 3(2):85–91

Hoang AT, Le AT (2019) A review on deposit formation in the injector of diesel engines running on biodiesel, *Energy Sources. Part A Recover Util Environ Eff* 41:584–599. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1520342>

Krantz T, Kahraman A (2005) An experimental investigation of the influence of the lubricant viscosity and additives on gear wear. *Tribol Trans* 21(1):138–148

Liaquat AM, Masjuki HH, Kalam MA, Fattah IMR (2014) Impact of biodiesel blend on injector deposit formation. *Energy* 72:813–823. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.006>

M. Patel, B. Pardhi, S. K. Sahu, A. Kumar, and M. K. Singh, "Evaluation of Hardness, Toughness and Sliding Wear Resistance after Replacing Zn into SiC in Al5Mg5Zn/3 WO₃-p Metal Matrix Composite," *Int. J. Res. Eng. Appl. Manag.*, vol. 05, no. 03, pp. 106–110, 2019.

Mobarak HM, Masjuki HH, Mohamad EN, Rahman SA, Al Mahmud KAH, Habibullah M, Salauddin S (2014) Effect of DLC coating on tribological behavior of cylinder liner-piston ring material combination when lubricated with *Jatropha* oil. *Proc Eng* 90:733–739

Priest M, Taylor CM (2000) Automobile engine tribology—approaching the surface. *Wear* 241(2):193–203

Pehan S., Jerman M.S., Kegl M., Kegl B. (2009) Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. *Fuel* 88:970–979. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.027>

Peterson GFCL, Thompson JC, Taberski JS, Reece D (1999) Long-range on-road test with twentypercent rapeseed biodiesel. *Appl Eng Agric ASAE* 15:91–101

Rameshkumar T, Rajendran I (2012) Mechanical and tribological properties on Al-Sn-Si alloy-based plain bearing material. *Tribol Trans* 56(2):268–274

Santos Filho D, Tschiptschin AP, Goldenstein H (2018) Effects of ethanol content on cast iron cylinder wear in a flex-fuel internal combustion engine—a case study. *Wear* 406:105–117

Ryan T.W., Bond T.J., Schieman R.D. (1986) Understanding the mechanism of cylinder bore and ring wear in methanol-fueled SI engines. *SAE transactions*, pp.1044–1050

Suthisripok T., Semsamran P. (2018) The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine. *Tribol Int* 128:397–409. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.042>

Scibbe H.W., Townsend D.P., Aron P.R (1984) Effect of lubricant extreme-pressure additives on surface fatigue life of AISI 9310 spur gears. NASA Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, USA

NSW Transport (2021) Wheel defect manual, <https://www.transport.nsw.gov.au/industry/asset-standards-authority/find-a-standard/wheel-defect-manual-12>, Accessed 13 July 2021

Tibdewal SA, Saxena U, Gurumoorthy AV (2014) Hydrogen economy vs. methanol economy. *Int J Chem Sci* 12(4):1478-1486

TaylorCM(1998) Automobile engine tribology-design considerations for efficiency and durability. *Wear*21(1):1-8

US Government (1988). *Alternative motor fuels act of 1988*. Public Law: 100-494

Kumar, V., Agarwal, A.K., Jena, A., Upadhyay, R.K. (2022). *Advances in engine tribology*. Energy, Environment and Sustainability

Wander PR, Alta CR, ColomboAL, Perera SC (2011) Durability studies of mono-cylinder compression ignition engines operating with diesel, soy and castor oil methyl esters 36:3917-3923. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.037>

Yuan GC, Li ZJ, Lou YX, Zhang XM (2000) Study on crystallization and microstructure for new series of Al-Sn-Si alloys. *Mater Sci Eng* 280(1):108-115

ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Mehmet ÖZDEMİR¹, Ayhan ONAT²

Öz: Artan teknolojik gelişimler, hızlı nüfus artışı ve yeni konutları inşası enerji talebini hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Mevcut fosil yakıtların hem giderek tüketmeleri hem de çevreye ciddi zarar vermeleri bakımından çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemler giderek yaygınlaşmaktadır. Yeni teknolojiye sahip bu sistemler sayesinde enerjinin daha verimli ve etkin kullanılması sağlanmakta ve geleneksel sistemlere kıyasla daha az enerji kayıpları gerçekleşmektedir. Isı pompası, iyi dizayn edilmesi, yüksek enerji tasarrufu sağlaması, mevcut tesisata uygulanabilir özelliğinin olması ve yüksek konfor şartları sunması nedeniyle daha fazla tercih edilmektedir. Isı pompası sistemleri ve örnek uygulama isimli bu bölümde, iklimlendirme ve soğutma sektöründe çalışanlar ile bu konuya merak duyanlara konuyla ilişkili pratik bilgiler anlaşılır bir şekilde sunulmaya çalışılmıştır. Giriş bölümünde ısı pompasının en basit anlamda nasıl tanımlandığı ve termodinamik yasasına göre nasıl çalıştığı anlatılmıştır. Isı pompası hakkındaki literatür çalışması ile ısı pompasının hem endüstriyel hem de bilimsel olarak önemi ortaya konulmuştur. Isı pompası çevrimi, çevrimde yer alan ısı pompası birleşenleri ve ısı pompası sınıflandırmaları anlatılarak yapılacak olan uygulama ve tasarım çalışmalarına ışık tutmak amaçlanmıştır. Isı pompası seçim kriterleri ve binalara yönelik pratik ısı kazancı ve kaybı hesaplama yöntemi izah edilmiştir. Bölümün son kısmında ise ilgili standartların belirlediği yöntem ve formüller ile ısıtma, soğutma ve sıcak su temini için gerekli pratik bilgiler

1 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul / Türkiye Orcid No: 0000-0002-5138-1726

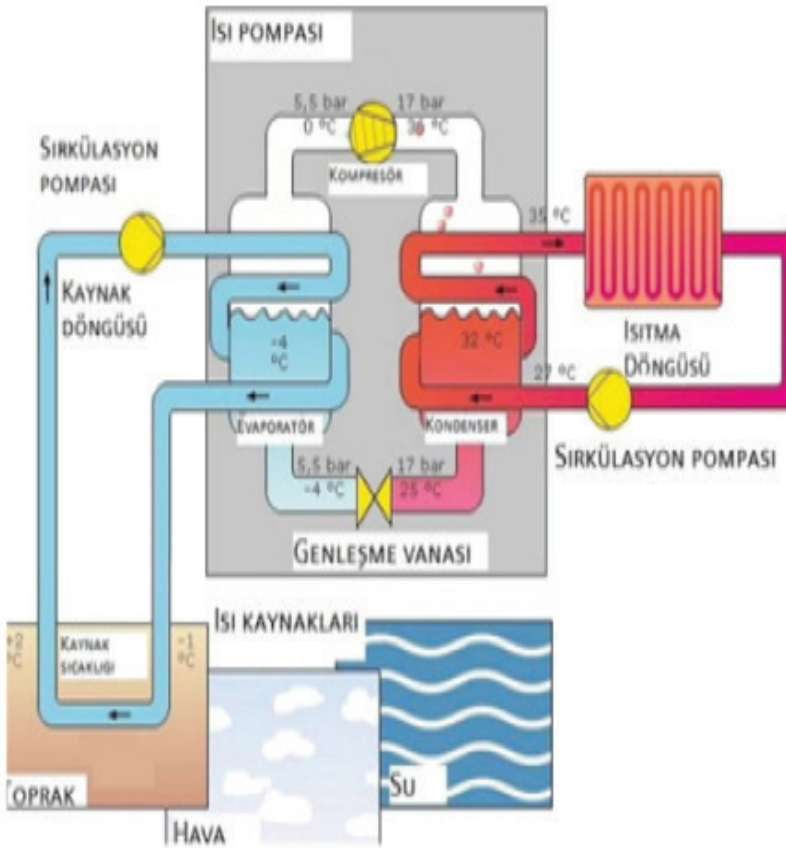
2 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul / Türkiye e-mail: ayhan.onat@marmara.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-9737-6300

yardımıyla bir villanın ilgili hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda firmalara ait ürün kataloglarından uygun cihazlar seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı Pompası, Tasarım, Sistem Seçimi, Uygulama, Enerji Verimliliği, Isı Yükü Hesaplamaları, SCOP

GİRİŞ

Isı pompası, ısıtma veya soğutma sağlamak için enerjiyi bir ortamdan diğerine aktaran bir ısı enerji değiştiricisidir. Bu teknoloji, konut, ticari ve kurumsal ortamlarda ısıtma ve soğutma yapmak veya sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 1. Temel Isı Pompası Sistemi Şeması

En basit anlamda Şekil 1’de gösterildiği gibi ısı pompası düşük sıcaklıktaki (kaynak) ısı enerjisini almakta ve elektrik veya başka bir enerji kullanarak yüksek sıcaklıktaki bir kaynağa aktarmaktadır. Bu çevrimde ısı taşınmasında farklı akışkanlar kullanılmaktadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi düşük sıcaklık kaynağı olarak verilen hava, su ve topraktan çekilen ısı yüksek sıcaklıklı kaynak olarak suya enerjisini vermektedir.

Isı enerjisi, termodinamiğin ikinci yasasına göre, sürekli yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket etmektedir. Bir ısı pompasındaki soğutucu akışkan ısıyı farklı düşük sıcaklıklı enerji kaynaklarından (hava, su, toprak vb.) çekebilir.

Burada soğutucu akışkan bu düşük sıcaklıklı enerji kaynaklarından çektiği ısı ile buharlaşmakta ve enerji seviyesi artmaktadır. Daha sonra yüksek sıcaklıklı enerjili kaynağa yani kondensere gönderilerek ısı enerjisi istenilen farklı ortama (genellikle su veya hava) aktarılmaktadır. Bu işlem, soğutucu ve klima cihazlarının çalıştığı temel prensip olarak ifade edilmektedir. (Hotte, 2020).

LİTERATÜR

Bilen ve arkadaşının hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının farklı soğutucu akışkanlar için enerji ve ekserji analizi üzerine yaptıkları çalışmada kaynaklarına göre sınıflandırılan ısı pompasının seçimi söz konusu olduğunda kullanılacak soğutucu akışkanların sistem performansı üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. R134a, R407a, R410a, R600a ve R1234yf soğutucu akışkanları arasında analiz yapıldığından R600a’nın üç tip ısı pompasında (hava, su ve toprak kaynaklı) da daha etkili sonuç verdiği görülmektedir. Ayrıca aynı koşullar altında toprak kaynaklı ısı pompasının enerji verimliliği diğer hava ve su kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksek olmasına karşın hava kaynaklı ısı pompasının ekserji verimliliği diğer ısı pompalarına göre daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Tan ve arkadaşlarının düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanımında farklı ısı pompalarının performans karşılaştırması üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada buhar sıkıştırmalı ısı pompalarının farklı çalışma koşulları altında enerji performanslarının absorpsiyonlu ısı pompasından

daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca ısı pompası seçimi yapılırken kullanıcı ihtiyaçlarının ve yapının konumun iyi analiz edilmemesi kaynağına ve çalışma prensibine göre seçilen ısı pompasının performansını olumsuz etkileyeceği belirtilmektedir.

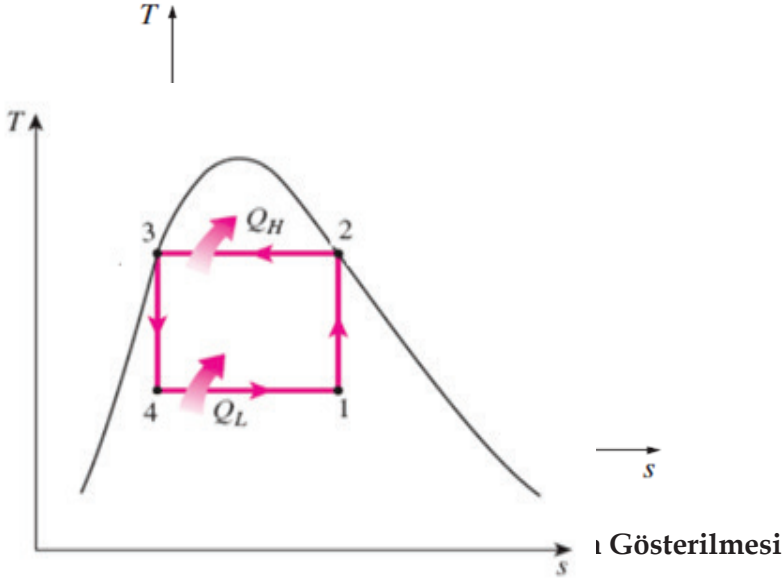
De Swardt ve arkadaşlarının hava kaynaklı ve toprak kaynaklı tersinir ısı pompası arasındaki performans karşılaştırması üzerine yaptıkları çalışmada düşük ortam hava sıcaklıklarında toprak kaynaklı ısı pompalarının ısıtma kapasiteleri %24 ve enerji verimliliklerinin ise hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Xiao ve arkadaşlarını havadan havaya ve havadan suya ısı pompası ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması ve analizi üzerine yapmış oldukları çalışmada düşük ortam sıcaklığı koşullarında havadan havaya ısı pompasının performans düşüşünün havadan suya ısı pompasına göre daha az gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Nikitin ve arkadaşlarının enerji, ekserji ve ekonomik çevre analizine dayalı olarak Rusya'nın en soğuk 10 şehrinde hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının karşılaştırmalı çalışmasında yeraltı sıcaklığının her zaman ortam hava sıcaklığından yüksek olduğu için toprak kaynaklı ısı pompasının hava kaynaklı ısı pompasına göre daha iyi bir performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca düşük ortam sıcaklığı koşullarında evaporatör buharlaşma sıcaklığının daha da düşmesi nedeniyle hava kaynaklı ısı pompası sisteminin toprak kaynaklı ısı pompası sisteminden daha az verimli olduğunu ifade etmişlerdir.

ISI POMPASI ÇEVİRİMİ

Nicolas Leonard Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılan Carnot çevrimi referans çevrim (hedeflenen çevrim) olarak verilmektedir. Carnot çevrimi mümkün olan en yüksek verime sahip idealize edilmiş bir çevrimdir. Tanımlanan sıcaklık değerlerine göre maksimum verime sahiptir. Carnot çevrimi iki izotermal ve iki izantropik işlemden oluşan tamamen tersinir bir çevrimdir. Soğutma makineleri/ısı pompaları için Ters Carnot çevrimi referans çevrim olarak ele alınabilir. Şekil 2'de Carnot ve Şekil 3'de ise Ters Carnot çevrimi verilmektedir.



Şekil 3. Ters Carnot Çevriminin T-s Diyagramında Gösterilmesi

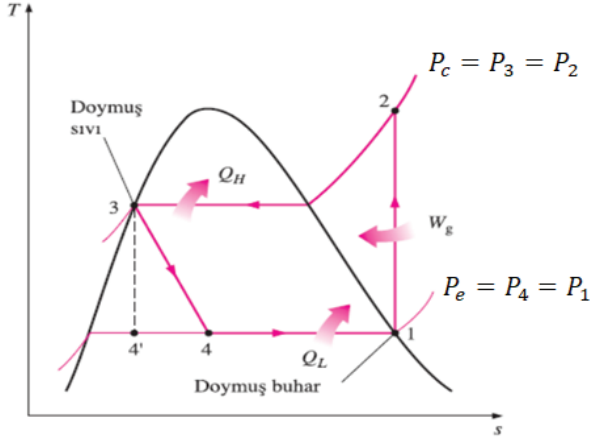
Ters Carnot çevrimi için hal değişimleri aşağıda verilmektedir (Şekil 2b).

- 1-2 İzentropik sıkıştırma
- 2-3 Sabit sıcaklıkta ısı çıktısı (izotermal ısı geçişi)
- 3-4 İzentropik genişleme
- 4-1 Sabit sıcaklıkta ısı girdisi (izotermal ısı geçişi)

İki ısı pompasından biri tersinir diğeri ise tersinmez olarak kabul edildiğinde tersinmez olan makinenin verimi, tersinir olan makinenin veriminden daha büyük olamaz.

$$\eta_{tersinmez} \leq \eta_{tersinir}$$

İdeal soğutma makinesinin veya ısı pompasının T-s çevriminde gösterimi şekil 4' de verilmektedir.



Şekil 4. İdeal Soğutma/Isı Pompasının T-s Çevrimi

Burada;

- 1-2 Kompresörde İzantropik sıkıştırma
- 2-3 Kondenserde sabit basınçta ısı çıktısı
- 3-4 Genleşme vanasında adyabatik genişleme
- 4-1 Evaporatörde sabit basınçta ısı girdisi

hal değişimleri gerçekleşmektedir. Uygulamada/sahada yani gerçek çevrimlerde işlemler daha farklı olmaktadır. Gerçek çevrim analizlerinde aşağıda verilenler değerlendirmeye alınmalıdır.

- Kompresörde sıkıştırma izantropik olmamaktadır.
- Kondenser ve evaporatörde basınç kayıpları olmaktadır.
- Genleşme vanasında adyabatik genişlemede meydana gelen entalpi değişimleri kabul edilebilir seviyede olmaktadır.
- Basma, sıvı ve emiş hatlarında meydana gelen ısı geçişleri ve basınç kayıpları değerlendirilmelidir.
- Kondenser ve evaporatörde meydana gelen sırasıyla aşırı soğuma (subcooling) ve kızgınlık (superheat) değerleri değerlendirilmelidir.

Isı pompası çevrimde soğutucu akışkan kızgın buhar halinde girdiği kompresörde sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı kondenser tasarım

şartlarına kadar artırılır. Yine kızgın buhar formunda kondenser başka bir ifade ile yoğuşturucuya girer. Kızgın buhar halindeki akışkan kondensere girdikten sonra yoğunlaşır ve kondenser çıkışında sıvı akışkan durumuna gelir. Bu işlem sırasında soğutucu akışkan ısıtmak istenilen mahale/akışkana ısı verir. Soğutucu akışkan, yoğuşma sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta (aşırı soğuma) soğumuş halde sıvı fazında kondenserden çıkarak genleşme valfine girer. Genleşme valfine gelen sıvı fazındaki akışkan basıncı ve sıcaklığı düşmüş bir halde genleşme valfinden çıkmakta ve evaporatöre başka bir ifade ile buharlaştırıcıya girer. Islak buhar olarak (buhar-sıvı) buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkan burada ısı kaynağı olan hava, su, toprak vb. kaynaktan ısı enerjisini çekerek buhar fazına geçer. Buhar fazında evaporatörden çıkarak kompresöre gelir ve bu çevrim aynı şekilde tekrarlanmaktadır.

ANLIK ISITMA ve SOĞUTMA ETKİNLİK KATSAYISI

Anlık ısıtma etkinlik katsayısı (EER) ve anlık soğutma etkinlik katsayısı (COP) nasıl tanımlandığı sırası ile verilmektedir.

$$COP = \frac{\text{Isıtma kapasitesi}}{\text{Güç tüketimi}} = \frac{Q_H}{W_{net}}$$

Burada;

COP , Isıtma etkinlik katsayısı,

Q_H Isıtma (kondenser) kapasitesi (W)

W_{net} Güç tüketimi (W) olarak gösterilmektedir.

$$EER = \frac{\text{Soğutma kapasitesi}}{\text{Güç tüketimi}} = \frac{Q_L}{W_{net}}$$

Burada;

EER , Soğutma etkinlik katsayısı,

Q_L Soğutma (evaporatör) Kapasitesi (W)

W_{net} Harcanan Güç (W) olarak ifade edilmektedir.

Havadan havaya klima cihazları ısıtma amaçlı (ısı pompası) kullanıldıkları zaman *Nominal Isıtma Etkinlik Katsayısı (COP)*, 7 C deki ısıtma kapasitesinin aynı sıcaklıktaki güç tüketimine bölünmesi ile bulunur.

$$\text{COP} = \frac{\text{Isıtma Kapasitesi (7 °C)}}{\text{Güç Tüketimi (7 °C)}}$$

Nominal Soğutma Etkinlik Katsayısı (EER), 35 C deki soğutma kapasitesinin aynı sıcaklıktaki güç tüketimine bölünmesi ile bulunur.

$$\text{EER} = \frac{\text{Soğutma Kapasitesi (35 °C)}}{\text{Güç Tüketimi (35 °C)}}$$

SEZONSAL ISITMA ve SOĞUTMA ETKİNLİK KATSAYISI

İklimlendirme ve soğutma cihazlarının etiketlemesi günümüzde nominal değer referans alınarak yapılmamaktadır. İklimlendirme ve soğutma cihazlarının verimliliği sezonsal etkinlik katsayısına göre sınıflandırılmaktadır.

Isıtma için Sezonsal Etkinlik Katsayısı (SCOP) ise yıllık ısıtma ihtiyacının, yıllık ısıtmada çalışırken tüketilen güç ile bekleme/yardımcı konumlarda tüketilen güç değerlerinin toplamına bölünmesi ile bulunur.

$$\text{SCOP} = \frac{\text{Yıllık ısıtma ihtiyacı}}{\text{Yıllık çalışmada tüketilen güç} + \text{Yardımcı konumda tüketilen güç}}$$

Soğutma için Sezonsal Etkinlik Katsayısı (SEER) ise yıllık soğutma ihtiyacının, yıllık soğutmada çalışırken tüketilen güç ile bekleme/yardımcı konumlarda tüketilen güç değerlerinin toplamına bölünmesi ile bulunur.

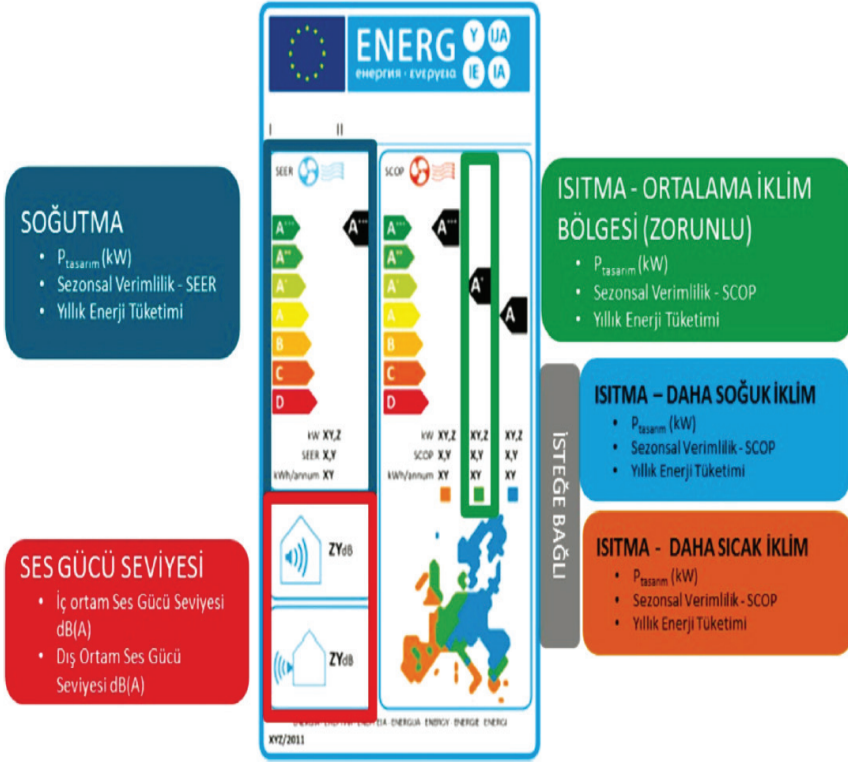
$$\text{SEER} = \frac{\text{Yıllık soğutma ihtiyacı}}{\text{Yıllık çalışmada tüketilen güç} + \text{Yardımcı konumda tüketilen güç}}$$

Daha detaylı bilgi ve hesaplamalar için EN 14825 standarttı referans alınmalıdır. Tablo 1’de 12 kW kapasitesine kadar cihazların SCOP ve SEER değerlerine göre enerji verimliliği sınıfları verilmektedir. Yeni regülasyonda sezonsal verimliliğe göre tanımlanan yeni enerji verimliliği sınıfları görülmektedir. Eski regülasyonda en verimli sınıf A iken, yeni enerji verimliliği regülasyonu ile **A+**, **A++**, **A+++** gibi yeni enerji sınıfları tanımlanmaktadır.

Tablo 1. SCOP ve SEER Değerlerine Göre Enerji Verimliliği Sınıfları

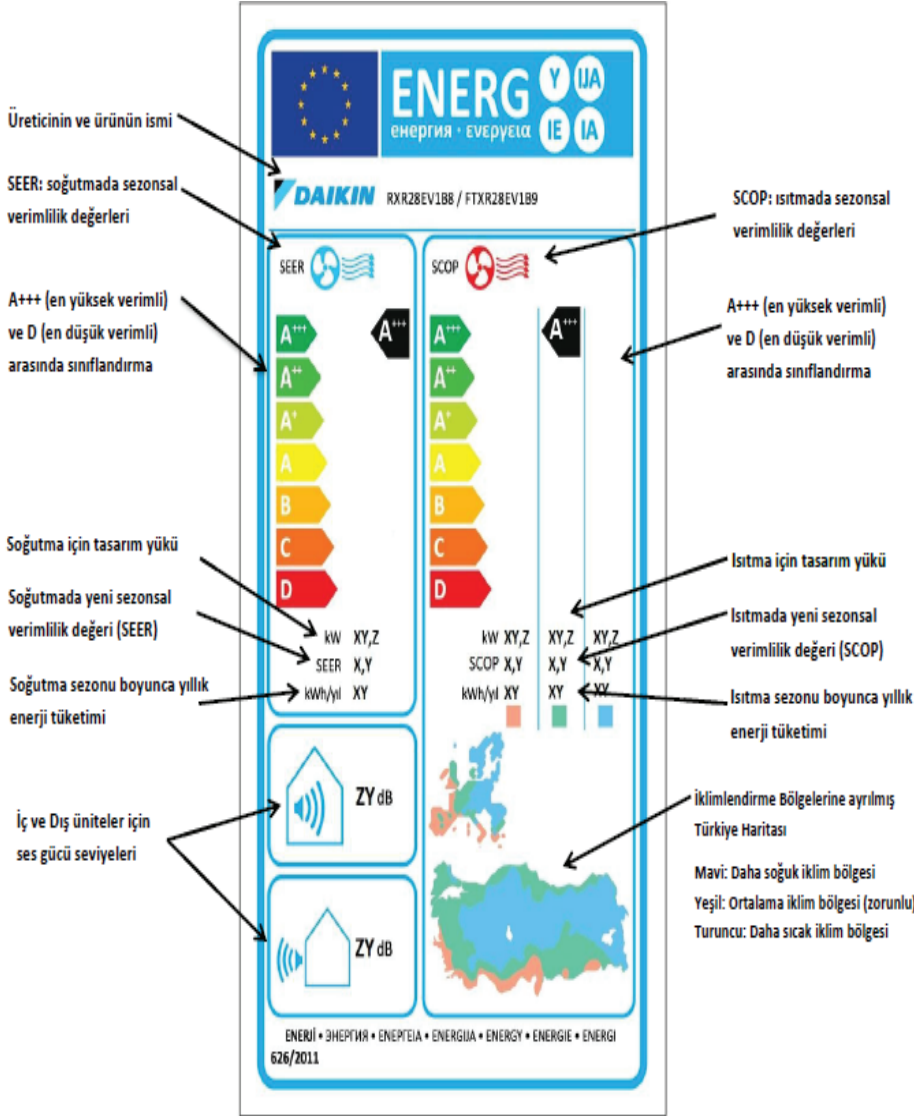
Enerji Verimlilik Sınıfı	SEER	SCOP
A++++	$SEER \geq 8,50$	$SCOP \geq 5,10$
A+++	$6,10 \leq SEER < 8,50$	$4,60 \leq SCOP < 5,10$
A+	$5,60 \leq SEER < 6,10$	$4,00 \leq SCOP < 4,60$
A	$5,10 \leq SEER < 5,60$	$3,40 \leq SCOP < 4,00$
B	$4,60 \leq SEER < 5,10$	$3,10 \leq SCOP < 3,40$
C	$4,10 \leq SEER < 4,60$	$2,80 \leq SCOP < 3,10$
D	$3,60 \leq SEER < 4,10$	$2,50 \leq SCOP < 2,80$
E	$3,10 \leq SEER < 3,60$	$2,20 \leq SCOP < 2,50$
F	$2,60 \leq SEER < 3,10$	$3,40 \leq SCOP < 4,00$
G	$SEER < 2,6$	$SCOP < 1,90$

Avrupa Birliği'nde 01.01.2013 tarihi itibariyle Klimaların Enerji Etiketlemesi Regülasyonu uygulamaya konulmuştur. Şekil 5'de kapasitesi 12kW'dan küçük olan klimalar için Avrupa bölgesi için yeni enerji verimliliği etiketi verilmektedir. Sol üst köşe soğutma için sırasıyla klima cihazına ait $P_{tasarım}$ yani 35 °C tasarım sıcaklığındaki cihazın kapasitesi, SEER değeri ve yıllık enerji tüketimi gösterilmektedir. Sol alt köşede ise cihaza ait iç ve dış ortam ses gücü seviyeleri dB(A) cinsinden verilmektedir. Etiket'in sağ tarafında ise ısıtma değerleri verilmiştir. Ortada yeşil renkle belirtilen alan, ısıtmada ortalama iklim bölgesi için sırasıyla cihazın $P_{tasarım}$ yani -10 °C tasarım sıcaklığındaki gerekli ısıtma kapasitesini, SCOP değerini ve yıllık enerji tüketimini vermektedir. Turuncu ve mavi ile gösterilen bölgeler ise sırasıyla daha sıcak ve daha soğuk iklim bölgelerini belirtmektedir. İlgili yönetmeliğe göre klima üreticileri yeni enerji etiketinde ortalama iklim bölgesine göre gerekli değerleri hesaplayıp enerji etiketinde göstermek zorundadır. Diğer iki iklim bölgesi için ise böyle bir zorunluluk yoktur. (Feidt,2020)



Şekil 5. Avrupa Birliği Bölgesi İçin Yeni Enerji Etiketleri

Türkiye’de ise 24.12.2013 tarihli ve 28861 sayılı resmî gazetede “Klimaların Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ” yayınlanmıştır. Bu tebliğde ısıtma sezonu için Türkiye’nin iklim haritası çıkarılmış ve bu haritaya göre Türkiye 3 farklı iklim bölgesine ayrılmıştır. Şekil 6’da görüleceği gibi Türkiye’de kullanılacak olan yeni enerji etiketi ile Avrupa’da kullanılan enerji etiketi arasındaki tek fark enerji etiketinde ısıtma bölümünde Türkiye haritasının da bulunmasıdır. Bu tebliğ 01.01.2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Onat, 2016).



Şekil 6. Türkiye için Yeni Enerji Etiketleri

ISI POMPASI BİLEŞENLERİ

Isı pompasının, kompresör, evaporatör, kondenser ve kısılma vanası olmak üzere dört temel birleşeni bulunmaktadır.

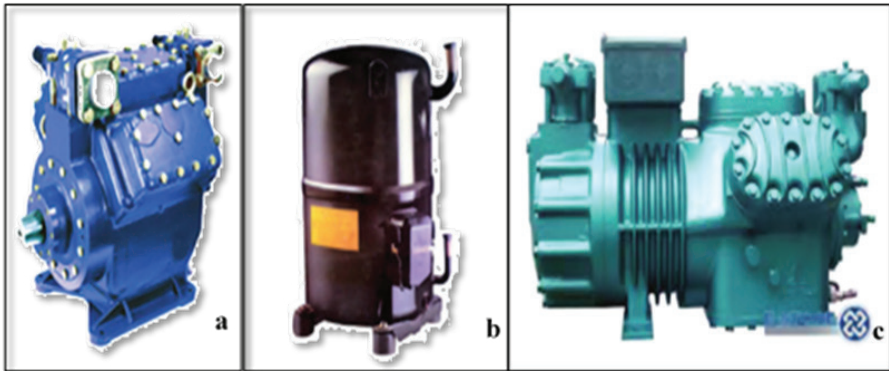
KOMPRESÖR

Kompresörler soğutma sistemlerinde yer alan soğutucu akışkanın dolaşmasını sağlamasının yanında buharlaştırıcıdan kızgın buhar ve alçak basınç olarak çıkan akışkanı çevrim içinde yüksek basınçta yoğunlaşması için kondensere sıkıştırmaktadır. Gövde yapılarına ve sıkıştırma mekanizmalarına göre kompresörlerin farklı tipleri bulunmaktadır. Gövde yapılarına göre 3 çeşit soğutma kompresörü bulunmaktadır.

Açık tip kompresörler, bazan bir motor veya elektrikli motoru kullanılarak direkt akuple veya kayış kasnak sistemi ile tahrik edilmektedir. Şekil 7a'da görülen açık tipli kompresörlerin verimlilikleri yüksek olmasının yanında kompresör başlıkları kolaylıkla soğutulmakta ve tamir kolaylığı bulunmaktadır.

Hermetik kompresörler soğutucu akışkandan kaynaklı sızıntıları ortadan kaldırmak için aynı gövde içinde yer almaktadır. Küçük kapasiteli sistemlerde kullanılmakta olan bu kompresörlerin son yıllarda kapasite değerleri artmaktadır. Şekil 7b'de verilen hermetik kompresörler tamir edilemez olduklarından aynısı ile değiştirilmelidir.

Şekil 8c'de gösterilen yarı-hermetik kompresörler çoğunlukla soğutma ihtiyacının çok yüksek olduğu alanlar için tasarlanan sistemlerde kullanılmaktadır. Tamir edilebilmesinin yanında silindir başlıkları da çıkarılabilmektedir.

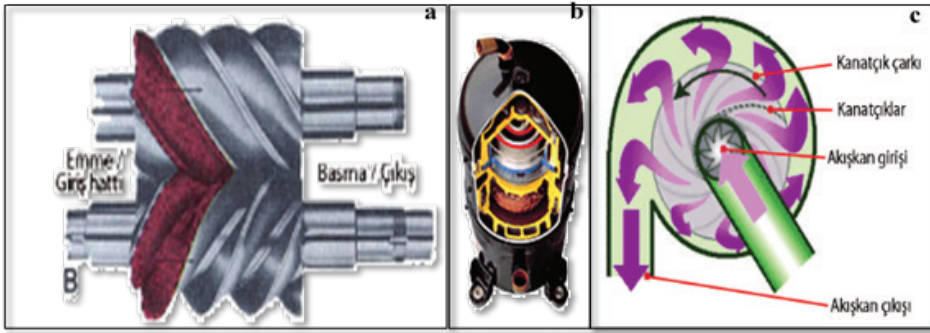


Şekil 7. a) Açık Tipli b) Hermetik ve c) Yarı-Hermetik

Sıkıştırma mekanizmalarına göre ise kompresörler beş grup altında toplanmaktadır. Şekilde 8a’da gösterilen vidalı kompresörler, piston yerine birbirlerine bağlanmış başka bir ifade ile iç içe geçmiş rotor (çark) çiftlerinden oluşmaktadır. Rotorlar bir mil üstünde bulunan ve helisel adı verilen yapıda hareket eden interloblardan oluşmaktadır. Rotorlar dönme hareketini yaptıkça interloblarda yer alan soğutucu akışkan sıkıştırılmaktadır.

Scroll diğer bir adıyla sarmal kompresörler düşük enerji tüketmeleri ve sessiz çalışmaları için tercih edilmektedirler. Şekil 8b’de görüldüğü gibi spiral şeklinde üretilmiş iki metal levhadan meydana gelmektedir. Levhalardan biri dönme hareketini gerçekleştirirken diğeri ise sabit durmaktadır.

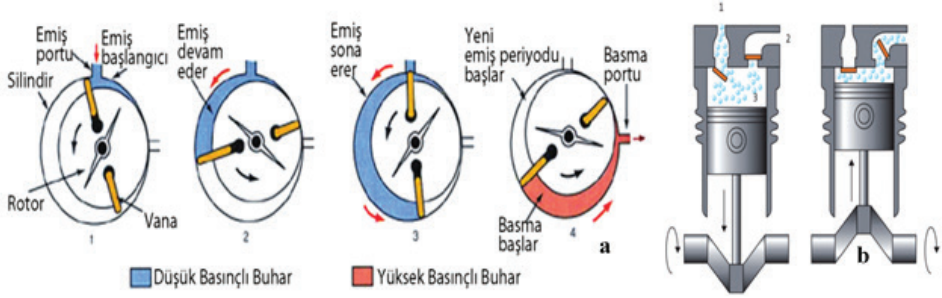
Santrifüj kompresörler, sıkıştırma işlemini merkezkaç kuvveti ile gerçekleştirmektedir. Yüksek devir ile dönmekte olan çarkın merkezinden emilen buhar, merkezkaç sayesinde çıkış kısmına iletilir. Özgül hacmi yüksek ve buharlaşma basıncı düşük akışkanların kullanıldığı uygulamalarda genellikle sıkıştırma amaçlı bu tip kompresörler kullanılmaktadır. Bir örneği Şekil 9c’de gösterilmektedir.



Şekil 8. a) Vidalı Kompresör, b) Scroll Kompresör ve c) Santrifüj Kompresör

Dönel ya da diğer bir adıyla paletli kompresörler daha sessiz çalışması ve az yer kaplaması daha az enerji harcaması en büyük sahip olduğu avantajlardır. Silindir içinde yer alan rotorun dönme hareketi ile soğutucu akışkan sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. Dönel kompresörün bir görseli Şekil 9a’da gösterilmektedir.

Şekil 9b’te ise gösterilen piston kompresörler, soğutma sistemlerinde ve klimalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Pistonun ileri geri hareketi sonucunda sıkıştırma işlemi oluşmaktadır.



Şekil 9. a) Dönel Kompresör ve b) Pistonlu Kompresör

Son dönemde invertörlü kompresörler hemen hemen bütün soğutma ve ısı pompası uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip kompresörlerde, ısıtma/soğutma kapasitesini modüle etmek için kompresör motor hızını kontrol eden sürücüler kullanılmaktadır.

EVAPARATÖR

Evaporatör veya buharlaştırıcı diğer adıyla ısı değiştirici olarak ifade edilen ve boruları içerisinde dolaşan soğutucu akışkanın bulunduğu mahalden veya sıvıdan ısı çekerek buharlaştırma olayının gerçekleştiği ısı pompası elemanıdır. Evaporatörler, genişleme elemanında basıncı düşürülen ve düşük sıcaklıklarda buharlaşan soğutucu akışkanın, ısı çekerek soğutmayı gerçekleştirdiği elemandır.

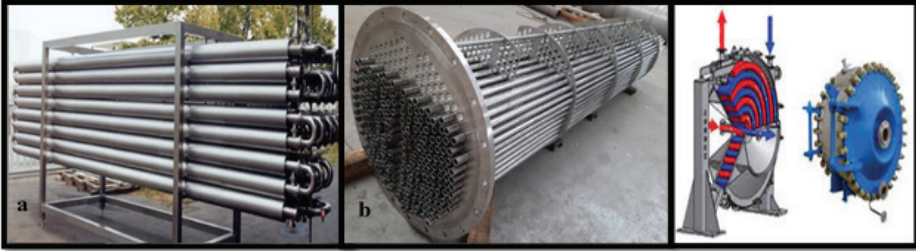
Uygulamada çok farklı tiplerde evaporatörler bulunmaktadır.

Boru tipli ısı değiştiriciler çoğunlukla çok sayıda borulardan oluşmaktadır. Dairesel yapıda olan bu borular geometrik şekilleri gereği daha yüksek basınca dayanıklılıkları oldukça fazla olduğundan diğer ısı değiştirici türlerine göre yüksek basınç ortamlarda daha fazla tercih edilmektedirler. Boru tipi ısı değiştiricilerin çift borulu ısı değiştiricisi, gövde borulu ısı değiştiricisi ve spiral borulu ısı değiştiricisi olarak çok farklı türleri mevcuttur.

Çift borulu ısı değiştiricilerin en fazla kullanıldıkları durum düşük ısı transferi gerekli olan ısıtma veya soğutma işlemleridir. Şekil 10a'da yer alan bir çift borulu ısı değiştiricisi, akışı bir bölümden diğerine yönlendirmek için uygun bağlantı parçaları ile daha büyük çaplı başka bir borunun içine eş merkezli olarak yerleştirilmiş bir veya daha fazla borudan oluşmaktadır.

Gövde borulu ısı değiştiriciler, dairesel bir boru demetinden ve silindirik bir yapıya sahip gövdeden oluşmaktadır. Şekil 10b'de gösterilen gövde borulu ısı değiştiricinin en büyük avantajı borulardan soğutucu akışkan ve gövde kısmından diğer akışkan (su) geçirilerek elde edilen ısı transferidir. Bunun tersi olan uygulamalarda vardır. Böylece sahip olduğu yüzey alanına ve hacmine göre oldukça yüksek bir değerde ısı transferi gerçekleştirilmektedir.

Görseli Şekil 10c'de yer alan spiral borulu ısı değiştirici metal malzemedен üretilen iki şerit levhanın helisel geometrik şekilde sarılmasıyla elde edilmektedir. Helisel geometrik şekline sahip sarmalların aralarının düzgün ve simetrik bir yapıda olması gerekmektedir.

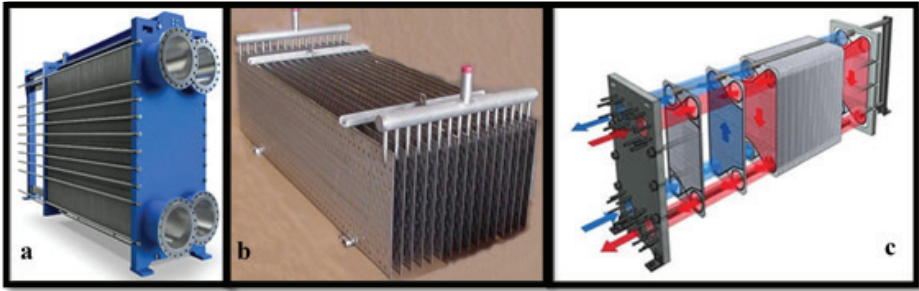


Şekil 10. a) Çift Borulu, b) Gövde Borulu ve c) Spiral Borulu Isı Değiştirici

Şekil 11a'da yer alan contalı-plakalı ısı değiştiriciler, plakalar, kanalları kapatan ve akışkanı alternatif kanallara yönlendiren elastomerik contalarla donatılmıştır. Plaka demetleri, bir çerçeve plakası ile bir baskı plakası arasında monte edilmekte ve bu plakalar arasında takılan civatalar sıkılarak sıkıştırılmaktadır. Şekil 11b'de gösterilen lamel tipli ısı değiştiriciler, bir gövde içerisinde uzunlamasına yerleştirilmiş birbirine paralel ve araları kaynaklı ince plaka kanallardan veya lamellerden meydana

gelmektedir. Bu lameller düz bir yapıya sahip oldukları gibi dikdörtgen bir şekle sahip borular şeklinde olabilmektedir (Nikitin, 2021).

Plakalı ısı değiştiricileri iki akışkan arasındaki ısı transferini sağlamak için farklı tasarımlara sahip metal plakalardan oluşmaktadır. Yapısı gereği iki akışkan asla birbirleriyle karışmamaktadır. Görseli Şekil 11c’de verilen bir plakalı ısı değiştiricisi, birbirinin üzerine yerleştirilmiş birkaç paralel plakadan oluşmakta ve böylece akışkanların aralarında akabileceği bir geçit oluşurmaktadır.



Şekil 11. a) Conta-Plakalı, b) Lamel Levha ve c) Plakalı ısı Değiştirici

Kanatlı yüzeyle ısı değiştiricileri tasarım gereği ısı transfer yüzeyle alanını en üst düzeye çıkarmak için üretilmektedir. Kanatlı yüzeyle ısı değiştiricileri, ısı transfer hızını arttırmak için genişletilmiş dış yüzeyle alanına veya kanatçıklara sahip borulardan oluşmaktadır. Zorlanmış taşınımlı evaporatörlerde soğutulan hava bir fan vasıtasıyla soğutulacak ortama basılır. Cebri hava sirkülasyonu evaporatörler daha az ısı geçiş alanı ile çok daha yüksek yüksek kapasiteler sağlayabilmektedir. Uygulamanın durumuna uygun ise tercih edilirler. Hava hareketi çoğunlukla aksiyal/pervane tipi bazen de radyal/santrifuj tip fanlarla sağlanmaktadır. Bu cihazlar soğutucu serpantin (evaporatör) hava ve tahliye tavaşından meydana gelmektedir. Fan, üfleyici ve emici şekilde çalışacak şekilde yerleştirilebilir. Şekil 12’de Fanlı (cebri sirkülasyonlu) evaporatör gösterilmektedir.

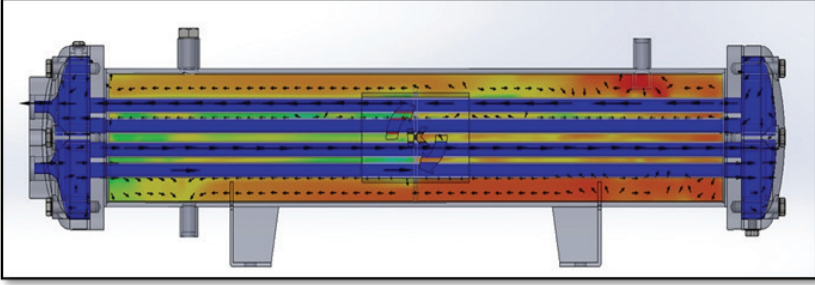


Şekil 12. Fanlı (Cebri Sirkülasyonlu) Evaporatör

KONDERSER

Kondenser, kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanı sıvıya dönüştürerek yoğunlaşma işlemini sağlanan bir tür ısı değiştiricisidir. Kondenserler otomobil, inşaat, endüstriyel tesisler, soğutma ve iklimlendirme sistemleri ile buhar türbini sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kondenserlerde bakır, pirinç, alüminyum, karbon çeliği, paslanmaz çelik ve titanyum yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Şekil 13’de örnek olarak gövde borulu bir kondenser gösterilmektedir. Gövde borulu ısı değiştiricisi, uygulama sıcaklığının ve basıncının geniş bant aralığında olması sebebiyle diğer ısı değiştiricilerine göre daha fazla kullanılmaktadır.

Kondenserlerde ısı transferi üç farklı aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama soğutucu akışkanın kızgınlığının alınması, ikinci aşama faz değişimi (yoğuşurma) ve üçüncü aşama ise sıcaklığın yoğuşma sıcaklığının altına düşürülmesi (subcooling) olarak tanımlanmaktadır. Kondenser yüzey alanının yaklaşık % 85’lik kısmında yoğuşurma (kondenserin asıl görevi) işlemi gerçekleşmektedir. Kızgınlığın alınması için yüzey alanının %5’i ve subcooling işlemi için yüzey alanının %10’a ihtiyaç bulunmaktadır.



Şekil 13. Gövde Borulu Kondenser

Standart bir kondenserin spesifikasyonu (bir cihazın kendisine has özellikleri) yoğuşma kapasitesi, kabul edilebilir düzeyde basınç kaybı, kullanılan akışkan türü, kondenser malzemesi, çalışma sıcaklığı ve çalışma basıncı ile akış debisi olarak tanımlanmaktadır.

Kondenseler, yoğuşma ortamı, ısı transfer yöntemi, uygulama tipleri vb. birçok faktöre göre kategorize edilir. Kondenseler, ısı transfer sistemlerine çok farklı yapıda dizayn edilebilmektedir. Buhar sıkıştırma mekanik soğutma sistemlerinde üç farklı tip kondenser kullanılmaktadır;

- 1) Yoğuşturma akışkanı olarak havanın kullanıldığı hava soğutmalı kondenseler
- 2) Yoğuşturma akışkanı olarak suyun kullanıldığı su soğutmalı kondenseler
- 3) Hava ve suyun bir arada kullanıldığı evaporatif kondenseler.

Soğutma sistemlerinde kullanılan kondenser tiplerinden sadece hava soğutmalı kondenser görseli Şekil 14'te gösterilmektedir.



Şekil 14. Hava Soğutmalı Kondenser

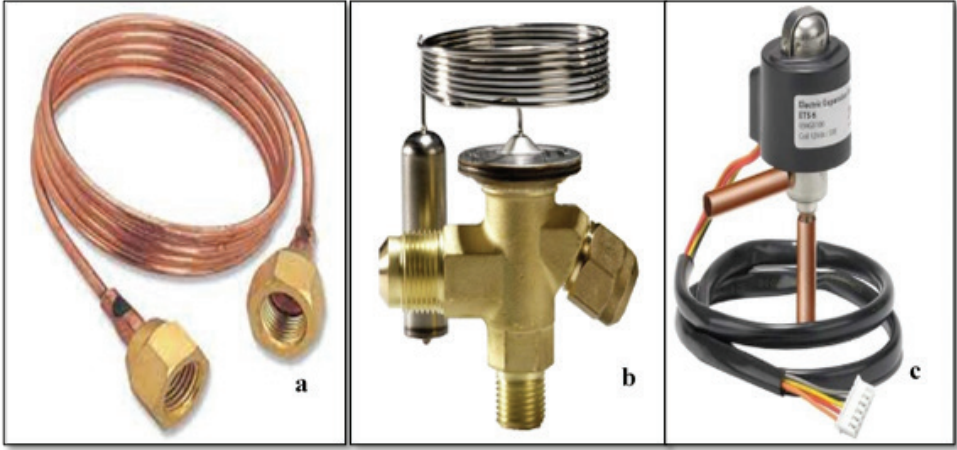
GENLEŞME ELEMANLARI

Soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanın basıncını evaporatör basıncına kadar düşürmesini sağlayan genişleme elemanıdır. Kısılma işlemini yapan çeşitli genişleme elemanları bulunmaktadır.

Herhangi bir hareketli birleşeni olmayan kılcal borular, akış kontrollerinin en basit elemanıdır. Genleşme işlemi uzun, dar borunun neden olduğu basınç düşüşünden kaynaklanmaktadır. Borudan geçen kütle, yoğunlaşan ve buharlaşan taraflar arasındaki basınç farkına bağlıdır. Bir örneği Şekil 15a'da yer alan kılcal borular, ev tipi buzdolapları gibi küçük, yüksek hacimli ticari sistemlerde kullanılmaktadır. Sabit basınçlı genişleme valfi, evaporatör içindeki basıncı sabit tutmakta ve yay basıncının ayarına göre otomatik olarak ayarlamaktadır. Sabit basınçlı genişleme valfinin temel amacı, evaporatörün soğutma kapasitesi ne olursa olsun, evaporatörün basıncını sabit tutmaktır.

Termostatik genişleme valfi evaporatöre gönderilen soğutucu akışkanını evaporatör çıkış sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak kontrol eden bir soğutma ve iklimlendirme kısma cihazıdır. Ayrıca Şekil 15b'de gösterilen termostatik genişleme valfi, klima ve soğutma sistemlerinde, ısı pompaları gibi daha yüksek kapasiteli sistemlerde kullanılan genişleme valfleridir.

Elektronik genişleme valfi, soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir kısma elemanıdır. Isı pompası sistemlerinde soğutucu akışkanının debisinin değişiklik gösterdiği durumlarda evaporatöre yeterli miktarda akışkanın gönderilmesi bakımından elektronik genişleme valfi kilit rol oynamaktadır. Elektronik genişleme valfleri, diğer genişleme valflerinde göre daha verimli çalışmaktadır. Elektronik genişleme valflerinde kapasite kontrolü evaporatör çıkış sıcaklık değerine göre yapılmaktadır. Elektronik genişleme valfleri step motor kontrollü, ısı-motor kontrollü, darbe on/off kontrollü ve elektromanyetik modülasyon kontrollü olarak dört gruba ayrılmaktadır. Şekil 15c'de elektronik genişleme valfi örneği verilmektedir.



Şekil 15. a) Kılcal Boru, b) Termostatik Genleşme Valfi ve c) Elektronik Genleşme Valfi

ISI POMPASININ SINIFLANDIRILMASI

Isı pompalarının kullandığı enerji türü ısı pompası teknolojisinin belirlenmesinde ve aynı zamanda sınıflandırılmasında etkili olmaktadır. Bu nedenle ısı pompası çeşitleri ısı kaynaklarına, konutlar içindeki konumuna, uygulanmasına ve amaçlarına göre değişiklik göstermektedir.

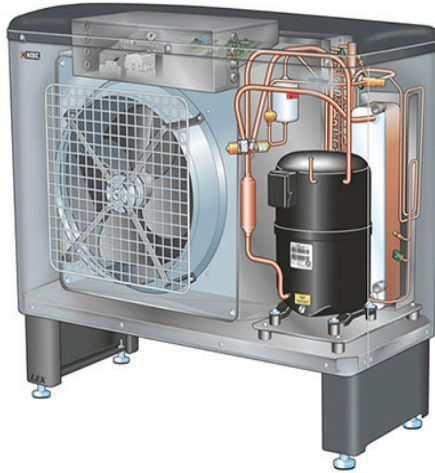
Buhar Sıkıştırırmalı Isı Pompaları

Buhar sıkıştırırmalı ısı pompaları endüstriyel tesisler ve kentsel alanlarda enerji tüketimi konusunda daha fazla fayda sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Optimum çalışma değerlerinin elde edilmesi için mevcut en iyi ısı pompası teknolojisini seçilmesi, değerlendirilmesi ve üretilmesi adına çok çeşitli tasarım parametreleri bulunmaktadır. Mevcut en iyi ısı pompası teknolojisini seçmek, kullanılacak olan enerji kaynağına, ısı pompasının performans analizine ve ilk yatırım maliyetine bağlıdır. Başka bir ifade ile ısı pompasının önceden belirlenmiş veya önceki ölçümler ile tahmin edilen çalışma koşullarındaki performans durumu seçilecek teknoloji için önem arz etmektedir. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası çevriminin ve akışkanının termodinamik performansının yanı sıra, tek tek bileşenlerin uygulamalardaki sınır değerleri dikkate almak ısı pompasının performansını arttıracak gibi cihazın ömrünü de uzata-

caktır. Endüstriyel uygulamalar için kaynak sıcaklıkları 50°C ile 90°C arasında olan birçok sistemde buhar sıkıştırma ısı pompası tercih edilmektedir.

Isı pompalarının çoğu buhar sıkıştırma çevrimine göre çalışmaktadır. Böyle bir ısı pompasındaki ana bileşenler, kompresör, genişleme valfi ve evaporatör ile kondenser olarak adlandırılan iki ısı değiştiricisidir.

Bileşenler, içinden bir soğutucu akışkanın dolaştığı kapalı bir devre oluşturacak şekilde bir çevrim oluşturmaktadır. Evaporatörde basıncı düşürülen sıvı haldeki akışkanın buharlaştırılmasıyla ısı kaynağından ısı çekilmektedir. Bu olayın gerçekleştirilebilmesi için evaporatör sıcaklığının ısı kaynağı sıcaklığından daha düşük olması gerekmektedir. Daha sonra, evaporatörden gelen kızgın buhar kompresör tarafından sıkıştırılarak daha yüksek basınç ve sıcaklık ile kondensere gitmekte ve yoğunlaşmaktadır. Son olarak, yüksek basınçlı akışkan, genişleme valfinden evaporatör basıncına ve sıcaklığına düşürülmektedir. Kapalı çevrim sürekli bu şekilde tekrarlanmaktadır. Şekil 16’ta hava kaynaklı ısı pompası örneği gösterilmektedir.



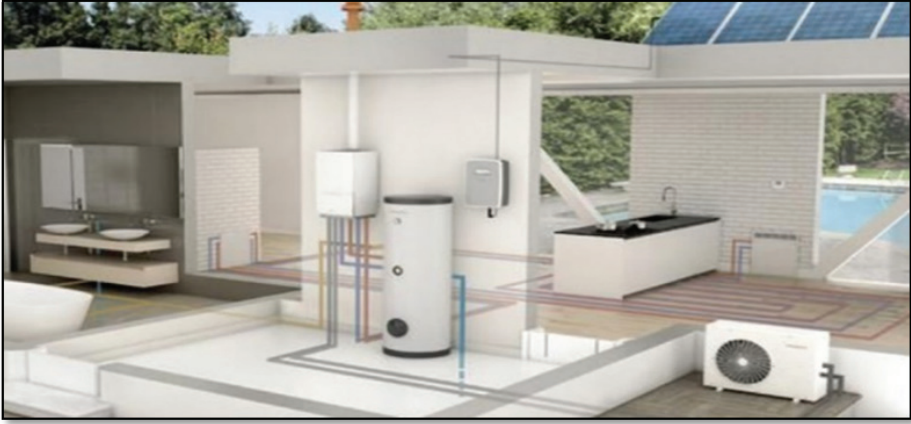
Şekil 16. Hava Kaynaklı Isı Pompası

Hibrit Isı Pompaları

Hibrit ısı pompası terimi, başka bir ısı kaynağına bir ısı pompası entegre edilmesi işlemidir. Örneğin, fosil yakıt (doğalgaz, yağ veya LPG)

kazanı ile birlikte bir ısı pompasının çalışması olarak tanımlanabilir. Şekil 17'de havadan suya ısı pompası ile doğalgazlı ısıtma sisteminin birlikte kullanılması gösterilmektedir. Hibrit sistemler, tek bir sistem oluşturmak için iki veya daha fazla enerji kaynağının bir araya getirilmesiyle ısıtma, soğutma ve/veya evsel sıcak su sağlayan sistemler olarak sektörde yerini almaktadır.

Çalışma konumları üreticinin otomasyon senaryolarına göre değişmektedir. Isı pompası, yıllık ısıtma talebinin çoğunu karşılamak için kullanılmakta ve yalnızca kışın düşük dış ortam sıcaklığının olduğu zamanlarda kazan tarafından desteklenmesi gerekmektedir. Bu hibrit sistemin, bir doğalgaz kazanı ile karşılaştırıldığında enerji verimliliğini yaklaşık %10 artırdığı ve değişken dış ortam sıcaklıklarına veya değişen elektrik ile doğalgaz tarifelerine bağlı olarak işletme ve konut enerji maliyetlerini azalttığı görülmektedir.



Şekil 17. Hibrit Isı Pompası Sistemi

Geleneksel doğalgaz kazanlarına ve ısı pompalarına kıyasla hibrit ısı pompalarının kullanılmasında ciddi kazanımlar elde edilmektedir. Bunların bazıları aşağıda açıklanmaktadır.

- CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeli bulunmaktadır.

- Isı pompasının mevsimsel performans etkinlik katsayısı (SCOP) ve kazan verimliliği göz önüne alınarak her zaman en düşük ısıtma maliyeti elde edilebilir.
- Özellikle bağımsız konut ve villa uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilir.

Bu sistemlerin ticarileştirilmesi için aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması gerekmektedir.

- Bu sistemlerin entegrasyonu sağlayacak donanımları geliştirmek için ARGE çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Hibrit sistemlerin en yüksek performansta çalışması için uygun kontrol ve otomasyon stratejileri geliştirilmeli ve algoritmaların en verimli şekilde çalıştırılması gerekmektedir. Bu durum algoritmalarındaki iyileşmeye neden olmakta ve hem fiyat hem de SCOP değerini etkilemektedir.
- Hibrit sistemlerin en büyük zorluklarından biri, tüm sistemin verimliliğinin hesaplanması ve kalıcılığının sağlanmasıdır.
- Sistemin geliştirilmesini için yeni standartlara ihtiyaç duyulmaktadır.

ISI KAYNAKLARINA GÖRE ISI POMPASI

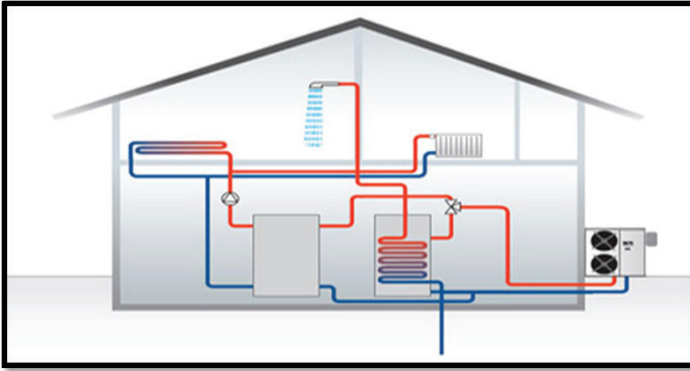
Isı pompaları arasında temelde hava kaynaklı ısı pompası, toprak kaynaklı ısı pompası ve su kaynaklı ısı pompası bulunmaktadır. Ayrıca atık baca gazından, jeotermal kaynaktan ve güneş enerjisi vb. uygulamalardan da yararlanılmaktadır. Bu başlık altında hava, su ve toprak enerji kaynaklı ısı pompaları kısaca tanımlanacaktır.

HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI

Hava kirliliği sorununun ana kaynaklarından biri fosil kaynakların enerji elde edilmesi için kullanılmasıdır. Son yıllarda, Avrupa Birliği dahil birçok kurum ve kuruluş, kışın evi ısıtmak ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için enerji tüketiminde fosil yakıtlar yerine doğrudan elektrik enerjisi tüketen cihazlar kullanılmasını önermektedir. Isı pompalarının çevre açısından daha fazla anlamlı olabilmesi için elektrik enerji-

sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi de önemlidir. Hava kaynaklı ısı pompası sistemi, en düşük dereceli termal enerjiyi sonsuz enerji kaynağı olan havadan almak için elektrik enerjisi kullanmaktadır. Dolayısıyla net enerji tüketimini ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarını azaltmanın bir aracı olarak iç ortam sıcaklıklarının kontrolü için gittikçe daha fazla sayıda ısı pompası sistemi kullanılmaktadır.

Hava kaynaklı ısı pompası sistemi, yeraltı suyundan veya yerden gelen ısıyı bir ısı değiştirici veya kolektör ile emen toprak kaynaklı ısı pompası sisteminden farklı olarak dış ortam havasında var olan ısıyı almaktadır. Son yıllarda hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performanslarının artışı üzerine odaklanan araştırmacılar, hava kaynaklı ısı pompasında oluşabilecek buzlanma ve kar-çözme (defrosting) koşulları altında ısı pompasının performansını iyileştirici çalışmalar yapmaktadır. Özellikle dış mahal serpantininde oluşacak bir buzlanma sorunu hava kaynaklı ısı pompası performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca yapılan araştırmalarda kırsal bölgelerdeki elektrik dağıtım şebekesindeki güç kesintileri ve şebeke yüklerini/kapasitelerini dikkate almadıkları görülmektedir. Şekil 18’de yer alan hava kaynaklı ısı pompası sistemleri için verimlilik endekslerinden biri, ısıtma durumunda kullanılan mevsimsel performans katsayısı (SCOP) ve soğutma durumunda kullanılan mevsimsel enerji verimliliği oranıdır (SEER).



Şekil 18. Hava Kaynaklı Isı Pompası

Hava kaynaklı ısı pompasının sistemleri, dış ortam sıcaklığı -20°C 'ye kadar olsa bile havadan ısı alabilmektedir. Kompresör hızının farklı

kontrol şekillerine göre iki tip hava kaynaklı ısı pompası sistemi bulunmaktadır.

Isı pompalarında sabit ve değişken devir hızlı kompresör kullanılmaktadır. Sabit hızlı kompresörler, sabit devirde çalışmakta verimliliği düşük olmaktadır. Bu sistemler sabit sıcaklıkta on/off olarak çalışmaktadır. Çoğu gelişmiş ülkelerde enerji verimliliği açısından kullanımı ve üretimi yasaklanmaktadır.

Değişken devirli bir kompresör kullanan hava kaynaklı ısı pompası yük değişiminin fazla olduğu sistemlerde kısmi yüklere göre devir sayısını düşürmekte ve böylece verimliliği arttırmaktadır. Bu kompresörlerin devir kontrolleri çeşitli mekanizmalarla ayarlanmaktadır. Bunların en önemlisi invertör tahrikli uygulamalardır. Dolayısıyla değişken devirli sistemler daha az enerji tüketmekte ve SCOP değerleri daha yüksek olmaktadır. Örneği Şekil 19'da yer almaktadır. Geleneksel kompresörlere göre birçok performans iyileştirmesine sahiptir. Örneğin;

- Kısmi yüklerde daha yüksek verimlilik ve mevsimsel enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- Soğuk havalarda daha yüksek kapasiteye ulaşabilmekte ve bir konutun ısıtma ihtiyaçlarına daha iyi uyum sağlayabilmektedir.
- Ekipmanın kademeli olarak çalıştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.
- Yerel elektrik şebekelerinde kademeli çalıştırmasını sağlayarak elektrik hatlarının yoğunluğunu azaltmaktadır.



Şekil 19. Değişken Debili Isı Pompası

Hava kaynaklı ısı pompası bileşenlerinin farklı montaj konumlarına göre iki temel üç hava kaynaklı ısı pompası tipi vardır.

Split (Ayrık) Sistemler

Hava kaynaklı ısı pompası split sistemleri, “Kömürün elektrikle değiştirilmesi” projesindeki en yaygın kullanılan hava kaynaklı ısı pompası türüdür. Split hava kaynaklı ısı pompaları, bir dış fan ünitesi ve bir iç üniteden oluşmaktadır. Dış ünitesi ortam havasındaki ısıl enerjiyi çekerken, iç ünite ortamı ısıtmaktadır. Aynı zamanda bir termostat ve kontrol paneli görevi görmektedir. Şekil 20a’da gösterilen split (bölünmüş) ısı pompasının iç ünitesi, merkezi ısıtma sistemine bağlı olan tek parça olduğundan, dış üniteyi nereye yerleştirebileceği konusunda kullanıcıya daha fazla özgürlük sağlamaktadır. Bazı split (bölünmüş) hava kaynaklı ısı pompaları için dış ünitenin iç üniteden 75 metreye kadar uzağa yerleştirilmesi imkânı vermektedir.

Packaged (Paket) Sistemler

Packaged (Paket) sistem hava kaynaklı ısı pompasına hem serpantinleri hem de fan monte edilebilmektedir. Isıtma ve/veya soğutma bileşenlerinin çoğu tek bir kabine yerleştirilmiştir. Bu sistemler ılıman iklimlerdeki konutlar için kullanılmaktadır. Daha az yer kapladığından alan sorunu olan yapılarda sıklıkla tercih edilmektedir. Örneği Şekil 20b’de yer almaktadır.



Şekil 20. a) Split (Ayrık) Sistemler ve b) Packaged (Paket) Sistemler

SU KAYNAKLI ISI POMPASI

Su, ısı pompası ve soğutma endüstrisinde bilinen en güvenli iş akışkanıdır. Neredeyse tamamen ücretsiz ve kolayca kullanılabilme özelliği bulunmaktadır. Çoğu ısı pompası malzemesi ile de çok kararlı bir şekilde çalışabilmektedir. Suyun kritik basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 220 bar ve 373,9°C'dir. Bununla birlikte, suyun atmosfer basıncında kaynama sıcaklığı yaklaşık olarak 100°C'dir. Dolayısıyla ısı pompası uygulamalarında enerji kaynağı ve ısı taşıyıcısı olarak kullanılması uygundur.

Çok zonlu veya çok odalı yapılarda ısıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. İklimlendirme mühendisleri bu hesaplamaları yaparken mevsimsel yük değişimlerini ve bina konumunu dikkate almalıdır. Hatta yük değişimlerinin gün boyunca değişebilirliği dikkate alınmalıdır.

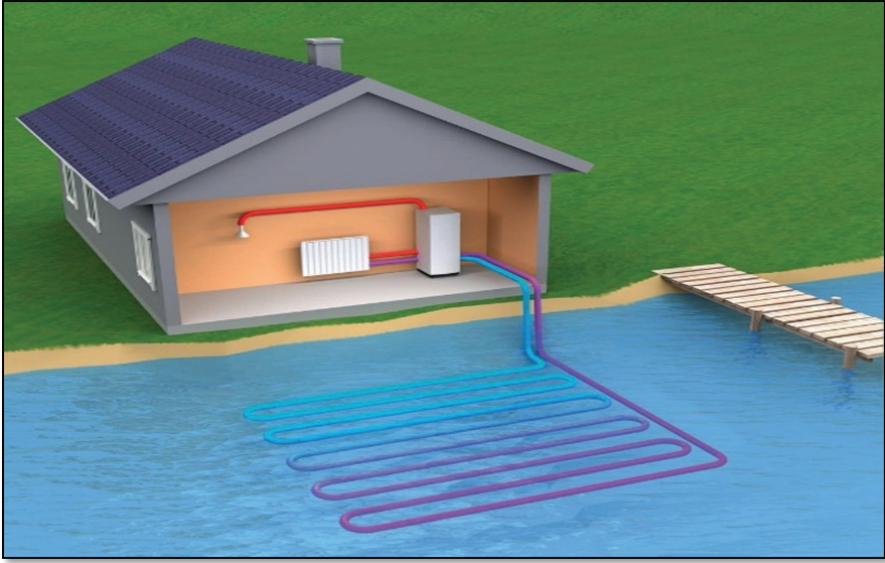
Isı pompası için gerekli hesaplamalar mimariye bağlı olarak konut-tan konuta göre değişebilir. Bu nedenle ısı pompası sistemi üzerine çalışan mühendislerin mimari yapısı değişen konutlarda ısıtma ve soğutma yüklerinin değişeceğini dikkat alması gerekmektedir. Büyük ya da küçük kapasiteye sahip soğutma ve ısıtma sistemlerinin sahip olacağı ekipmanlar da farklılık gösterecektir. Hesaplamalarda yapılacak olan hatanın konut için seçilecek olan sistemin kapasitesinde sapmalara neden olması kaçınılmazdır.

Şekil 21'de gösterilen su kaynaklı ısı pompası sistemleri, yapıların ısıtılması ve soğutulması için mevcut en verimli, çevre dostu sistemlerden biridir. Bir yapı içindeki hemen hemen her yere yerleştirilme özellikleri bulunmaktadır. Her su kaynaklı ısı pompası sistemi, yalnızca hizmet verdiği bölgenin ısıtma veya soğutma yüküne yanıt verebilmektedir. Bu sayede yapı sahipleri için mükemmel bir konfor kalitesi sunmakta, ayrıca enerji kullanımının daha iyi kontrolünü ve mevsimlik işletme maliyetlerinin düşürülmesini sağlamaktadır.

Su kaynaklı ısı pompaları deniz suyu, nehir suyu, göl suyu, kuyu suyu vb. su kütlelerini kullandıklarından dolayı ısı değiştiricilerin korozyona karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir. Kaynak suyu sirkülasyonu için uygun debide sirkülasyon pompası seçilmelidir. Ancak

unutulmamalıdır ki devre sayılarının artması kontrol çıkış noktalarının artmasına ve kontrol işlemini zorlaştırmaktadır.

Bunlara ek olarak literatürde yapılan çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde deniz suyu kaynaklı ısı pompası uygulamaları geleneksel ısıtma sistemi ile karşılaştırıldığında daha verimli olmaktadır. Bu tür uygulamalarda gidiş dönüş su sıcaklıkları farkı ortalama 15°C 'dir. Su kaynaklı ısı pompası sisteminin etkinlik katsayısı evaporatörün su kaynağından çektiği ısı miktarına ve kompresörün akışkana verdiği ısıya bağlıdır. Sistemde dolaştırılan su devrelerinde ve otomasyon için tüketilecek diğer enerji miktarlarında dikkate alınmalıdır.

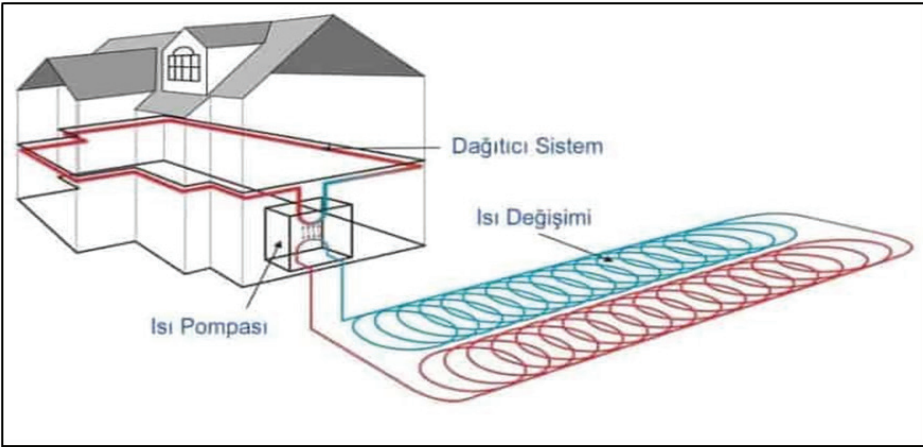


Şekil 21. Su Kaynaklı Isı Pompası

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi son yıllarda konutların ısıtması ve soğutmasında yaygın olarak uygulanmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine göre daha yüksek performans sağlamaktadır. Çünkü toprak kaynaklı ısı pompası sistemi, toprağı kışın bir ısı kaynağı ve yazın ise bir ısı emici olarak kullanılmaktadır.

Şekil 22’de yer alan toprak kaynaklı ısı pompası sistemi toprak ısı değiştirici, ısı pompası ve dağıtım sisteminden oluşmaktadır. Kurulum derinliğine bağlı olarak, toprak ısı değiştirici esas olarak iki tipe ayrılabilir. Birincisi kuyu ısı değiştiricileri, diğeri ise yatay zemin ısı değiştiricileridir. Daha az bir arazi alanına sahip konumlarda ve daha iyi termal performans elde etmek için 20-200 m derinliğe kadar açılmış bir kuyu içine monte edilen kuyu ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Buradaki en buyk dezavantaj sondaj ve kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Buna karşılık, 1,5-3 m derinlik aralığında gömülü olan yatay zemin ısı değiştiricileri daha basit bir kurulum prosedürüne ve düşük kazı maliyetine sahiptir. Mali Őartlara ve arazi yapısına göre uygun bir seçim yapılmalıdır.



Şekil 22. Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Toprak ısı değiştiricisi doğrudan ısı kaynağı ile temas etmektedir. Bu da toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansını etkilemektedir. Ayrıca toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin en önemli birleşenidir. Bu nedenle doğru bir Şekilde hesaplaması yapılmalı ve tasarlanmalıdır. Kuyu ısı değiştiricileri için ASHRAE (Amerikan ısıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği) el kitabında önerilen klasik boyutlandırma denklemleri genellikle uzunluğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Formüller, konutun ısıtma ve soğutma ihtiyacına, ısı pompası

sisteminin özelliklerine, kuyu içindeki ve dışındaki termal ve geometrik özelliklere bağlı olduğunu ortaya konulmuştur.

Toprak kaynaklı ısı pompaları, kaynakta oluşacak değişimlerden (kaynakta oluşacak problemler) etkilenmemektedir. Bunun en büyük nedeni toprak tipine ve nem koşullarına bağlı olarak, yaklaşık 10 m'lik derinlikteki zemin sıcaklıklarında mevsimsel değişimin çok az olmasıdır. Bu nedenle, toprak kaynaklı ısı pompaları, hava kaynaklı ısı pompalarına göre avantajlara sahiptir.

Bunlar:

1. Toprak kaynaklı ısı pompaları ısıtma ve/veya soğutma çevrimlerini tamamlamak için daha az enerji tüketmektedir,
2. Toprak kaynaklı ısı pompaları ısıtma ve/veya soğutma işleminde havadan daha kararlı bir enerji kaynağı olan toprak ile etkileşime geçmektedir.
3. Toprak kaynaklı ısı pompaları ısıtma ve/veya soğutma işleminde aşırı düşük dış sıcaklıkta ek ısı kaynağına ihtiyaç duymamaktadır,
4. Toprak kaynaklı ısı pompaları daha az soğutucu akışkan kullanmaktadır.
5. Toprak kaynaklı ısı pompaları daha basit bir tasarıma ve dolayısıyla daha az bakıma sahiptir.
6. Toprak kaynaklı ısı pompaları hava koşullarına maruz kaldığı yere yerleştirilmeleri gerekmektedir.

Toprağa bağlı sistemin yatay ısı değiştiricilerinin boruları en az 1,5 m aralıklı ve 1,2 ile 1,8 m derinliğinde siper adı verilen alanlara gömülmektedir. Örneği Şekil 23'de yer almaktadır. Bu borular arasında minimum ısı etkileşime olmaktadır. Ancak bu sistemin güneş radyasyonundan etkilenme olasılığı yüksektir. Güneş radyasyonu, toprağın yalıtım özelliklerinden dolayı derinliğe doğru ilerledikçe çevrimde verimli bir şekilde tamamlanmasını engellemektedir. Buna rağmen sıcaklık hava kaynaklı ısı pompalarına göre çok daha karardır. Bununla birlikte nemli toprağın kuru topraktan daha fazla sıcaklık değişimine sahip olacağı unutulmamalıdır. Isı değiştiricilerin dikey montajı, arazi alanının sınırlı olduğu

veya hendeklerin yüzey kullanım alanını bozacağı ve sondaj maliyetlerinin makul olduğu yerlerde kullanılır. Yapılacak kuyu işleminin yaklaşık 45 m derinlikte ve 4,5 ile 6,0 m aralıklarla açılması gerekmektedir.



Şekil 23. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kaynak Boru Döşeme

En büyük dezavantaj, başlangıç sermaye maliyetinin daha yüksek olması ve hava kaynağı ısı pompalarında yaklaşık % 30 ile 50 daha pahalı olmasıdır. Bu, ısı değiştiricilerin toprağa gömmek veya enerji kaynağı için bir kuyu açmak için ekstra masraf ve çabadan kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, kurulduktan sonra, sistemin yıllık maliyet daha azdır ve bu da net bir tasarruf sağlamaktadır.

Isıtma ve soğutma için yatay toprak ısı değiştiricilerin uzunluğunu hesaplamak için çok çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir. Polietilen borular yaygın olarak kullanılmakta ve soket füzyon birleştirme ile birlikte genellikle 50 yıllık garanti süreleri bulunmaktadır. Yatay ısı değiştiriciler güneş radyasyonu, yağmur ve rüzgârdan etkilenirken, dikey ısı değiştiriciler alanın yıllık ortalama sıcaklığı ve jeotermal gradyanı ile kontrol edilmektedir. Böylece daha kararlı bir sıcaklık ortamına sahip olmaktadır.

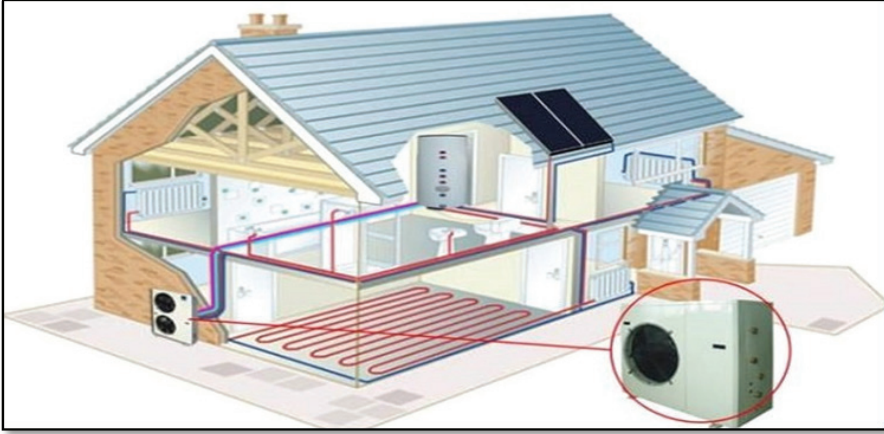
DİĞER ISI POMPASI TÜRLERİ

Güneş Enerjili Isı Pompası

Enerji politikaları enerji tedarik sistemlerinin ağırlıklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmasını gerektirmektedir. Güneş ener-

jisi ile birlikte ısı pompaları, konutların ısıtılması ve kullanım sıcak su temini için kullanılmaktadır. Uygun iklim koşullarında örneğin Akdeniz bölgesinde ısıtma için güneş termal sistemler kullanılmaktadır. Depolama tankına sahip güneş enerjili ısı pompası, jeotermal ısı pompası sisteminden veya geleneksel bir ısı pompasından daha yüksek bir verim sunmakta ve daha az CO₂ emisyonu sağlamaktadır. Bir örneği Şekil 24’te yer almaktadır.

Güneş kolektörleri ve ısı pompası birleşimi, yüksek oranda güneş enerjisine sahip yenilikçi ve enerji tasarruflu ısıtma sistemleri olarak sektörde yerini almaktadır. Giderek azalan fosil kaynaklarının artan maliyeti nedeniyle, güneş ısı pompaları pahalı olsalar bile giderek daha fazla önem kazanmaktadır.



Şekil 24. Güneş Enerjili Isı Pompası

Yapılan bilimsel çalışmalar ile güneş kaynaklı ısı pompası sistemlerinin iklim koşullarının uygun olduğu konumlarda diğer ısı pompaları sistemlerine göre daha az elektrik tükettiği ve enerji tasarrufunun geleneksel ısı pompalarına göre ortalama %19,9 oranında daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca güneş enerjisinin oranı (yüze gelen radyasyon miktarı) arttıkça, güneş kaynaklı ısı pompası sisteminin verimini artırmaktadır.

Güneş ve havadan elde edilen enerji yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarıdır. Ancak, bu iki kaynağın kendine özgü dezavantajları bu-

lunmaktadır. Geleneksel olarak, güneş kolektörü, iklim değişikliğine karşı değişkendir. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ve yağmurlu günlerde daha düşük verimlilikle çalışmaktadır. Dış sıcaklık -20°C düştüğünde, ısı pompası verimliliği azalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı güneş ve hava kaynaklı ısı pompası sistemleri tek bir sistem altında birleştirilerek oluşan dezavantajlar ortadan kaldırılabilir.

Güneş destekli ısı pompası sistemleri yaygın olarak kullanılmasının yanında elektrikli ısıtma sistemlerine kıyasla 3-6 kat daha fazla verim sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklı olduğundan çevresel kirlenmeye neden olmamaktadır. Sistemde kullanılan soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerine ek olarak küresel ısınmaya etkisi ve ozon tabakasına zarar verme potansiyeli göz önünde tutulması gerekmektedir.

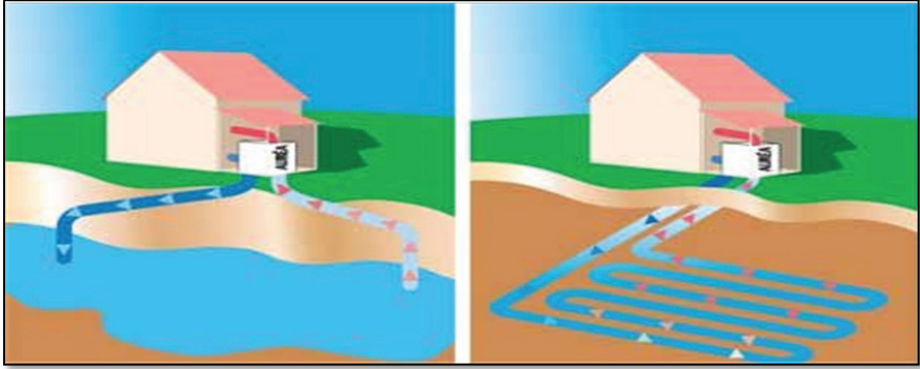
Jeotermal Isı Pompası

Jeotermal enerji elektrik üretimi, doğrudan ısıtma ve jeotermal ısı pompaları ile dolaylı ısıtma şeklinde üç ana kullanım alanına sahiptir. Bu kullanımlara bakıldığında elektrik üretiminde yüksek, doğrudan ısıtmada ise orta sıcaklık ve jeotermal ısı pompalarında ise düşük sıcaklıklar görülmektedir. Yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar genellikle 150°C 'nin üzerinde bir sıcaklığa sahip olacak şekilde sınıflandırılırken, orta ve düşük sıcaklıktaki kaynaklar sırasıyla $90-150^{\circ}\text{C}$ ve 90°C 'nin altındadır. Düşük sıcaklık kaynakları çoğunlukla yere ulaşan güneş enerjisi ve ortam hava sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır. Bu enerji yerden makul derinliklerden elde edilebilir ve ısı pompaları ile faydalı sıcaklıklara yükseltilebilir. Yüksek ve orta sıcaklık kaynakları genellikle daha derinliklerde bulunmaktadır. Derinlik arttıkça sondaj maliyetleri artacağından, bu kaynakların kullanımı genellikle dünya yüzeyine nispeten yakın olduklarında ekonomik olabilir. Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar nispeten sığ derinliklerde bol miktarda bulunmakta ve çoğu yerde aşırı zorluk çekmeden kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıktaki kaynakların en avantajlı kullanımı ısı pompası uygulamasıdır. Yer altı ısı pompası sistemleri genellikle geleneksel ısıtma teknolojilerinden daha fazla çevreye duyarlı ve verimlidir.

Jeotermal ısı pompası sistemleri ve uygulamaları üzerine, performansının daha iyi anlaşılması için birçok çalışma yapılmıştır. Çok sayıda yayın jeotermal ısı pompası sistemlerinin tasarlanmasına ve uygulanmasına yardımcı olacak şekilde bilgiler sunmaktadır. Jeotermal ısı pompası örneği Şekil 25'te yer almaktadır.

Jeotermal ısı pompası sistemi, bir konuta ısı sağlamak için birlikte çalışan üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bileşenler;

1. Jeotermal ısı pompası ünitesi: Konut ile toprak arasındaki ısıyı taşımak için kullanılır.
2. Toprak bağlantısı: Isı pompası ünitesinde kullanılmak üzere ısı enerjisi çekmek için kullanılan ısı değiştiricidir.
3. İç ısı dağıtım sistemi: Isıyı alan boyunca şartlandırmak ve dağıtmak için kullanılan sistemlerdir.



Şekil 25. Jeotermal Isı Pompası

ÖRNEK ISI POMPASI UYGULAMASI

Isı pompası, harici bir enerji kaynağı yardımıyla bir veya daha fazla düşük sıcaklık kaynağından bir veya daha fazla yüksek sıcaklık kaynağına aynı anda ısı enerjisi aktaran cihazlardır. Isı pompaları, ısıyı düşük sıcaklıklı bir ısı kaynağından çekerek daha sıcak bir kaynağa göndermek için tasarlanmış cihazlardır. Isı pompaları, ısıtma sistemlerine kıyasla daha verimlidir ve enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak bunun sağlanması için uygun adımların takip edilmesi gerekmektedir.

Adım 1: Isı Pompası Sisteminin Seçilmesi

Isı pompasının kullandığı ısı kaynağının özellikleri ısı pompası elemanlarının performansını ve ekonomik sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle ısı pompası tipinin seçilmesinde kullanılacak ısı kaynağı önem arz etmektedir. Aynı zamanda ısı pompasının kullanılacağı yere göre bu yerdeki dış ortam koşullarının değişimi, yeraltı ve yüzey suların bulunabilirliği, toprağın yapısı, jeolojik yapı, alan darlığı, mimarı çizim ve ekonomik problemler de ısı pompasının seçim tipini değiştirmektedir. Bu parametreler analiz edilerek en uygun ısı kaynağı belirlenmektedir.

Isı pompalarında kullanılan ısı kaynakları çevre havası, nehir suyu, yeraltı suyu, göl suyu, toprak, deniz suyu, güneş, atık su, sıvı atıklar, jeotermal enerji ve atık hava (atık baca gazı) olarak ifade edilmektedir. Tablo 2’de ısı pompası ısı kaynakları ve sıcaklık aralıkları gösterilmektedir.

Tablo 2’deki değerler referans alınarak yapılan seçimde ısı kaynağının ısıtma veya soğutma dönemlerinde kararlı sıcaklığa sahip olması, malzemeleri aşındırmamalı, sistemi kirletici yapıya sahip olmamalı, kabul edilebilir termofiziksel yapıda olmalı, düşük işletim ve yatırım maliyeti sağlamalıdır. Tüm bu parametreler incelenerek Türkiye İstanbul ilinin Çengelköy ilçesinde bir konut için havadan suya ısı pompası seçimi yapılmıştır.

Tablo 2. Isı Pompası Isı Kaynakları ve Sıcaklık Aralıkları

Isı Kaynağı	Sıcaklık Aralığı (°C)
Çevre havası	-10 - 15
Atık hava	15 - 25
Göl suyu	0 - 10
Yeraltı suyu	4 - 10
Deniz suyu	3 - 8
Nehir suyu	0 - 10
Toprak	0 - 10
Kayaçlar	0 - 5
Atık su ve sıvı atıklar	>10

Adım 2: Bina İzolasyon Tiplerinin Belirlenmesi

- İzolasyonsuz yapı: 13,5 cm'lik tuğla / tek-çift cam - ahşap veya alüminyum doğrama olarak tanımlanmaktadır.
- Orta İzolasyon yapı: 13,5 cm'lik tuğla + 4 cm kadar izolasyon veya 20 cm'lik gazlı beton + 4 cm kadar izolasyon / PVC doğrama - çift cam olarak ifade edilmektedir.
- İyi İzolasyon yapı: 8,5 cm'lik tuğla + 4 cm üstü izolasyon + 8,5 cm'lik tuğla veya 13,5 cm'lik tuğla 4 cm üstü izolasyon veya 20 cm'lik gaz beton + 4 cm üstünde izolasyon / PVC doğrama - çift cam olarak tanımlanmaktadır.

Adım 3: Isı İhtiyaçlarının Hesaplanması

Seçimi yapılacak olan ısı pompası sistemi, ısı kaynağı, ısı pompası ve ısı kullanım sistemleri olmak üzere üç ana yapıda incelenmektedir. Bu ana inceleme gruplarına ısı pompası sistemlerinin planlanması ve hesaplamaları konutun ısı kaybı, konutun ısı kazancı ve sıcak su ihtiyacı olacak şekilde üç kısma ayrılmaktadır. Soğutma ve ısıtma yük ihtiyaçlarının hesaplanması için ülke ve bölgelere yönelik çok farklı standartlar bulunmaktadır. Ülkemizde TSE 825 ve DIN EN 12831 gibi standartlar kullanılmaktadır. Isıtma sistemleri, 55°C'nin altındaki çalışacak yapıya sahip sıcaklıklarda planlanmalıdır. Eğer kullanılan sistemde daha fazla sıcaklık ihtiyacı ortaya çıkarsa bivalent (hibrit) işletim sistemlerine göre mevcut sistem tasarlanmalıdır. Bivalent işletim, uygun görülen bir ısı pompasının farklı bir türde enerji kaynağı kullanan ikinci bir ısıtma sisteminin her aldığı bir hibrit işletme türüdür. Hibrit olarak tasarlanan sistemler alternatif olarak çalıştığı gibi paralel olarak da çalışmaktadır. Alternatif durumda belli bir değerin altındaki düşük sıcaklıklarda ısı pompasının mevcut kapasitesinin yeterli olmadığı durumda alternatif yapı sayesinde ikinci sistem devreye girmektedir. Bu yapıların bulunduğu illerin ve ilçelerin hangi bölgede olduğu Tablo 3'de, verilmektedir.

Tablo 3. İllerin ve İlçelerin Bölgelere Göre Sınıflandırılması

Bölge	İller	İlçeler (İl Bölgesi Farklı Olanlar)
Birinci	Adana, Antalya, Mersin, Muğla, Hatay, İzmir	Ayvalık (Balıkesir), Dalaman (Muğla), Fethiye (Muğla), Köyceğiz (Muğla), Marmaris (Muğla), Milas (Muğla), Bodrum (Muğla) , Datça (Muğla) , Gökova (Muğla)
İkinci	Adapazarı, Çanakkale, İstanbul, Ordu, Tekirdağ, Adıyaman, Denizli, Kahramanmaraş, Rize, Trabzon, Amasya, Diyarbakır, Kilis, Samsun, Yalova, Balıkesir, Düzce, Kocaeli, Siirt, Zonguldak, Bartın, Edirne, Manisa, Sinop, Batman, Gaziantep, Mardin, Şanlıurfa, Bursa, Giresun, Muğla, Şırnak	Hopa (Artvin), Arhavi (Artvin), Abana (Kastamonu), Bozkurt (Kastamonu), Çatalzeytin (Kastamonu), İnebolu (Kastamonu), Cide (Kastamonu), Doğanyurt (Kastamonu)
Üçüncü	Afyon, Burdur, Karabük, Malatya, Aksaray, Çankırı, Karaman, Nevşehir, Ankara, Çorum, Kırıkkale, Niğde, Artvin, Elâzığ, Kırklareli, Tokat, Bilecik, Eskişehir, Kırşehir, Tunceli, Bingöl, Iğdır, Konya, Uşak, Bolu, Isparta, Kütahya	Pozantı (Adana), Korkuteli (Antalya), Merzifon (Amasya), Dursunbey (Balıkesir), Ulus (Bartın), Tosya (Kastamonu)
Dördüncü	Ağrı, Erzincan, Kars, Sivas, Ardahan, Erzurum, Kastamonu, Van, Bayburt, Gümüşhane, Kayseri, Yozgat, Bitlis, Hakkâri, Muş	Keles (Bursa), Ş. Karahisar (Giresun), Elbistan (K. Maraş), Mesudiye (Ordu), Uludağ (Bursa), Afşin (K. Maraş), Göksun (K. Maraş), Kığı (Bingöl), Pülümür (Tunceli), Solhan (Bingöl)

Sistemlerin hesaplaması için öncelikli olarak yapının bilgilerin eksiksiz bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Başka bir ifade ile ısı

pompasının gücünü belirlemek ve sisteme için uygun kaynağı tasarlamak için, sistemin kurulacağı yapının ısıtma, soğutma, sıcak su ihtiyacı, varsa hamam, havuz vb. sistemlerinin kapasiteleri bilinmelidir. Hesaplamalardaki ikinci adım ise bina tiplerinin ortaya çıkarılmasıdır. Yapının yeni mi yoksa eski yapımı olduğu belirtilmelidir. Ayrıca yapının kullanım amacının ne olduğunun açıkça tespit edilmesi gerekmektedir. Yapının konut, spor salonu, cami, ofis, tiyatro, hastane vb. şekilde olması gerekli ısı yükü ihtiyacını değiştirmektedir. Örneğin camilerin günün tüm zamanlarında değil gün içinde belli zamanlarda ısıtılması veya soğutulması gerekmektedir. İşletme ofisleri çalışma saatleri arasında istenilen konfor şartlarına getirilmelidir. Tiyatro salonları ise oyun seansları süresince ve yaklaşık iki saat öncesinden aktif edilmelidir. Ancak hastane yapılarında laboratuvarlar, detavi ve tanı odaları, hasta odaları, acil müdahale alanları vb. ihtiyaca göre tasarlanmalıdır. Taban yüzey alanına (m^2) göre bölgelerin yaklaşık ısı kayıpları Tablo 4'te verilmektedir. Ayrıca taban yüzey alanına (m^2) göre bölgelerin (eski yapılar) yaklaşık ısı kayıpları Tablo 5'de gösterilmektedir. Yaklaşık soğutma yükü hesabı için gerekli taban yüzey alanına (m^2) göre Türkiye'nin bölge katsayıları Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 4. Taban Yüzey Alanına (m^2) Göre Bölgelerin Yaklaşık Isı Kayıpları

Bina Yapısı	1. Bölge (W/m^2)	2. Bölge (W/m^2)	3. Bölge (W/m^2)	4. Bölge (W/m^2)
İzolasyonlu bina (iyi)	60 - 70	70 - 80	90 - 100	100 - 110
İzolasyonlu bina (orta)	80 - 90	90 - 100	110 - 120	120 - 130
İzolasyonsuz bina	90-100	110 120	120 - 130	140 - 150

Tablo 5. Taban Yüzey Alanına (m^2) Göre Bölgelerin (Eski Yapılar) Yaklaşık Isı Kayıpları

Bölgeler	Mevcut Eski Yapısı	Isı Kaybı Değerleri (W/m^2)
Bölge	İzolasyonlu Yapı (iyi)	60 - 70
	İzolasyonlu Yapı (orta)	80 - 90
	İzolasyonsuz Yapı	90 - 100

Bölge	İzolasyonlu Yapı (iyi)	70 - 80
	İzolasyonlu Yapı (orta)	90 - 100
	İzolasyonsuz Yapı	110 - 120
Bölge	İzolasyonlu Yapı (iyi)	90 - 100
	İzolasyonlu Yapı (orta)	100 - 110
	İzolasyonsuz Yapı	120 - 130

Tablo 6. Taban Yüzey Alanına (m²) Göre Türkiye'nin Bölge Katsayıları

Bölgeler	Bölge Katsayısı (W/m ²)
Ege Bölgesi	123
Akdeniz Bölgesi	132
Marmara Bölgesi	113
Karadeniz Bölgesi	113
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	135
Doğu Anadolu Bölgesi	90

Bu değerler ortalama olarak verilmiştir. Kat yüksekliği, cephe yönleri, pencere büyüklükleri, mahal içinde ısı yayan diğer cihazlar, vb. değerler ısı kazancı değiştirir.

Ülkemizde ısı yükü hesaplamaları için IZODER ve HAP Programları yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde ısı yükü hesaplamaları, cihaz secimi ve enerji analizleri yapan pek çok farklı yazılımlar bulunmaktadır.

ÖRNEK VİLLA UYGULAMASI

Son zamanlarda villa tipi yapılarda ısı pompası ile ısıtma ve soğutma uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Özellikle ileri dönemlerde ısı pompası ile kazan ısıtma hibrit uygulamaları yaygınlaşacaktır. Bu uygulamada dört katlı bir villa için sadece ısı pompası uygulamasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Isı kaybı ve kazancı hesaplamalarında yaklaşık hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Projede ısı pompası uygulanacak olan villanın bina verileri Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Dört Katlı Villanın Konum ve Durum Özellikleri

Ülke	İl	İlçe	Bina Yapısı	Bina İzolasyon
Türkiye	İstanbul	Üsküdar	Yeni	İyi İzolasyon (70 W/m ²)

Adım 1: Isı kaybının (ısıtma yükü) hesaplanması

Isı kaybının hesaplanması yaklaşık hesap yöntemi ile yapılmıştır. Uygulamaya konu olan konut için ısıtma yükü hesabı Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Isıtma Yükü (} Q_{\text{ısıtma}} \text{)} = \text{Isıtma Alanı (m}^2\text{)} \times \text{Bölgenin Yaklaşık Isı Kaybı (W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

$$\text{Isıtma alanı: } 285,52 \text{ m}^2/\text{kat} \times 4 \text{ kat} = 1142,08 \text{ m}^2$$

$$\text{Bina İzolasyon Yapısı: İyi izolasyon (70 W/m}^2\text{)}$$

$$Q_t = 1142,08 \text{ m}^2 \times 70 \text{ W/m}^2 = 79945,6 \text{ W} = 79,95 \text{ kW}$$

Toplam bina ısıtma ihtiyacı yaklaşık 80 kW olarak alınmıştır. Daha hassas bir ısıtma ihtiyacı belirlenmek istenirse bu konuda çok çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Ülkemizde ısı yükü hesaplamaları için IZODER ve HAP Programları yaygın olarak kullanılmaktadır. Toplam ısıtma suyu sirkülasyon pompası debisi m³/h olarak Eşitlik 2 ile bulunabilir.

$$\text{Toplam Sirkülasyon Pompa debisi : } \frac{\text{Isıtma kapasitesi } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right) \times 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right)}{\text{yoğunluk } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \text{özgül ısı } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \times \text{Sıcaklık farkı } (^\circ\text{C})} \quad (2)$$

Isıtma suyu sirkülasyon pompası debisi %10 emniyet katsayısı ile Eşitlik 2 ile hesaplanabilir. Sistemde döşemeden ısıtma sistemi kullanılacaktır. Tasarım sıcaklıkları gidiş sıcaklığı 45 °C ve dönüş sıcaklığı 35 °C olarak verilmektedir. Toplam ısıtma suyu sirkülasyon pompası debisi ($\dot{Q}_{\text{ısıtma}}$):

$$\dot{Q}_{\text{ısıtma}} : \frac{1.1 \times 80 \times 3600}{1000 \times 4,18 \times 10} = 7,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Olarak bulunur. Toplam sistem basınç kayıpları belirlenerek pompa grubu 1+1 yedeklemeli olarak seçilebilir.

Adım 2: Isı kazancının (soğutma yükü) hesaplanması

Toplam soğutma yükü Eşitlik 3 ile hesaplanabilir.

Mahalde yaşayan her bir kişi için ısı kazanc: 100 W/kişi

Aydınlatma için ısı kazanc: 10 W/ m²

$$\dot{Q}_{soğutma} = (\text{Alan} \times \text{Bölge Katsayısı}) + (\text{Kişi Sayısı} \times 100 \text{ W}) + (\text{Alan} \times 10 \text{ W/m}^2) \quad (3)$$

Alan: 285,52 m² (Salon, Odalar, Spor Alanları vb.) * 4 = 1142,08 m²

Kişi sayısı: 10 kişi

$$Q = (1142,08 \text{ m}^2 * 113 \text{ W/m}^2) + (10 * 100 \text{ W/Kişi}) + (1142,08 \text{ m}^2 * 10 \text{ W/ m}^2) = 141,5 \text{ kW}$$

Soğuk su sirkülasyon pompası debisi %10 emniyet katsayısı ile Eşitlik 2 ile hesaplanabilir. Sistemde sulu fancoil sistemi kullanılacaktır. Tasarım sıcaklıkları gidiş sıcaklığı 7 °C ve dönüş sıcaklığı 12 °C olarak verilmektedir. Fancoiller için toplam soğuk su sirkülasyon pompası debisi ($\dot{Q}_{soğutma}$)

$$\dot{Q}_{soğutma} : \frac{1.1 \times 141,5 \times 3600}{1000 \times 4,18 \times 5} = 27 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak bulunur. Toplam sistem basınç kayıpları belirlenerek pompa grubu 2+1 yedeklemeli olarak seçilebilir.

Adım 3: Sıcak su hesabı

Bir konut için kişi başına günlük sıcak su ihtiyacı belirlenen konfor şartlarına göre tasarlanmaktadır. Bodrum katta 1 lavabo 1 banyo, zemin katta 4 lavabo, 2 çamaşırılık eviyesi, 3 banyo, 1 mutfak evyesi, 1 bulaşık evyesi, birinci katta 4 lavabo, 1 çamaşırılık eviyesi, 3 banyo, 1 mutfak evyesi, 1 bulaşık evyesi ve çatı katında 2 lavabo, 1 banyo bulunmaktadır. Tablo 8' de farklı yapılara göre Boyler kapasitesi hesaplaması için gerekli olan değerler verilmektedir. Tablo 9' da ise saatlik kullanım su ihtiyaçları verilmektedir.

Tablo 8. Farklı Yapılara Göre Boyler Kapasitesi Hesaplaması [l/h]

	Apartman	Hastane	Otel	Fabrika	Konut	Okul
Özel Lavabo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Genel Banyo	5-15	20	30	40	-	50
Banyo	150-250	250	250	-	250	-
Duş	250	250	250	750	250	250
Mutfak Eviyesi	45	70	70	70	35	35
Çamaşırılık Eviyesi	70	75	75	-	70	-
Bulaşık Makinesi	40	200-400	200-600	75-300	40	75-300
Kullanma Katsayısı	0,30	0,25	0,25	0,40	0,30	0,40
Depolama Katsayısı	1,25	0,6	0,8	1,0	0,7	1,0

Tablo 9. Saatlik Sıcak Su İhtiyacı

Tesisatın cinsi	Adet	Su sarfiyatı (l/h)	Toplam Su sarfiyatı (l/h)
Lavabo	11	15	275
Banyo	8	250	2000
Çamaşırılık Eviyesi	3	70	210
Mutfak Eviyesi	2	45	90
Bulaşık Eviyesi	2	40	80
Toplam			2655

Isıtma ihtiyacı Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 ile hesaplanabilir.

$$\text{Sıcak su debisi (l/h)} = \text{Toplam Su İhtiyacı} \times \text{Kullanma Katsayısı} \quad (4)$$

$$\text{Sıcak su debisi (l/h)} = 2655 \text{ l/h} \times 0,3 = 796,5 \text{ l/h}$$

$$\text{Sıcak su ısıtma yükü} = \text{Su debisi(l/h)} \times \text{yoğunluk(kg/l)} \times \text{xözgül ısı(kJ/kg°C)} \times \Delta T(°C) \quad (5)$$

Sıcak su ısıtma yükü = $(796,5 \text{ l/h} / 3600 \text{ s/h}) \times 1 \text{ kg/l} \times 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times (45^\circ\text{C}-10^\circ\text{C}) = 32,5 \text{ kW}$

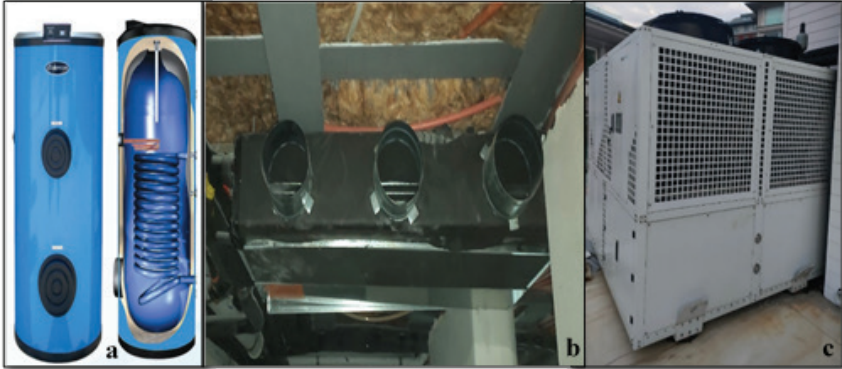
Boylar Kapasitesi = $796,5,5 \times 1,25 = 995,625 \text{ l}$ (Firma kataloglarından seçilen kapasite 1170 l/h olarak belirlenmiştir.)

Yukarıdaki adımlarda elde edilen değerlere göre kataloglardan yapılan seçimler Tablo 11’de gösterilmektedir. Ayrıca Türkiye İstanbul ilinin Çengelköy ilçesinde kaynak durumuna göre havadan suya ısı pompası seçimi yapılmıştır. Ürünlerin görselleri ile mekanik ve elektrik tesisat çizimleri Şekil 26a, Şekil 26b, Şekil 26c ve Şekil 27’de gösterilmektedir. Isı pompası seçimi yapılırken soğutma kapasitesi referans alınmaktadır.

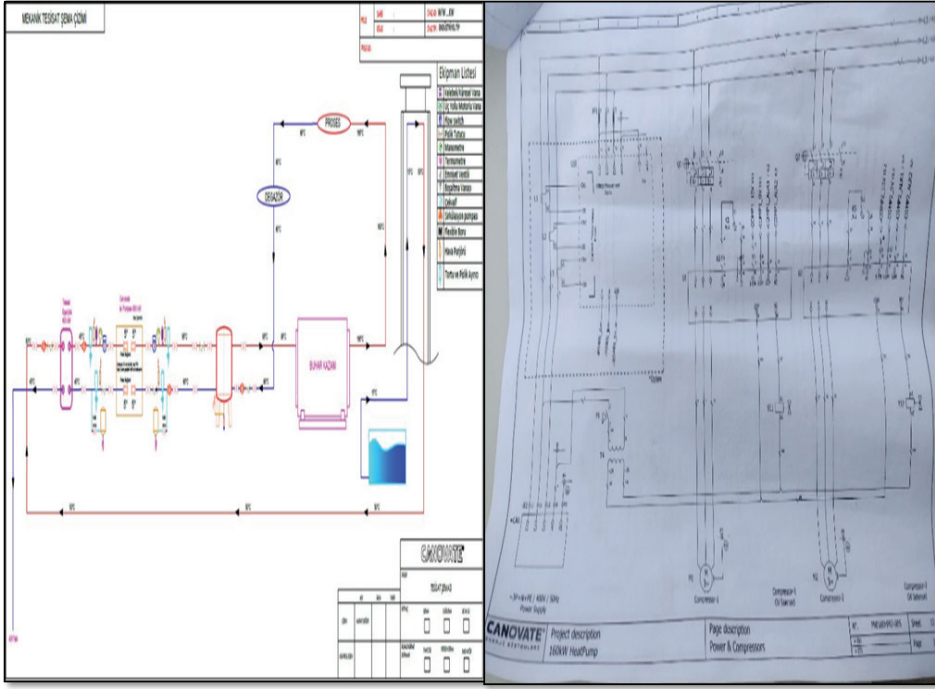
Tablo 11. Kataloglara Göre Seçilen Ürünler ve Özellikleri

Isı Pompası Model	A/W 160
Isıtma Kapasitesi	162 kW
Güç Tüketimi	42 kW
COP	3,90
Kapasite Kontrol	On/Off
Soğutma Kapasitesi	145 kW
Güç Tüketimi	43 kW
ERR	3,15
Su Debisi	27,8 m ³ /h
Fan Türü	AC Aksiyel Fan
Gürültü Seviyesi	71 dBA
Soğutucu Akışkan	R410A
Kompresör Tipi	Scroll
Kompresör Sayısı	2
Debi	27,6 m ³ /h
Kompresör Sayısı	2
Debi	27,6 m ³ /h
Isıtma Sistemi	Fan Coil

Model	Sabiana – SEC.8.3 2T
Motor Fan Gücü	130 Watt
Sayısı	17 Adet
Sıcak Su Sistemi	Boylar
Model	ATA-161
Kapasitesi	160 l
Sıcak Su Kapasitesi	1170 l/h
Sirkülasyon Pompası (Soğutma Yüğü)	Baymak
Model	EVOPLUS D 100/280.50 M
Soğuk Su Debi	30 m ³ /h
Basınç	3 H(m)
P1 Max W	430
Sirkülasyon Pompası (Isıtma Yüğü)	Baymak
Model	EVOPLUS 110/180 M
Sıcak Su Debi	9,6 m ³ /h
Basınç	2,6 H(m)
P1 Max W	170



Şekil 26. a) Seçilen Isı Pompası, b) Seçilen ATA-161 Boyler ve c) Seçilen Fancoil



Şekil 27. Isı Pompası Mekanik Tesisat Şema Çizimi ve 160 kW Isı Pompası Elektronik Şeması

SONUÇ

Isı pompalarının aynı anda ısıtma ve soğutma üretmek için iyi çözüm oldukları görülmektedir. Aynı zamanda ısı pompaları büyük miktarda enerji ve sera gazı emisyonu tasarrufu sağlayabilmektedir. Isı pompaları, sıcaklığın donma noktasının altına düşmediği konumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı pompası seçiminde en önemli kriterlerden biri kaynak tipinin belirlenmesidir. İklim koşullarının ısı pompalarının seçiminde ve sınıflamasında kilit rol oynamaktadır. Dış ortam sıcaklığındaki düşüşler hava kaynaklı ısı pompalarının performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Kaynak ve dış ortam sıcaklığına göre ısı pompası belirlendikten sonra konutun mimarı proje ile ısı kazançları, ısı kayıpları ve ihtiyaç duyulan sıcak su kapasitesi belirlenmektedir. Bu kapasitelere uygun cihaz seçimi firmaların kataloglarına göre yapılmaktadır. Uygun

cihaz seçimi yapıldığında hem enerji verimliliğine katkı sağlanacağı hem de enerjinin maliyetinde azalma olacağı unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

Hotte, N. M., (2020). "Heat Pumps." Salem Press Encyclopedia of Science. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=89250480&lang=tr&site=eds-live&scope=site>

Lauttamäki, V., Hyysalo, S., (2019). "Empirical application of the multi-level perspective: tracing the history of ground-source heat pumps systems in Finland." *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 15:1, 82-103, DOI: 10.1080/15487733.2019.1678372

Ree, J. S., (2016). "An introduction to ground-source heat pump technology." *Advances in Ground-Source Heat Pump Systems*, pp.1-25, DOI:10.1016/B978-0-08-100311-4.00001-7

RETScreen International. (2015). "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering and Cases Textbook." Natural Resources Canada.

Jones E. P., (1997). "Geothermal Energy Basics." Course, PDHengineer.com, Houston, TX,

Bloomquist, R. G., (2009). "Geothermal Heat Pumps Four Plus Decades of Experience." Washington State University Energy Program, GHC Bulletin.

Natural Resources Canada, (2002). "Commercial Earth Energy Systems: A Buyer's Guide."

Ommen, T., Markussen, W., Elmegaard, B., (2014). "Heat pumps in combined heat and power systems." *Energy* 76 (1), pp. 989-1000.

Bentham, R. H., (2017). "Cooling towers and evaporative condensers." *Legionella and the Prevention of Legionellosis* pp.89-106

Ammar, Y., Li, H. N., Walsh, C., Thornley, P., Sharifi, V., Roskilly, A. P., (2012). "Desalination using low grade heat in the process industry: challenges and perspectives." *Appl. Therm. Eng.* 48, 446-457. doi:10.1016/j.applthermaleng.2012.05.012.

Zhou, L. K., Jin, Z., Chen, B., Hou, J., Yang, H., Bao, H., (2018). "Application and Analysis of Air Source Heat Pumps in Countryside Home Heating with Substituting Electricity for Coal." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 186 (4). doi:10.1088/1755-1315/186/4/012045.

Daikin, (2022). "Water Source Heat Pump" <https://www.daikinapplied.com/products/water-source-heat-pumps>.

Olimpic International, (1999). "Water Source Heat Pump Design Manual" s. 3-15

Zhou, K., Mao, J., Zhang, H., Li, Y., Yu, X., Chen, F., Li, M., (2022). "Design strategy and techno-economic optimization for hybrid ground heat exchangers of ground source heat pump system." *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102140>

Zanetti, E., Azzolin, M., Conte, R., Giroto, S., Del Col, D., (2022). "Experiments and dynamic modelling of dry expansion and flooded evaporators in a CO₂ solar assisted heat pump." *Applied Thermal Engineering*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118964>

Nguyen, T., Simon, E. W., Warriar, R. G., Woramontri, W., (1994). "Absorption heat pump for space applications." [researchgate.net/publication/24320294_Absorption_heat_pump_for_space_applications](https://www.researchgate.net/publication/24320294_Absorption_heat_pump_for_space_applications)

Metkel, Y., Graeme, M., (2016). "The Value of hybrid heat pumps." https://www.researchgate.net/publication/346506214_The_Value_of_hybrid_heat_pumps

Shah, R. K., Sekulic, D.P., (2003). "Fundamentals of Heat Exchanger Design." John Wiley & Sons, Inc., 976s, New Jersey, USA

Feidt, M., (2020). "Carnot Cycle and Heat Engine Fundamentals and Applications." MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-846-5>

Yang, C., Bansal P. K., (2005). "Numerical investigation of capillary tube-suction line heat exchanger performance." *Applied Thermal Engineering*, 25, 2014-2028

Aprea, C., Mastrullo, R., (2002). "Experimental evaluation of electronic and thermostatic expansion valves performances usin R22 and R407c." *Applied Thermal Engineering*, 22, 205-218

Sekulic, D. P, Shah, R. K., (2003). "Fundamentals of Heat Exchanger Design." John Wiley & Sons Inc., USA.

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., (2002). "Fundamentals of Heat Exchanger Design." 5th ed, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

Demir Döküm, (2020). "Isı Pompası Sistemlerinin Planlanması ve Hidrolik Devreler." sf. 2-96.

Schimschar, S., Boermans, T., Kretschmer, D., Offermann, M, John, A., (2016). "Türkiye için U-Değerleri Haritaları Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (EPBD) Bağlamında Maliyet Etkinliğe Yönelik Karşılaştırmalı Metodolojinin Uygulanması" *İZODER*, sf. 2-61.

Bilen, K., Demir, O. (2021). "Energy and exergy analysis of air, water and ground source heat pumps for different refrigerants." *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(2), 688-705-705. <https://doi.org/10.31202/ecjse.865741>

Tan, Z., Feng, X., Wang, Y., (2021). "Performance comparison of different heat pumps in low-temperature waste heat recovery." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111634>

De Swardt, C. A., Meyer, J. P., (2000). "A performance comparison between an air-source and a ground-source reversible heat pump." *International Journal of Energy Research* page 899 - 910 <https://doi.org/10.1002/er.730>

Xiao, B., He, L., Zhang, S., Kong, T., Hu, B., Wang, R. Z., (2020). "Comparison and analysis on air-to-air and air-to-water heat pump heating systems." *Renewable Energy*, 146, 1888-1896. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.033>

Nikitin, A., Deymi-Dashtebayaz, M., Muraveinikov, S., Nikitina, V., Nazeri, R., Farahnak, M., (2021). "Comparative study of air source and ground source heat pumps in 10 coldest Russian cities based on energy-exergy-economic-environmental analysis." *Journal of Cleaner Production*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128979>

Onat, A., İsa, K., (2016). "İklîmlendirme ve Soğutma Sistemlerinde: Enerji Verimliliği." Doğa Yayıncılık Ltd. Şti. sf. 62-72.

Zhang, L., Wang, J., Song, Y., Li, J., Wu, D., Liu, J., (2022). "Flow-induced noise mechanism and optimization design of electronic expansion valve." *Vacuum*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111335>

İNTERNET KAYNAKÇALARI

<https://www.americanheatingco.com/blog/shell-and-tube-heat-exchangers/> 06.10.2022

<https://www.endustriyelenerji.com.tr/urunler-ve-cozumler/isi-pompasi-uygulamalari/> 05.10.2022

<https://www.thesisat.org/gunes-enerjisi-destekli-isi-pompasinin-aksaray-sartlarinda-analizi.html> 01.10.2022

<https://www.boydcorp.com/thermal/liquid-cooling/liquid-heat-exchanger/plate-fin-heat-exchangers.html> 05.10.2022

https://www.coastalenergy.ca/ductless_heat_pumps/ 02.10.2022

<https://www.solimpeks.com.tr/gunes-elektrik-uretimi-isi-pompasi-hibrid-kullanimi/> 03.10.2022

<https://turkish.alibaba.com/product-detail/Finned-steel-shell-tube-Heat-Exchanger-454038348.html> 03.10.2022

<https://jeotes.com/plakali-esanjor-nasil-calisir> 06.10.2022

ISI POMPASI SİSTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

<https://www.indiamart.com/proddetail/copper-finned-tube-19772063597.html> 04.10.2022

<http://sandasmakine.com/spiral-isi-degistirici/> 04.10.2022

<http://ataboyler.com.tr/pdf/tek-serpantinli-h%C4%B1zlı%C4%B1-boylerler.pdf> 10.11.2022

<https://www.tesisat.org/kategori/mekanik-tesisat/hesap-programlari> 27.12.2022

<https://coolaer.com/wp-content/uploads/2022/05/COOLAER-U-RUN-KATALOGU-TR.pdf> 10.11.2022

<https://www.egelhof.com/en/air-conditioning/electronic-expansion-valve-exv/> 29.11.2022

http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf 27.12.2022

<https://www.atlantikgrup.com/aaon-degisken-debili-nem-kontrollu-roof-top-ile-maksimum-tasarruf/> 29.12.2022

<https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20409.pdf> 02.01.2023

GAZ METAL ARK KAYNAĞINDA ETKİNLEŞTİRİCİ TOZ KULLANIMI

Memduh KURTULMUŞ¹

Öz: Gaz metal ark kaynağı işleminin verimliliğini artırmanın daha verimli ve ekonomik bir yöntemi, kaynakta aktive edici akılar kullanmaktır. Geçmiş yıllarda güç tüketimini, maliyeti, işçilik becerilerini ve daha fazlasını azaltarak kaynak makinesinin performansını artırmak için pek çok geliştirme ve yenilik yapılmıştır. Arka arkaya, MIG kaynak işlemi, aynı güç ve kaynak tüketimi ile malzemenin kaynak özelliklerini artıran kaynak işlemlerinden biridir. A-MIG kaynağı, MIG kaynağının parametresini optimize etmek için çığınca kullanılır. Sabit akımlı bir kaynak güç kaynağı, plazma olarak bilinen yüksek derecede iyonize gaz ve metal buharlarından oluşan bir sütun aracılığıyla ark boyunca iletilen elektrik enerjisi üretir. Metal inert gaz (MIG) kaynağı en yaygın olarak paslanmaz çelik ve alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları gibi demir dışı metallerin kalın kesitlerini kaynaklamak için kullanılır. Halojenler ve oksitlerden oluşan aktive edici akılar, elektrik ark oluşumu ve elektrot metalinin sıvı metal havuzuna damlacık transferi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Oksijen ilavesiyle daha yüksek verimlilik ve derin kaynak penetrasyonu elde edilebilir. Etkinleştirici toz TIG (A-TIG) kaynak yöntemi, kaynaktan önce plakanın yüzeyine az miktarda dioksit veya florürün sürüldüğü veya inert koruyucu gaza bir miktar oksijen veya karbon dioksitin karıştırıldığı bir yöntemdir. Etkinleştirici toz oluşturmak için inorganik malzeme uçucu bir ortamla karıştırılır. Eriyik haldeyken akılar iletken hale gelir. Etkinleştirilmiş Tungsten İnert Gaz kaynağında, penetrasyon derinliği artırılabilir de genel verimlilikle ilgili bir sorun vardı. Gelişen gelişmiş A-TIG yönteminde çift koruyucu gaz kullanılmıştır. Saf inert gaz içe-

1 Marmara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, İstanbul / Türkiye, e-mail: memduhk@marmara.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6525-232X

ride kullanılırken, dış tarafta koruyucu olarak oksit veya karbon dioksit, tungsten elektrotu oksidasyondan korumak için inert gazla karıştırılır. Etkinleştirici toz ile kaynak, derin penetrasyon elde etmek için etkili bir kaynak yöntemi olmasına rağmen, çift koruyucu torç ve iki tip gaz hazırlama maliyeti artar ve uygulama alanlarını kısıtlar. Bazı araştırmacılar tarafından sadece basit bir nozül kapağı kullanan basitleştirilmiş bir etkinleştirici toz kaynağı yöntemi denendi. Nozül kapağı, atmosferdeki oksijeni erimiş havuza çekmek için tasarlanmıştır. Görüntü analizörü veya stereo grafik analizörü gibi farklı aparatların yardımıyla kaynağın çeşitli özellikleri analiz edildi. Kaynak kalitesi, penetrasyon derinliği ile belirlenebilir. Kaynak kalitesi ayrıca malzemenin kalınlığına da bağlıdır. Flux toz halindeyken kaynak yüzeyine eşit olarak uygulanması imkansızdır. Bu nedenle, toz, yüzeyde eşit olarak dağılmış oksit akışı bırakarak hızla buharlaşma eğilimi içeren metanol veya başka bir madde ile karıştırılarak macun formuna dönüştürülür. Etkinleştirici toz Gaz Metal Ark (A-MIG) kaynağı, bağlantı penetrasyonunu, kaynak derinliği/genişlik oranını ve kaynak alanını artırabilir. Bu inceleme yazısında, yumuşak çelikler, östenitik paslanmaz çelikler, alüminyum ve magnezyum alaşımlarında A-MIG kaynağının kaynak dikişi şekli üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu kaynak işleminin kaynak mekanik özellikleri üzerindeki etkileri kaynak distorsiyonları açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: MIG Kaynağı, A-MIG Kaynağı, MIG Aktive Edici Akılar

GİRİŞ

Kaynak, imalat ve üretim işletmelerinde önemli bir imalat operasyonudur. Gaz metal ark kaynağı (GMAW), yüksek verimlilik, iyi kaynak kalitesi, düşük üretim maliyeti ve imalatta kolay gerçekleştirilebilen otomasyon avantajlarına sahiptir, bu nedenle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Üretim endüstrileri, daha verimli ve üretken bir kaynak işlemi elde etmek için kaynak teknolojilerinde ilerlemeye yönelik artan bir talebi bünyesinde bulundurmaktadır. Herhangi bir uygulamanın kaynağı için ortak amaç, kusur olasılığını azaltan minimum sayıda kaynak pasosu ile kaynak işleminin kullanılmasıdır. Bunun ana nedeni, kaynak sayısının kaynak metali hacmi ve Isı Tesiri Altında Kalan Bölge ile doğrudan ilişkili olmasıdır. Bu nedenle,

- *Gaz Tungsten Ark Kaynağı,*
- *Gaz Metal Ark Kaynağı,*
- *Metal Aktif Gaz,*
- *Korumalı Metal Ark Kaynağı,*
- *Tozaltı Ark Kaynağı vb. gibi ısı girdisi daha yüksek olan kaynak işlemlerinin*

minimum sayıda kaynakla kaynak yapma sınırlaması vardır. Bu nedenle kaynak metali hacmini azaltan, dolayısıyla kaynak pasolarını verimliliği arttıran işlemler kullanılması amaçlanarak prosesler en başından planlamalıdır. Kaynak hacmini minimize ederek süreç verimliliğini en üst seviyede kullanan kaynak işlemleri lazer ışını kaynağı, elektron ışını kaynağı, yüksek enerjili ışın kaynağı olarak bilinen plazma ark kaynağı olarak örnek gösterilir. Ayrıca ark ve giriş kaynak işlemlerinde aktifleştirici akı kullanımı metallerin birleştirilmesinde verimliliği artırmak için yeni bir kaynak teknolojisi alanıdır. Metalik oksitler, florür ve klorürler en yaygın aktive edici akımlar olarak kullanılır. Bu işlemlerde macun, akı tozunun aseton, etanol veya metanol ile karıştırılması suretiyle hazır edilir. Bu macun boya fırçası kullanılarak kaynak yapılacak bölgeye yayılır. Tüm yüzeyde aynı yüzey ve kaynak kalitesini elde etmek için homojen şekilde karışım ve dağıtım işleminin yapılması önemlidir.

Geleneksel olarak kullanılan ark kaynağı işlemlerinde, sınırlı nüfuziyet ve sığ olan kaynak dikişi, aktivasyon tozu kullanımı ile aşılabilecek ana sorunlar olarak, kaynak prosesinde karşılaşılan ve elimine edilmek istenen sorunların başında gelen iki ana unsurdur. Aktifleştirici akının başarılı bir şekilde kullanıldığı ve nüfuziyeti artırma ve kaynak dikiş genişliğini azaltma yeteneğini geliştiren çeşitli ileri düzeyde kaynak işlemleri geliştirilmiştir. Bu ileri kaynak işlemleri,

- *Aktif Akı Tungsten kaynak işlemi (A-TIG),*
- *Aktif Plazma Ark Kaynak Prosesi (A-PAW),*
- *Aktif Akı Gaz Metal Ark Kaynak Prosesi (A-GMAW),*
- *Aktifleştirme Akı Lazer Işını Kaynağı (A-LBW) ve*
- *Aktifleştirici Akı Elektron Işın Kaynağı (A-EBW) şeklinde sayılabilir.*

Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı olarak da bilinen gaz tungsten ark kaynağı (GTAW), koruyucu gaz altında kaynak yapılacak iş parçaları ile tüketilmeyen bir tungsten elektrot arasında bir ark kullanan son derece önemli bir ark kaynağı işlemidir. Yüksek düzeyde kaynak kalitesi veya önemli ölçüde hassas kaynak işlemi gerektiğinde popüler bir kaynak işlemi tercihi haline gelmiştir. Bununla birlikte, TIG kaynak işleminin potansiyel sorunları, tek geçişte kaynak yapılabilecek sınırlı malzeme kalınlığı, bazı malzeme bileşimlerine karşı zayıf tolerans ve düşük verimlilikte yatmaktadır. Penetrasyonu artırmak amacıyla kaynak akımı artırılırsa, kaynak penetrasyonunda orantılı olarak küçük bir kazançla aşırı geniş hale gelir.

Penetrasyondaki iyileştirmeler, birçok ark kaynağı işleminde uzun süredir aranmaktadır. En dikkat çekici tekniklerden biri, TIG kaynak işleminde aktifleştirici akı kullanılmasıdır. Penetrasyonu artıran aktif tungsten inert gaz (A-TIG) kaynak işlemi ilk olarak 1960'larda Paton Elektrik Kaynak Enstitüsü tarafından önerilmiştir. Aktive edici akı, uçucu bir ortamda asılı duran inorganik bir malzeme karışımıdır. Kaynak yapılmadan önce kaynak yapılacak birleştirme yüzeyine fırça ile ince bir tabaka halinde macun maddesi sürülür. Birleşik Devletler Deniz Kuvvetleri Birleştirme Merkezi, Edison Kaynak Enstitüsü tarafından geliştirilen A-TIG tekniğini kullanarak Donanma gemilerinin ve uçaklarının maliyetini düşürmek ve kalitesini artırmak için günlük üretimde başarıyla kullanılmıştır. A-TIG tekniği, çok pasolu prosedürler yerine, yüzey hazırlığı olmadan, tek pasolu tam nüfuziyetli kaynaklarla 8-10 mm kalınlıkları birleştirmek için geleneksel TIG uygulamalarını yoğunlaştırmayı mümkün kılar. Aslında, geleneksel TIG kaynak işlemine kıyasla penetrasyon kapasitesi %300'e kadardır ve aktivasyon akısı kullanıldığı ana metal bileşimlerindeki ısıdan ısıya değişimler önlenir.

Benzer olmayan metal kaynağı, paslanmaz çelikleri diğer metal alaşımlarına birleştirmek için sıklıkla kullanılır. Benzer olmayan metallerin kaynak yapılması işlemi en çok malzemelerin mekanik özelliklerinde ve/veya hizmet performanslarında bir geçişin gerekli olduğu, süreklilik durumunun değiştiği endüstriyel uygulamalar için özel durumlarda kullanılır. Örnek olarak, östenitik paslanmaz çelik malzemedен imal edilmiş borular genellikle enerji üretim tesislerinde yüksek sıcaklıktaki

buharı tutmak amacıyla kullanılır. Öte yandan, belirli bir sıcaklık ve basınç değerinin altında, aynı durumda düşük karbonlu ve düşük alaşımli çelikler de yeterli kullanım performansı göstereceği için ve sürecin daha ekonomik hale getirilmesi için genellikle paslanmaz çelikten düşük karbonlu veya düşük alaşımli çelik malzemelere geçiş farklı proseslerde kullanılır.

Çoğu paslanmaz çelik malzeme, düşük karbonlu ve düşük alaşımli çeliklere başarıyla farklı malzemelerin kaynaklanması yaklaşımı çerçevesinde kaynak işlemi yapılabilir. Kaynak metalinin iki farklı ana metal ile kombine edilmesi, farklı malzeme etkilerine ve paslanmaz çelik ile düşük karbonlu veya düşük alaşımli çeliklerdeki farklı termal genleşme katsayılarına proses genelinde doğru sonuçlar alabilmek için dikkat edilmelidir.

Modern imalat sanayileri, yoğun bir pazar rekabeti ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, üretim verimliliğini önemli ölçüde iyileştirmeye acil bir ihtiyaç vardır. Gaz metal ark kaynağı, pazardaki rekabet gücünü artırmak ve üretim maliyetlerini azaltmak için kaynak hızını artırmak zorundadır. Ancak kaynak hızı belli bir seviyenin üzerine çıkarılırsa kaynak oluşturma kalitesi bozulur ve kaynak hataları oluşur [Nguyen, 2006]. Son yıllarda, daha yüksek üretkenlik ve daha iyi kaliteye yönelik açık bir eğilim, Gaz metal ark kaynağı sürecinin birçok çeşidinin geliştirilmesine yol açmaktadır. İyileştirmeler aşağıda özetlenmiştir.

Gaz metal ark kaynağı, tüketilebilir bir tel elektrot ile yapılan metal inert gaz (MIG) kaynağı veya metal aktif gaz (MAG) kaynağı için genel bir terimdir. Gaz metal ark kaynağı elektrot olarak kullanılan çıplak metal tel, korumalı metal ark kaynağı durumundaki ile benzerdir, buradaki fark, bu kaynak işleminde hiçbir kaplamanın yapılmamasıdır. Tozaltı kaynağındaki özel kaplama yerine, ark stabilizasyonu, ısının nüfuz etmesi ve erimiş kaynak havuzunun atmosferik oksidasyondan korunması gibi çeşitli işlevlerin tümü gaz koruması ile sağlanır. Esas olarak kullanılan gazlar inerttir ve demirli metallerde az miktarda O₂ ve CO₂ ilavesiyle argon ve helyum karışımından (demir dışı metallerin kaynağında kullanılır) oluşur.

Akının ark plazması üzerindeki etkisi, ark daralma mekanizması üzerinde önemli bir olgudur. Ark daralmasının iki ana nedeni vardır; biri akı elemanlarının ayrışması, diğeri ise akı elemanlarının iyonlaşması, bu da ark sıcaklığının artmasına ve metal üzerinde enerji yoğunlaşmasına neden olur. Herhangi bir metalik elementin iyonlaşma potansiyeli ark sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Halojenürlerin, ark fiziğini etkileyen elektriksel etkileşimlere yardımcı olduğu, oksitlerin ise kaynaklardaki metal akışının hareketini (Marangoni konveksiyon hareketleri) kontrol ettiği kabul edilmektedir. Florürler ark daralma mekanizmasını etkiler çünkü florürlerin elektronlarla afinitesi daha yüksektir, bu da akının elektronlarla birleşme kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir ve ark daralma mekanizmasını etkiler

Metal İnert Gaz (MIG) Kaynağı

Metal inert gaz (MIG) kaynağı, inert gaz (örn. argon) kullanan Gaz metal ark kaynağı anlamına gelir. Alüminyum, bakır ve bakır alaşımlarının kaynağı için normal olarak saf argon veya argon helyum karışımları kullanılır. Helyum, kalın duvarlı alüminyum veya bakırdaki büyük ısı iletimini telafi eden ısı girişini arttırır. MIG kaynağı, yüksek verimliliği, yüksek hızı ve yüksek kalitesi nedeniyle otomobillerde, hızlı trenlerde, havacılıkta ve diğer alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır.

Metal aktif gaz (MAG) kaynağı

Koruyucu gaz CO₂ gibi aktif gaz ise gaz metal ark kaynağı (GMAW), metal aktif gaz (MAG) kaynağına da atıfta bulunur. Saf CO₂, iyi penetrasyon ve füzyon eksikliğine karşı güvenlik sağlar, ancak sıçrama miktarını artırır.

Darbeli (Pulsed) (P-GMAW) Gaz Metal Ark Kaynağı

Püskürtme aktarımı erimiş metal damlalarını sürekli olarak ark boyunca iterken, darbeli püskürtme aktarımında bu akış sürekli değildir. Kaynak güç kaynağı, kaynak çıkışını hızlı bir şekilde yüksek tepe akımları ve düşük arka plan akımı arasında değiştirir.

Pik akımı, bir sprey transfer damlacığını kısıtır ve iyi bir füzyon için onu kaynağa doğru iter. Arka plan akımı arkı korur, ancak metal transferinin gerçekleşmesi için çok düşüktür. Kaynak havuzu, arka plan döngüsü sırasında hafifçe soğuduğundan, ince veya kalın metaller üzerinde her pozisyonda kaynak yapılmasına izin verir.

Darbeli (pulsed) gaz metal ark kaynağı (P-GMAW), kaynak akımının yüksek tepe akım seviyesinden düşük arka plan akım seviyesine çevrildiği, eksenel püskürtme transferinin oldukça kontrollü bir çeşididir. Metal transferi, yüksek enerji piki sırasında tek bir erimiş damlacık şeklinde gerçekleşir. P-GMAW'ın avantajlarından biri de klasik GMAW'a göre daha yüksek kaynak hızıyla kaynak yapmasıdır [Mwola, vd., 2003].

Çift Elektrotlu Gaz Metal Ark Kaynağı (DE-GMAW)

Çift elektrotlu gaz metal ark kaynağı (DE-GMAW), bir baypas arkı oluşturmak için geleneksel bir Gaz metal ark kaynağı sistemine bir baypas torcu ekleyerek erime akımını ana metal akımına ve baypas akımına ayıran yeni bir süreçtir. Bu, ana metal akımı istenilen seviyede kontrol edilebilirken, ergime akımının artırılmasını mümkün kılar.

Farklı transfer mekanizmaları, farklı akım seviyeleri tarafından belirlenir. Düşük akım, kısa devre aktarımına neden olur ve damlacık, kaynak havuzuyla temas edene kadar ayrılamaz. Akım artar, ancak artış damlacık ayrımı için gerekli olan yüksek elektromanyetik kuvvetleri oluşturmak için yeterli olmazsa, damlacık büyür ve damlacık çapı elektrot tel çapını aşar. Daha sonra damlacık, esas olarak yerçekimi kuvvetlerinin etkisi altında ayrılır. Bu küresel veya büyük damlacık transferidir.

Akımın daha da artmasıyla birlikte, eğer elektromanyetik kuvvetler yeterince yükselirse, dökme veya döndürmeli püskürtme mekanizmasıyla transfer gerçekleşebilir. Akımın daha da artması, damlacıkların yönlü transferinin eşlik ettiği dökme veya döner sprey ile transfer ile sonuçlanır. Damlacıklar çok küçük olduğu için aktarım frekansı çok yüksektir ve ark uzunluğu çok fazla değişmez. Bu nedenle, süreç kararlıdır. Bununla birlikte, yüksek kaynak akımının neden olduğu yüksek giriş ve çıkış, düşük mekanik özelliklerle ilişkili hançer şeklindeki penetrasyona neden olur.

Büyük damlacıklarda proseslerin transferi ve kararlılığı ve sıçraması oldukça geniştir. Kısa devre transferinde ark önemli değişikliklere maruz kalır. Düşen sprey transferi, tek tip damlacık boyutu, damlacıkların düzenli ayrılması ve yönlü transfer ve ayrıca hafif sıçrama ile karakterize edilir. Sonuç olarak, Gaz metal ark kaynağı kaynağında düşen püskürtme transferi tercih edilen transfer mekanizmasıdır.

Kalın ve büyük metal numunelerin kaynağı için, Kentucky Üniversitesi'nde çift elektrotlu veya tandem gaz metal ark kaynağı (DE-GMAW) olarak adlandırılan yeni bir işlem geliştirilmiştir [Li, 2007]. Bu işlemin benzersizliği, düşük maliyet ve yüksek dayanıklılık ile yüksek üretkenlik sağlayan güçlü penetrasyon kabiliyetinde ve biriktirme hızında yatmaktadır [Ueyama, 2005]. Bu süreçte P-GMAW'dan daha yüksek bir kaynak hızı elde edilmiştir.

TIG işleminin performansını iyileştirmek için aktive edici akılar ilk olarak 1960'larda rapor edilmiştir [Kurtulmus, 2009]. Tekniğin prensibi, malzemenin yüzeyine ince bir akı kaplaması uygulanarak arkın daraltılması ve bu da anot kökündeki akım yoğunluğunu ve kaynak havuzuna etki eden ark kuvvetini arttırmasıdır [Kurtulmus, 2009].

Ark daralması, kaynak havuzu penetrasyonunu önemli ölçüde artırarak, geleneksel kaynak işlemindeki geniş, sığ bir kaynak nüfuziyetine kıyasla daha derin ve daha dar bir kaynak oluşturur. Birçok araştırmacı, aktive edici akı uygulamasını tungsten ark kaynağı [Kurtulmus, 2009], plazma ark kaynağı [Huang, 2010], lazer kaynağı [Kaul, 2007] ve elektron ışını kaynağı yöntemlerine [Zhang, 2006] uygulamıştır. Gaz metal ark kaynağı yönteminde etkinleştirici toz kullanımı üzerine çok az çalışma yapılmıştır [Huang, 2010]. Bu yazının amacı, aktive edilmiş akı Gaz metal ark kaynağı araştırma çalışmalarının bulgularını özetlemektir. Etkinleştirici toz gaz metal ark kaynağı işlemi üzerindeki etkileri bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

Akıların Gaz Metal Ark Kaynağı Sürecine Etkileri

Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW), tüketilebilir bir elektrot (tel) ile iş parçası arasında oluşturulan bir elektrik arkıyla metalleri ısıtarak bir araya getiren bir ark kaynağı işlemidir. Gaz metal ark kaynağı işleminin

de, sürekli beslenen bir dolgu metali elektrotu ile iş parçası arasında bir ark oluşturulur.

Kaynak operatörü, kaynak prosesi ve malzemeleri göz önünde bulundurarak uygun kaynak ve parametre ayarlarını yaptıktan sonra, çalışma esnasındaki torç - iş parçası (malzeme) arasındaki mesafede beklenilecek değişikliklere kapsamında, diğer bir kaynak parametresi olan ark uzunluğu, ayarlanan değerde sabit tutulur. Otomatik şekilde yapılan ark uzunluğu ayarı için iki yöntem uygulanabilir. En yaygın yöntem, değişken akımlı (sabit voltajlı) bir güç kaynağına sahip sabit hızlı (ancak ayarlanabilir) bir tel besleme ünitesi kullanmaktır.

Ark uzunluğunu anında değiştiren torç - iş parçası arasındaki mesafe ilişkisi değiştikçe, güç kaynağı ya daha fazla akım (ark uzunluğu azalırsa) veya daha az akımı (ark uzunluğu artarsa) sisteme sağlar. Diğer ark uzunluğu düzenleme yöntemi ise, bir sabit akımlı güç kaynağı ve değişken hızlı, voltaj algılamalı tel besleme ünitesinin kullanılmasıdır. Bu durumda ise, ark uzunluğu değiştikçe ark boyunca gerilimde ark uzunluğu değişimine karşılık gelen bir değişiklik meydana gelir. Bu voltaj değişikliği tespit edildiğinde, tel besleme ünitesinin hızı, birim zamanda daha fazla veya daha az teli sisteme besleyecek şekilde değişecektir. Bu ayar yöntemi genellikle daha düşük besleme hızlarına sahip daha büyük tel kullanımının olduğu uygulamalarla sınırlıdır.

İnorganik bileşik olan (derin nüfuziyet ve ark daraltmasını sağlamak için kullanılabilen) akı bileşeni, çeşitli aralık ve bileşimlerde mevcuttur. Bazı akıların belirli malzemeler için etkili olduğu bildirilmiştir. Aktive edici akılar, çeşitli halojenürler (klorürler ve florürler) ve oksitler içerirler. Demir, krom, silikon, titanyum, manganez, nikel, kobalt, molibden ve kalsiyumdan oluşan oksit kaplamanın kaynak kabiliyetini iyileştirdiği ve kaynak hızını arttırdığı bildirilmektedir. Halojenler, kalsiyum florür ve AlF_3 , arki daraltma ve kaynak penetrasyon derinliğini artırmak amacıyla kaynak işlemlerinde kullanılırlar.

Aktif toz, uçucu ortamda (aseton, etanol vb.) süspanse edilmiş inorganik bir malzeme karışımıdır. Aktif olmayan Gaz metal ark kaynağı prosesi, kaynak yapılmadan önce ana metalin yüzeyine fırça ile ince bir tabaka halinde ince bir flux tabakası uygulanır. Akı, macun formunda

yapmak için asetonla karıştırıldı. Aktive edilmiş akı sırasında, akıların bir kısmı veya tamamı eritilir ve buharlaştırılır. Kaynakta Fe_2O_3 , SiO_2 , $MgCO_3$, Al_2O_3 vb. gibi farklı tipte eritkenler (oksitler) vardır. Sonuç olarak, kaynak dikişinin penetrasyonu önemli ölçüde artar.

Şu anda, etkinleştirici akının kaynak dikişinin daha fazla nüfuz etmesine neden olduğu mekanizmalar hakkında genel olarak kabul edilmiş bir teori yoktur. Mevcut literatürler penetrasyon derinliğini artırma da önemli rol oynayan bazı mekanizmaların aşağıda verildiğini göstermektedir.

Chaudhari PG, Patel PB, Patel JD ve diğerleri, AHP-MOORA yöntemiyle SS316L üzerinde Etkinleştirilmiş Flux kullanarak MIG Kaynak İşlemi Parametresinin Değerlendirilmesini araştırmışlardır. İş parçası malzemesi SS316'dır. SiO_2 ve Cr_2O_3 tozu kullanılmıştır, bu toz MIG kaynak prosesinin çeşitli proses parametrelerinde en iyi multi-performans özelliklerini verir, ayrıca tozsuz olarak MIG kaynak prosesinde sertlik ve penetrasyon için elde edilen en iyi multi-performans özelliklerini verir.

Tsann-ShyiChern ve diğerleri, tungsten inert gaz (TIG) işleminde kullanılan spesifik akıların 6 mm kalınlığında dubleks paslanmaz çeliği kaynak yaparken yüzey görünümü, kaynak morfolojisi, açılmal bozulma, mekanik özellikler ve mikro yapılar üzerindeki etkilerini araştırdı. Bu çalışma, oksit tozları (TiO_2 , MnO_2 , SiO_2 , MoO_3 , Cr_2O_3) kullanan otojen TIG kaynağının yeni bir çeşidini, plaka üzerinde bir bağlantı oluşturmak için ince bir eritken tabakası boyunca 2205 kalite paslanmaz çeliğe uygulamışlardır.

Her Yueh Hung ve diğerleri, GTAW işlemi altında uygulamayla etkinleştirilen akıyı ve koruyucu gaz bileşiminin etkilerini incelediler ve işlemi normal işlemle karşılaştırdılar. Bu çalışmada, %80 MnO_2 %20 ZnO karışımının aseton ile karıştırılarak macun kıvamına getirildiği MnO_2 ve ZnO 'nun çeşitli akı bileşimleri ile AISI 304 paslanmaz çelik (kalınlık = 5mm) A-TIG kaynakları üretilmiştir. Koruyucu gaz, nitrojen içeriği % 2.5 ila 10 hacim arasında değişen argondur. Argon koruyucu gazdaki farklı nitrojen konsantrasyonlarında, kaynağın nüfuziyetinde ve boncuk genişliğinde önemli farklılıklar elde edildi. Bir argon bazlı gaza nitrojen

ilavesi, ısı girişini artıracaktır, bu, ark tarafından numunelere daha fazla ısı aktarılmasına ve sonuç olarak derin penetrasyona neden olur.

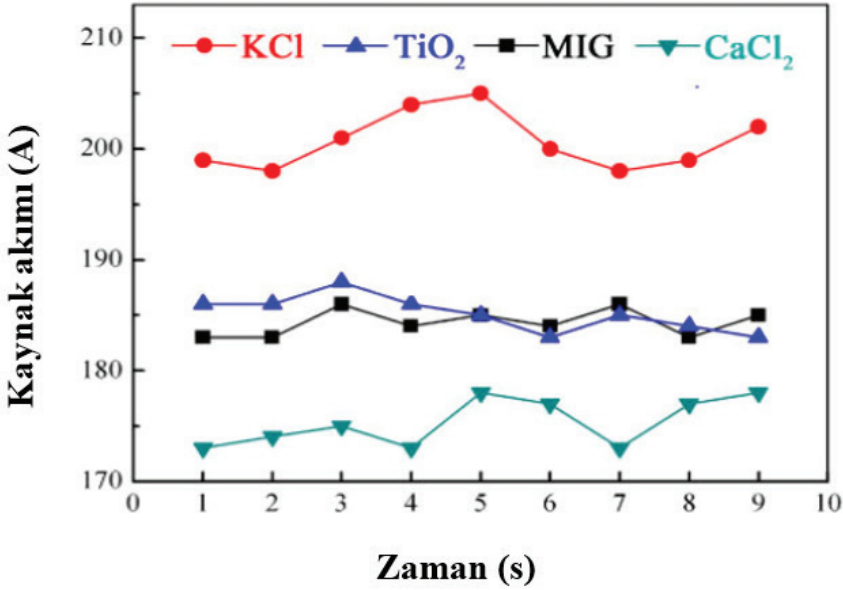
Gaz metal ark kaynağı işleminde etkinleştirici toz ana etkisi, bir kaynak dikişinin penetrasyon derinliğini arttırmaktır. Akılar ayrıca bir kaynak işlemi sırasında diğer özellikleri de etkiler. Bu etkiler aşağıda açıklanmıştır. Akılar, metalin elektrik arkıyla ısıtılmasının verimini ve Gaz metal ark kaynağı akım yoğunluğunu olumlu yönde değiştirir [Huang, 2010]. Etkinleştirici toz metal ark kaynağı (A-MIG) işleminde, elektrik arkının veya elektrik ark enerjisinin metal eritmeye harcanan kısmının ısı etkin kullanım katsayısı, geleneksel MIG kaynağına göre artar. Bu nedenle A-MIG kaynağında sabit ark enerjisinde daha derin bir kaynak elde edilir. Böylece klasik kaynak yöntemine göre penetrasyonu birkaç kat artıran ark aktivasyonu, aynı kalınlıktaki metalin kaynağı yapılırken tahrik enerjisinin azalmasını sağlar. Ayrıca aktivasyon, kaynak birleştirme metalinin ve ısıdan etkilenen bölgenin ısınma hızını artırır [Huang, 2010].

Gaz metal ark kaynağının en karakteristik fenomenlerinden biri, ark boyunca tel elektrottan sıvı kaynak havuzuna aktarılan erimiş damlacıklardır. "Damlacık aktarım modu" olarak adlandırılan farklı aktarım davranışları gözlemlenebilir. Damlacık aktarım modu, damlacıkların büyüme süresi, boyutu ve ayrılma sıklığından etkilenir. Damlacık oluşumunu etkileyen ana parametreler tel bileşimi ve çapı, koruyucu gaz bileşimi, elektrik polaritesi, ark uzunluğu ve kaynak akımı seviyesidir.

Şekil 1, AZ61 magnezyum alaşımlı levhaların KCl, TiO₂ ve CaCl₂ aktivasyon akıları olan ve olmayan MIG kaynağı sırasında zaman atlamalı olarak aktivasyon akıları olan ve olmayan kaynak akımının değişim eğilimlerini göstermektedir. Tek MIG kaynağının kaynak akımı değişiminin nispeten durağan olduğu ve ortalama akım değerinin 184 Amper üzerinde tutulduğu görülmektedir.

KCl akısı, akım dalgalanmasını şiddetlendirdiği gibi tek MIG kaynağına göre ortalama kaynak akımı değerini 17 Amper artırır. CaCl₂ akısı kullanıldığında, ortalama akım değeri 175 Amper düşürülür ve akımın değişim eğilimi düzensizdir. TiO₂ akısı ile ilgili olarak, kaynak akımı neredeyse tekli MIG kaynağı ile aynıdır. Bu çalışmada ark gerilimi

23 Volt'ta tutulduğu ve ark iletkenliğindeki değişim ark direncinde ters bir değişime yol açacağı için Ohm yasasına göre ark iletkenliğinin kaynak akımı ile orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Etkinleştirici akılar eklendiğinde ark iletkenliği değişebilir.



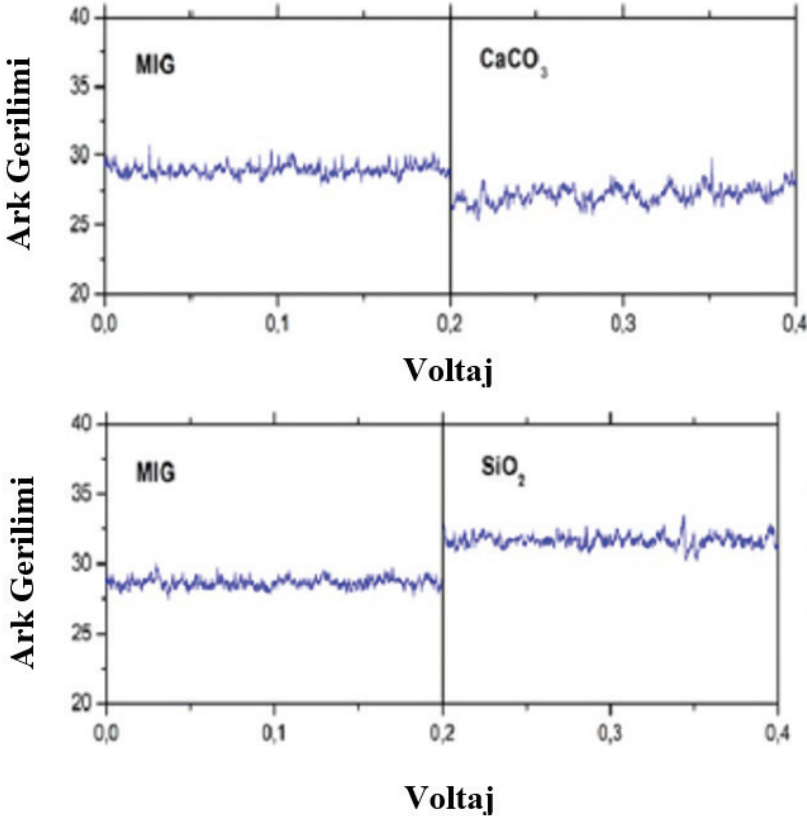
Şekil 1. AZ61 Magnezyum Levhaların, Aktive Edici Akılar Olmadan ve İçeren MIG Kaynağında Kaynak Akımının Değişim Eğilimi

Batista ve Modenesi'nin araştırması, MIG kaynağındaki metal transfer modunun, AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağındaki verimliliği ve kaynak dikişi geometrisini doğrudan etkilediğini ortaya koydu.

Kaynaklar eritkensiz, kalsiyum karbonat akısı ve silikon dioksit akısı ile yapıldı. Akıların ark gerilimi üzerindeki etkileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Test sonuçları tozların prosesi aktif olarak etkilediğini göstermiştir.

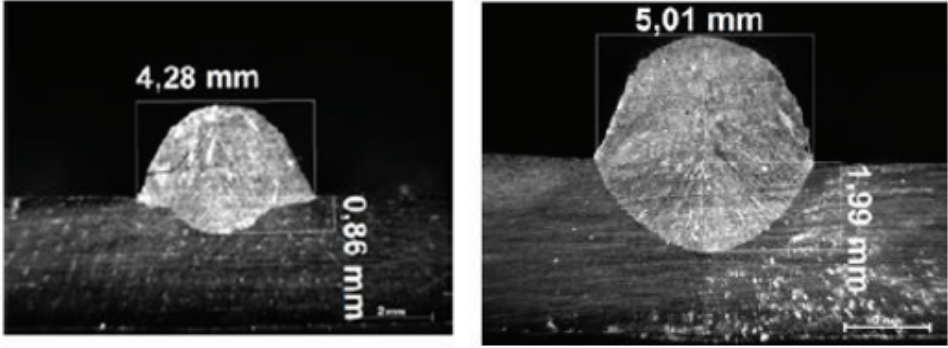
Kalsiyum karbonatın küresel ve püskürtme modları arasındaki geçişi geciktirerek ark voltajını ve metal transfer frekansını azalttığı gözlem-

lendi. Öte yandan, silika ark voltajını artırır ve metal transferini önemli ölçüde değiştirmez. Her iki akı da kaynak dikış genişliği penetrasyonu ve profilinin geometrik yönlerinde değişikliklere neden oldu.



Şekil 2. MIG, A-MIG CaCO₃ ve A-MIG SiO₂ Kaynaklarının Ark Gerilimi

Östenitik paslanmaz çeliklerin tipik MIG ve A-MIG kaynak kesitleri Şekil 4'te gösterilmektedir. A-MIG kaynağında genişlik ve penetrasyon derinliği daha fazladır. A-MIG kaynağında penetrasyon derinliği %1,31 arttı. A-MIG kaynağında kaynak derinliği/genişlik oranı da artar. Kaynak derinliği/genişlik oranı MIG kaynağında 0,20 ve A-MIG kaynağında 0,40'tır. Her akının kaynak geometrisi üzerinde karakteristik bir etkisi vardır. Östenitik paslanmaz çeliklerin A-MIG kaynak uygulamalarında benzer yüksek penetrasyon derinlikleri elde edilmiştir.

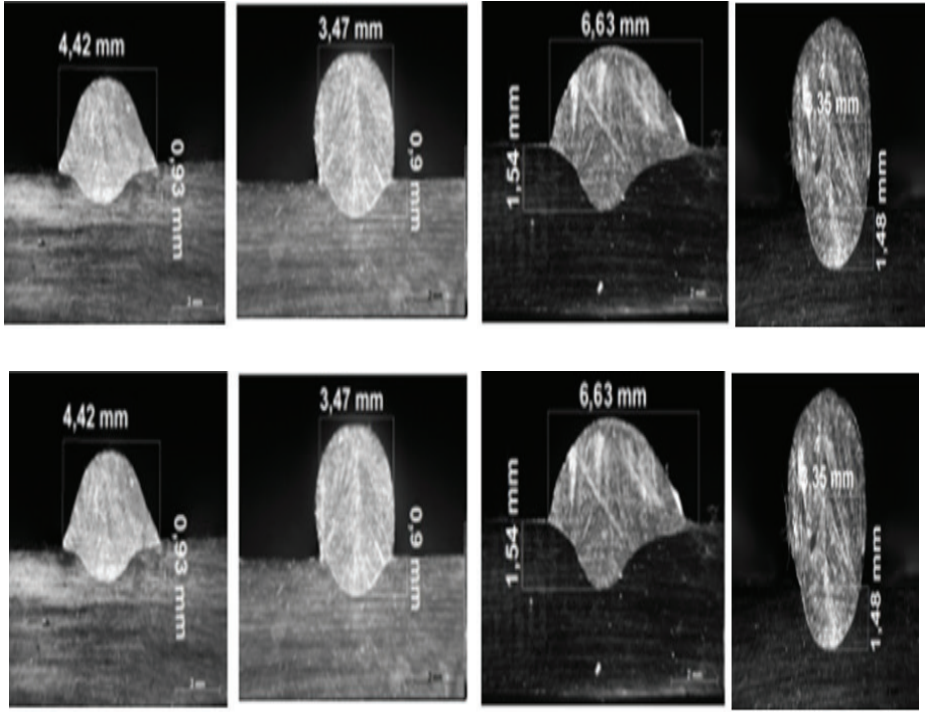


Şekil 3. CrNi 18-10 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin (a) MIG ve (b) A-MIG Kaynağı ile Üretilen Kaynak Dikişinin Makro Kesiti

A-MIG kaynak uygulamalarında aktive edici akı kimyasal bileşimi önemlidir. Şekil 4'te gösterildiği gibi her akının kaynak geometrisi üzerinde benzersiz bir etkisi vardır. Şekil 4a, CrNi 18/10 östenitik paslanmaz çelik levhanın bir MIG kaynağının kaynak dikişi şeklini göstermektedir.

Kaynak genişliği 4,42 mm ve penetrasyon derinliği 0,93 mm'dir. Şekil 4b, c ve d, farklı mono akışların A-MIG kaynaklarının kaynak şekillerini göstermektedir. Tüm bu kaynaklar aynı kaynak parametreleri ile yapılmıştır. Al_2O_3 akısı ile yapılan A-MIG kaynağı (Şekil 4b) penetrasyon derinliğinde herhangi bir fayda sağlamamıştır.

Sadece 0.90 mm derinliğinde boncuk oluşmuştur. Ancak bu kaynaktaki genişlik azalmış, donatı yüksekliği artmıştır. Derin kaynaklar Fe_2O_3 ve $CaZrO_3$ akıları ile elde edilmiştir. Her akı, farklı bir kaynak genişliği ve takviye yüksekliği üretmiştir.

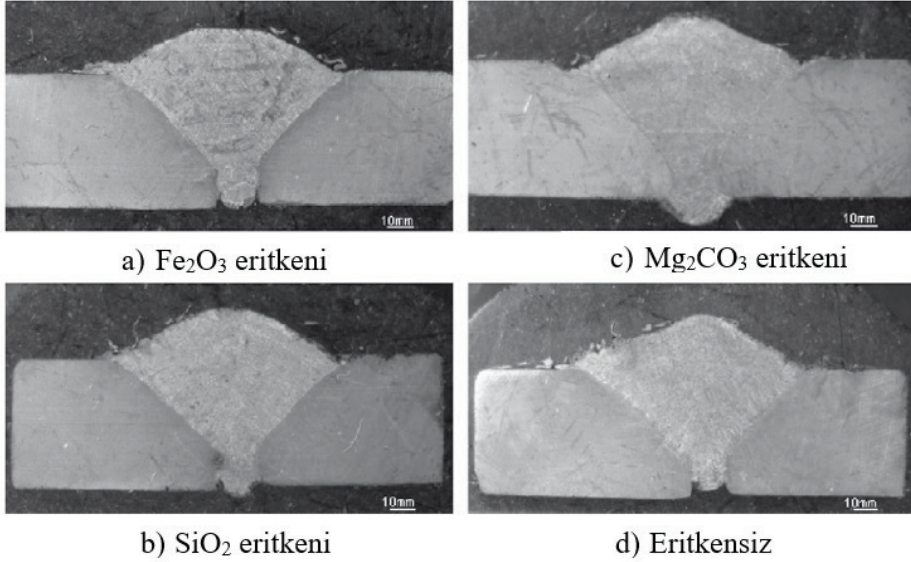


Şekil 4. CrNi 18/10 Östenitik Paslanmaz Çelik Levhaların MIG Kaynaklarının Kaynak Kesitleri. (a) Akı Yok. (b) Al_2O_3 Akışı(c) $CaZrO_3$ ve (d) Fe_2O_3 Akışı

Huang, 5 mm kalınlığındaki AISI 1020 karbon çelik levhalarla deneyler yaptı. Gaz metal ark kaynağı işlemi, plakalar üzerinde tek pasolu kare-yivli bir alın bağlantısının kaynağı için kullanıldı. Fe_2O_3 , SiO_2 ve $MgCO_3$ mono akılar kullanılmıştır.

Kaynak işlemlerinde argon koruyucu gaz kullanılmıştır. Şekil 5, kaynak parçası şekillerini göstermektedir. Aktive edici akılar, kaynak nüfuziyetinde, derinlik/genişlik oranında ve kaynak alanında önemli bir artış sağladı. Bu bulgular Batista'nın sonuçlarıyla paralellik gösteriyor. Kaynak alanındaki değişiklikler, akı destekli Gaz metal ark kaynağı aktive etmek için nispeten küçüktü, bu da deneylerde kullanılan aktivasyon akısının kaynak enerjisini etkili bir şekilde artırmadığı anlamına gelir.

Gaz metal ark kaynağı aktive edici akı uygulanarak, enerji yoğunluğu arttı, yani ark daralması veya erimiş metalin bir erimiş havuzdaki akış yönünün değişmesi, kaynak penetrasyonu ve derinlik/genişlik oranının artmasına neden oldu.

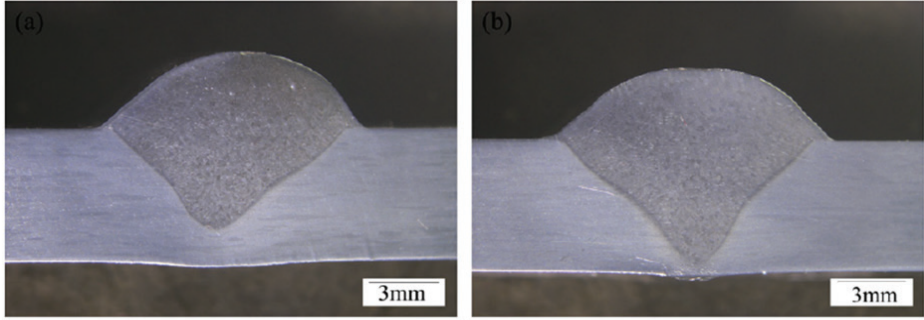


Şekil 5. Çeşitli Toz Bileşimleriyle Üretilen Gaz Metal Ark Kaynağı Kaynak Geometrisinin Özellikleri

Ruan ve arkadaşları MIG, 6 mm kalınlığında 6082-T6 alüminyum plakaları SiO_2 aktive edici akı ile ve SiO_2 olmadan kaynakladılar. Kaynakların fotoğrafları Şekil 6'da gösterilmiştir (10). SiO_2 akısının akısız akıdan biraz daha geniş olduğu gözlemlendi. SiO_2 akısı ile kaynak bağlantısı penetrasyonu, SiO_2 akısı olmayana göre yaklaşık %26 daha derindi. Ark daralması ve daha yüksek ark sıcaklığı, MIG kaynak bağlantılarında daha derin penetrasyonun ana nedenleriydi.

Geleneksel aktive edici akılar, düşük yapışma ve kohezyona sahip 50-100 parçacık boyutuna sahip mikro tozlardan oluşur. Kaynakta, büyük akı parçacıkları yavaşça buharlaşır ve bu, akı gaz fazının kaynak arkındaki iyonlaşma ve ayrışma süreçleri üzerindeki etkisinin etkinliğini azaltır. MIG kaynağında aktive edici akıların etkinliği, ultra ince ve nano-dağılmış akı 1 tozlarının uygulanmasıyla iyileştirildi. A-MIG

kaynağının verimliliği çelik kaynağında %60, alüminyum kaynağında %40 artmıştır.



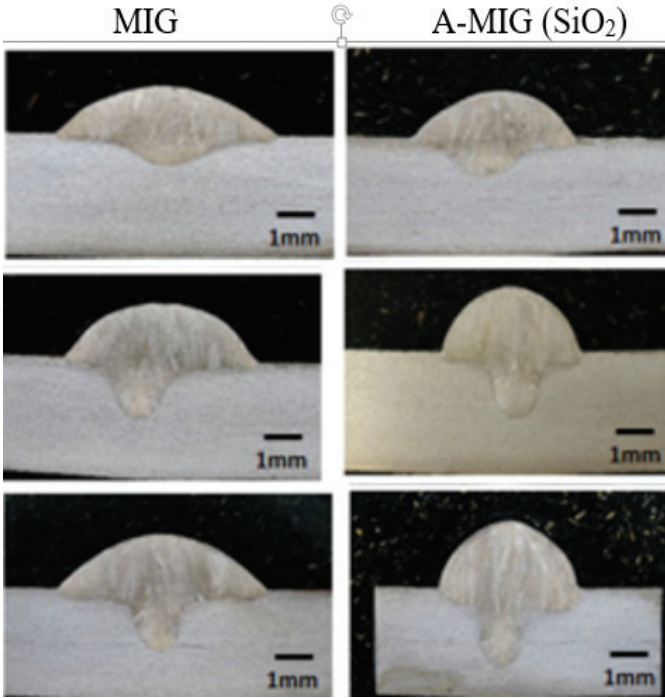
Şekil 6. Kaynakların Makro Fotoğrafları, (a) SiO₂ Akısı Olmadan, (b) SiO₂ Akısı Kullanarak

Varbai ve çalışma arkadaşları, %20 SiO₂ + %80 MnO ve %60 SiO₂ + %40 MnO karışımlarının, kaynak dikişi şeklinde mono akılardan daha büyük artış etkisi gösterdiğini bulmuşlardır. Diğer araştırmacıların sonuçları, A-MIG kaynağında karışık akıların daha iyi etkisini desteklemektedir.

Kaynak akımının kaynak geometrisi üzerindeki etkileri MIG ve A-MIG kaynağında Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu kaynaklar AISI 304L östenitik paslanmaz çelik levhalar üzerinde üretilmiştir. Kaynak sırasında Ar-2,5% CO₂ koruyucu gaz tüketilmiştir. A-MIG kaynakları SiO₂ flux ile yapılmıştır.

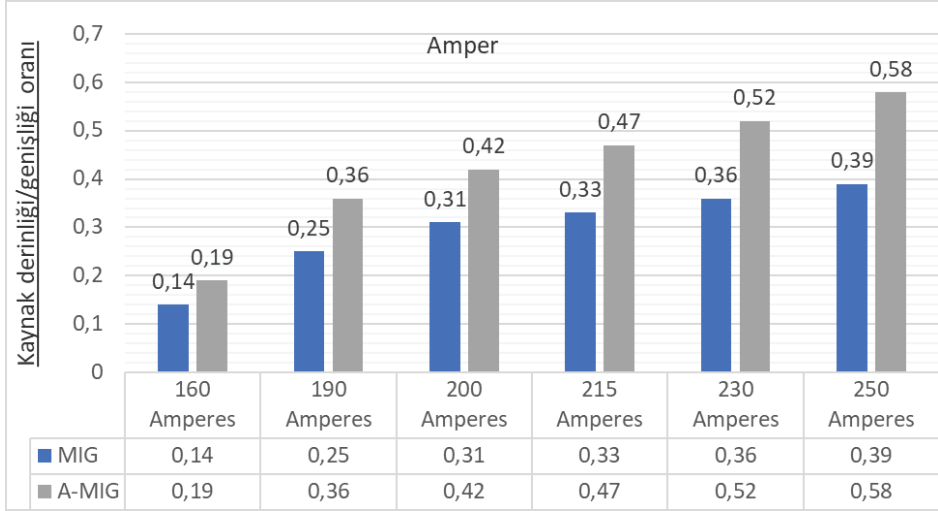
İlk hat kaynakları 160 Amper, orta hat kaynakları 200 Amper ve alt hat kaynakları 230 Amper ile üretilmiştir. Her kaynak akımında A-MIG kaynağı, MIG kaynağından daha derin bir kaynağa sahiptir. Bu sonuç, kaynaktaki etkinleştirici toz kullanılmasının ana amacı ile örtüşmektedir. 200 ve 230 Amper kaynaklarda parmak şeklinde penetrasyon meydana gelmiştir. Bu geometri, bu kaynaklarda sprey transfer modunun olduğunu kanıtlamaktadır. 160 Amper kaynaktaki parmak şeklinde penetrasyon oluşmamıştır. Bu, küresel transfer modunun gerçekleştiğini gösterir. Hem MIG hem de A-MIG işlemleri aynı metal transfer moduna sahiptir. Püskürtme transfer modu ile kaynak azaldı. Genişlik kaynak akımına paralel olarak artmıştır. Yüksek enerji girdileri nedeniyle kaynak akı-

mındaki artışla penetrasyon derinliği ve kaynak genişliği artmıştır. Kaynak akımının penetrasyona etkisi MIG ve A-MIG kaynak operasyonlarında gerek penetrasyon derinliği gerekse kaynak derinliği/kaynak genişliği oranı ile açıklanabilir. Şekil 8, MIG ve A-MIG kaynak işlemlerinde kaynak akımıyla birlikte penetrasyon derinliğinin ve kaynak derinliği/kaynak genişliği oranının arttığını göstermektedir. A-MIG kaynaklarının penetrasyonu, kaynak akımı ile MIG kaynaklarına göre daha büyük artış göstermiştir.



Şekil 7. AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çeliklerin MIG ve A-MIG Kaynaklarının Kaynak Kesitleri. Kaynak Akımı Şuydu: (a) Üst satır 160 Amper, (b) Orta satır 200 Amper ve (c) Alt satır 230 Amper

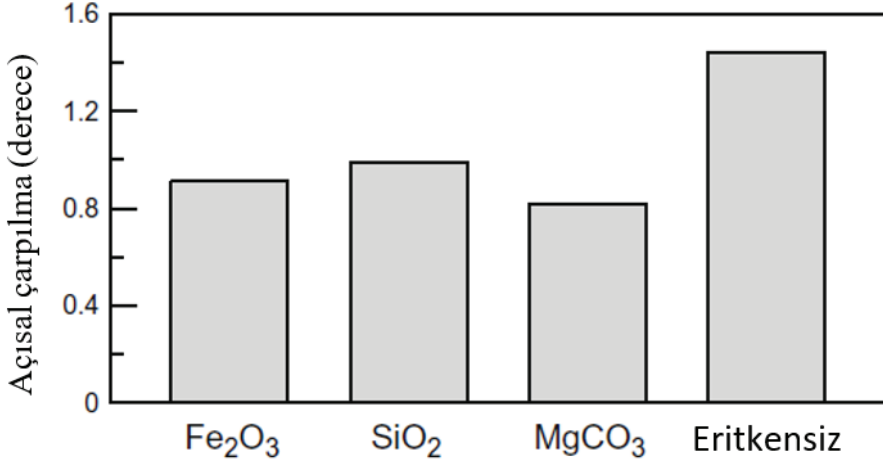
Grafik 1. AISI 302 Paslanmaz Çelikler İçin Etkinleştirici Toz Kaynak Derinliği/Kaynak Genişliği Oranına Etkisi



Şekil 8, aktive edici akırlar içeren ve içermeyen yumuşak çelik kaynaklı bağlantıların tipik mekanik özelliklerini göstermektedir. AISI 1020 çelik levhalar MIG alın kaynaklı ve $MgCO_3$, SiO_2 ve Fe_2O_3 etkinleştirici tozları kullanılarak kaynak yapılmıştır.

Kaynaklı birleştirmelerin ısıdan etkilenen bölgelerinin Çekme testleri ve Vickers sertliği sonuçları şekilde gösterilmiştir. Mekanik özelliklerin test sonuçları, $MgCO_3$ akı destekli Gaz metal ark kaynağı ile kaynaklı bir bağlantının maksimum çekme dayanımı ve sertliğinin sırasıyla 30,8 kgf/mm² ve 177,3 HV olduğunu göstermiştir. Ayrıca, diğer aktive edici akırlar durumunda, yani Fe_2O_3 ve SiO_2 , kaynak bölgesinin mekanik özellikleri (dayanım ve sertlik dahil), tozsuz Gaz metal ark kaynağı kıyasla iyileşti.

A-MIG kaynaklarında kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölge MIG kaynağından daha hızlı soğutulur. Daha yüksek soğuma hızları östenitin çeliklerde daha sert bir mikro yapıya dönüşmesine neden olur. Soğutma hızı ne kadar yüksek olursa, o kadar sert mikro yapı oluşur. $MgCO_3$ akısı en yüksek soğuma hızını verdiği için en yüksek mukavemet ve sertlik elde edilmiştir. MIG kaynağı en düşük mekanik özellikleri vermiştir (Kulkarni, 2006).



Şekil 8. Aktive Edici Akıların Yumuşak Çelik MIG Kaynaklarının [Parshin, 2012] Açısal Distorsiyonu Üzerindeki Etkisi

SONUÇ

Bu çalışma, metallerin A-MIG kaynak işleminin kaynak dikiş geometrisi ve mekanik özellikleri üzerindeki kaynak aktive edici akı etkilerini açıklamaktadır. Literatür taramasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Bir A-MIG kaynağının kaynak nüfuziyet derinliği ve kaynak genişliği boyutu, akının kimyasal bileşimine bağlıdır.
2. Eritken karışımları mono eritkenlere göre daha iyi sonuç verir.
3. Akıların etkinleştirilmesi kaynak akımını ve ark gerilimini etkiler. Etkiler, akının kimyasal bileşimi ile değişir.
4. A-MIG kaynağı, östenitik paslanmaz çeliklerde geleneksel MIG kaynağına kıyasla penetrasyon derinliğinde önemli bir gelişme sağlar.
5. A-MIG işlemleri yumuşak çelikler, alüminyum ve magnezyum alaşımlarında küçük penetrasyon derinliği avantajları sağlar.
6. A-MIG kaynaklarında yüksek soğuma hızları, daha yüksek çekme mukavemeti ve sertliğe neden olur.

7. Kaynaklamanın açışal distorsiyonu, akı destekli MIG ile azaltılmıştır. Açışal distorsiyon, kaynak boncuk geometrisi ile ilişkilidir: daha düşük açışal distorsiyonla sonuçlanan derin ve dar kaynaklar.

KAYNAKÇA

Nguyen, N.T., vd. (2006). High Speed Fusion Weld Bead Defects, *Science and Technology of Welding and Joining*, 11, 618-633.

Mvola, B., vd (2013) Applications and Benefits of Adaptive Pulsed GMAW, *Mechanika*, 19, 694-701.

Li, K. and Zhang, Y., (2007) Metal Transfer in Double-Electrode Gas Metal Arc Welding. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129, 991-999.

Ueyama, T., vd., (2005) High-Speed Welding of Steel Sheets by the Tandem Pulsed Gas Metal Arc Welding System, *Transactions of JWRI*, 34, 11-18.

Kurtulmus, M., vd., (2019) Activated Flux TIG Welding Of Non-Ferrous Metals, *Indian Journal of Chemical Technology*, 26, 164-169.

Huang, H., (2010) Research on the Activating Flux Gas Tungsten Arc Welding and Plasma Arc Welding for Stainless Steel, *Metals and Materials International*, 16, 819-825.

Kaul, R., vd., (2007) Effect of active flux addition on laser welding of austenitic stainless steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, 12, 127-137.

Zhang, R., vd., (2006) Fan D., Katayama S., Electron Beam Welding with Activating Flux, *Transactions of Japan Welding Research Institute*, 35, 19-22.

Huang, H., (2010) Effects of activating flux on the welded joint characteristics in gas metal arc welding, *Materials and Design*, 31, 2488-2495.

Ruan, Y., vd., (2012) Mechanical properties and microstructures of 6082-T6 joint welded by twin wire metal inert gas arc welding with the SiO₂ flux, *Materials and Design*, 35, 20-24.

Parshin, S.G., (2012) Using ultrafine particles of activating fluxes for increasing the productivity of MIG/MAG welding of steels, *Welding International*, 26, 800-804.

Zhang, Z. and Cao, Q., (2012) Study on metal transfer behaviour in metal inert gas arc welding with activating flux for magnesium alloy, *Science and Technology of Welding and Joining*, 17, 550-555. [1367-1380.https://doi.org/10.1080/02640410903110974](https://doi.org/10.1080/02640410903110974)

YANMA OLUĞU DERİNLİĞİ VE UZUNLUĞUNUN KAYNAK STATİK GERİLME YİĞILMASINA VE SÜNEKLİĞİNE ETKİLERİ

*Memduh KURTULMUŞ*¹

Öz: Kaynak prosesi, makine ve metal sektöründe çeşitli birleştirme, dolgu, zırh, aşınma önlemleri gibi kritik noktalarda yaygın olarak kullanılmakta olan bir yöntemdir. Bu yöntem ile ilgili olarak endüstriyel uygulamalar ve akademik çalışmalarında her zaman geliştirilmeye açık hususlar olmuştur. Bu hususlar genel olarak kaynak hataları sebebi ile prosesin yöntemini zorlaŐtıran veya direkt olarak prosesi yanlış yönetilmesinden dolayı ortaya çıkan hatalar olarak betimlenebilirler. Kaynak prosesleri farklı teknikler ve farklı teknolojilerin kullanılması yöntemi ile uygulanabilir veya birden fazla kaynak yönteminin birleŐtirildiĐi bir hibrit kaynak prosesi de olabilir. Hangi yöntemin kullanıldığı fark etmeksizin, kaynak yönteminin kendine has parametrelerinin düzgün bir şekilde belirlenmesi, uygulama ihtiyacına özel olarak prosesin dizayn edilmesi doğru sonuçlar almak ve uygulamanın doğru bir şekilde tamamlanmasını sağlamak için önemlidir. Kaynak hataları kaynak prosesini yöneten kişiye bağlı olarak, kaynak işlemini yapan operatör veya kaynakçıya bağlı olarak, makine ve ekipmanların yetersiz/yanlış seçiminden kaynaklı olarak pek çok farklı şekilde ortaya çıkabileceğinden dolayı, bu kadar fazla etkenin bir arada bulunduğu bir proseste önceki işlemlerin takibi, literatürün ve endüstriyel gelişmelerin takip edilmesi, proses uygun hazırlık yapılması ve uygun malzeme-ekipman seçiminin yapılmış olması gerekmektedir. İş parçaları olarak adlandırılan kaynak yapılacak olan malzemelerin, çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi için yapılan uygulamalarda, hatalı kaynak parametreleri ile çalışılması koşullarında, konumu; kaynak

1 Marmara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, İstanbul / Türkiye, e-mail: memduhk@marmara.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6525-232X

dikişi ucunda ve kaynak ilerleme doğrultusuna paralel olarak konumlanmış olan çentik tarzında süreksizlikler oluşur. Bu süreksizlikler yanma oluğu şeklinde literatürde adlandırılmıştır. Alın tipi olarak uygulanan kaynak birleştirme uygulamalarının yüzeyinde kaynak dikiş uç kısmında üç ayrı karakterde yanma oluğu oluşumu görülmektedir:

1. Geniş ve kavisli,
2. Çatlak şeklinde (çok dar),
3. Mikro çatlak karakterinde, sığ ve dar olan yanma olukları şeklindedir.

Mikro çatlak karakterinde olan yanma oluklarının derinliği maksimum 0,25 mm olacak şekilde belirlenebilir. Geniş ve kavisli karakterde tabir edilen yanma olukları ile en yaygın şekilde karşılaşılan kaynak yanma oluklarıdır. Bu tip yanma olukları çoğunlukla yüksek kaynak enerjileri ile yapılan kaynak uygulamalarında, yatay ve düşey pozisyonlarda yapılan uygulamalarda ve otomatik kaynak yöntemi gibi uzun kaynak dikişi uygulamasına izin veren kaynak uygulamalarında oluşur. Fakat geniş ve kavisli yanma oluk tipi aynı zamanda örtülü elektrotlar ile yapılan kaynak uygulamalarında da görülür. Örtülü elektrod ile yapılan kaynak uygulamalarında kaynak dikişinin ayak ucu olarak tabir edilen lokasyona yeterli sıvı metal beslenemediğinden dolayı bu tip süreksizlikler bu bölgelerde oluşur. Kaynak dikişi ucuna yakın bir uzaklıkta fakat az miktarda sıvı metal beslenirse 1. tip ve 2. tip yanma olukları oluşumu görülür. Kaynak uç bölgesinde inklüzyonların birikmesi halinde ve Isı Tesiri Altındaki Bölge'nin sünekliğinin yetersiz kalması durumunda ise 3. tip yanma oluğu oluşur. Yanma oluğu oluşumunda aşırı yüksek kaynak akım şiddeti ve yüksek kaynak ilerleme hızı kullanılması halinde, istenmeyen kaynak dikiş geometrisi ve buna bağlı olarak da yanma oluğu kaynaklı yapıda meydana gelir. Dikişin kalınlık üzerinden taşan metal yüksekliği (kaynak kepi), kaynak dikiş genişliği, çentik uzunluğu, çentik genişliği, çentik derinliği ve çentiğin dip yarıçapı kaynaklı parçanın statik ve dinamik dayanımını düşürmektedir. Bu çalışma için yapılan deneysel çalışmalarda, iki adet 20 mm kalınlıktaki EN 10025-3 S235JR standartlı çelik malzemeye 30° açılı yarım V alın kaynak ağız açısı açılmıştır. Kaynak ağızı açılan plakaya, kaynak sarf malzemesi SG-2 olarak bilinen AWS A5.18 standardına göre ER70S-6 ile gösterilen gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak uygulamada CO₂ gazı kullanımı sağlanmıştır. Levhalara robot ile MAG gazaltı kaynak yöntemiyle tek pasoda tam nüfuziyetli alın kaynak birleştirilmesi yapılmıştır. Otomasyon robot kaynağı yatay pozisyonunda yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra

parçaya penetrant sıvı ve radyografik yöntemi ile tahribatsız malzeme muayene yapılmıştır. Kaynaklı parçanın sıfır hatalı olduğu kesin olarak kanıtlanmıştır. Kaynaklı iş parçasından kaynak ilerleme yönüne dik çekme deney numuneleri çıkarılmıştır. Bu işlem sonrasında çekme numunelerinin kaynak dikiş ucunda yer alan ısının tesiri altında kalan bölgesine yanma oluk hatasını temsil eden yapay hatalar oluşturulmuştur. Çekme deneyi yapıldıktan sonra yanma oluğu uzunluğu ve yanma oluğu derinliğinin malzemenin statik mekanik özellikleri üzerindeki tesirleri tesbit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Hataları, Yanma Oluğu, Yanma Oluğu Geometrisi, Gerilme Yığılması

GİRİŞ

Günümüz üretici firmaları, pazarda mevcut olan rakipleri ile rekabette baş edebilmek için ürün kalitesinden taviz vermeksizin mevcut üretimlerini iyileştirmek mecburiyetindedir. Üretimciler, ancak üretimlerindeki hızı arttırarak ve üretim maliyetlerini düşürerek yaptıkları üretimlerinde gelişme sağlayabilirler. Gemi imalatı, otomotiv, çelik konstrüksiyon, petro - kimya, uzay ve havacılık, elektronik, nükleer enerji ve basınçlı kaplar gibi üretim yapan pek çok farklı sanayi kolunda, kaynak yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sanayi alanlarında uygulanan kaynak yöntemlerinde kaynaklı imalatın verimliliğin arttırılması ile üretim maliyetlerinde düşüşler sağlanabilmektedir [Nguyen vd., 2006].

Pek çok farklı tekniğe ve prensibe değinen ve dayanan farklı kaynak yöntemleri vardır fakat belirli olan her kaynak yönteminde, bu prosesin verimliliğinin geliştirilmesi için fazla sayıda değişkenden, parametreden ve teknolojiden yararlanılmaktadır. Pek çok farklı iş kolunda uygulanmakta olan farklı kaynak yöntemlerinin en verimli haline (optimum) gelmesinde en basit çözüm kaynak süresinin kısaltılması olarak bilinmektedir ve bu da demektir ki kaynak prosesinin süresinin kısaltılması yapılan kaynak uygulamasının kaynak hızının arttırılması ile elde edilebilir. Verimliliği arttırmak için başka metotlarda uygulanabilir, bunlardan bir başkası uygulanan kaynak yöntemi için yöntemi otomasyon içeren bir sistem haline çevirmektedir.

1800'lerin sonlarında, gaz ve ark kaynağı geliştirildi ve şu anda yaygın olarak kullanılan pratik metal birleştirme işlemleri haline geldi. Bu uygulamalara örnek olarak petrokimya rafinerilerindeki endüstriyel boruların kaynaklanması, nükleer enerji tesislerinin inşası ve onarımı, gemi yapımı ve havacılık endüstrileri ve ayrıca kara taşıtı endüstrileri verilebilir.

Füzyon kaynağı, endüstride metal birleştirme olarak bilinen daha geniş bir kategorinin parçası olan nispeten geleneksel bir kaynak işlemidir. Füzyon kaynağı işleminde, bir erimiş metal havuzu oluşur ve bileşenleri birleştirir ve bağlantıya metal eklemek için bir dolgu çubuğu kullanılabilir. Üç Füzyon kaynağı grubu vardır: gaz, ark ve yüksek enerjili ışın kaynağı.

Her türlü kaynak prosedüründe birincil endişe, kaynağın sağlam ve yüksek kalitede olmasını sağlamaktır. Füzyon kaynağı yaygın olarak kullanılmaktadır, şimdiye kadar kaynak kalitesinin kendisi mühendisler, araştırmacılar ve özellikle imalatçılar için önemli sorunlar teşkil etmektedir. Bir yapıya bir ergitme kaynağının yerleştirilmesi, gözeneklilik, eksik bağlantı penetrasyonu, yanma oluşu koşulları ve çatlama (genellikle kaynak ve ana metaldeki süreksizliklerin yakınındaki gerilim konsantrasyonlarından kaynaklanır, çeşitli süreksizliklere yol açabilir.

Genel olarak Füzyon kaynağı, ana metal bölgesi, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metali veya füzyon bölgesi olmak üzere üç farklı bölgeden oluşur. Sonuç olarak, Füzyon kaynağı bağlantılarındaki yorulma, kaynağın her bölgesine göre değişir. Ayrıca malzemenin mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerinden de etkilenir. Kaynakta, kaynak metali bir katılma ve erime süreci, gazların çözünmesi, ardından katı hal dönüşümü ve bozulma yaşar. Bu faktörler, malzemenin mikroyapısal davranışına katkıda bulunur.

Üç ayrı mikroyapı bölgesiyle ilgili olarak, yorulma davranışındaki farklılıkların kaynağın mukavemetini ve tokluğunu etkilediğine inanılmaktadır. Liu ve Bhole, basınçlı kap çelik kaynak bölgelerinde sertlik değerleri bildirmiş ve ITAB bölgesindeki sertliğin hem ana metal hem de kaynak metalinde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kalıntı gerilim alanlarının, katastrofik çatlak çekirdeklenmesi ve büyümesinin

etkisine katkıda bulunduğu yaygın olarak inanılmaktadır. Düşük karbonlu çelik için artık gerilimi ölçmüş ve kaynağın ortasına yakın bir yerde maksimum artık çekme gerilimi bulunmuştur. Bu olgu korozyon, yorulma ve kırılmada performans kaybına neden olabilir.

Genellikle kaynak tam nüfuziyetle tasarlanır ancak çatlaklar ve cüruf kalıntıları gibi işçilik faktörleri nedeniyle tam penetrasyon olarak uygulanmayabilir. Bu nedenle, kaynak sözde gerilim konsantrasyonları içerecektir. Silva ve diğerleri, penetrasyon eksikliği, yanma oluğu, gözeneklilik ve cüruf içirme gibi ana kaynak süreksizlik sınıflarını değerlendirmek için radyografik testler kullanarak kusur sınıflandırmasının doğruluğunu göstermiştir. Mikro çatlak başlangıcına katkıda bulunan diğer süreksizlikler, inklüzyonlar, ikinci faz partiküller, korozyon çukurları, tane sınırları, gözenekler ve boşluklardır.

Üretim yapmak amacı ile kullanılmakta olan farklı kaynak yöntemlerinin otomatik bir proses haline ulaşması durumunda kalite ve verimlilik kavramları ile kaynaklı imalatın devamlılığın sağlanması mümkün olacaktır. Hali hazırda bulunan kaynak yöntemlerinden daha hızlı bir şekilde kaynak yöntemlerinin uygulanması sonucunda kaynaklı imalatta verimlilikte kayda değer artışlar sağlanmaktadır. Mevcut ve geleneksel yöntemle üzerinde uygulanan dönüşümler ile kaynak hızı artışı sağlanabilir ve yanı sıra yeni kaynak yöntemlerinin ortaya çıkarılması ile hızlı kaynak yöntemleri icat edilmektedir. Yüksek ilerleme hızlarında kaynak dikişi oluşturabilen teknolojik kaynak yöntemleri, kaynaklı birleşim oluşturmak için kullanılmakta olan enerjinin oldukça yüksek oranlarda kaynak dikişinin üretimi için kullanılmasını sağladığı için; proses esnasında ortaya çıkan ısının, sıvı kaynak havuzuna komşu olan katı halde olan ergimemiş ana malzemeye iletimine engel olmaktadır ve böylece kaynak prosesinde eriyen metal oranını arttırmaktadır.

Eriyen metal oranının artışının sağlanması aynı zamanda üretimin verimliliğinde de artış sağlamakta olup bunun yanı sıra kaynak prosesi için enerji tasarrufu oluşturmakta ve kaynakta daha az çarpılma oluşturarak ilave avantajları da beraberinde getirmektedir. Ergimeli kaynak yöntemlerinde etkin olan kaynak parametreleri çok fazladır. Her bir kaynak parametresi ise birbirini etkilemektedir. Mukavemetli bir kaynak dikişi elde etmek amacıyla, uygulanan kaynak işleminde, kaynak

parametreleri birbirine uygun olacak şekilde seçilmelidir. Bu nedenle ergimeli kaynak yöntemlerinde sadece kaynak ilerleme hızını arttırmak kaynak verimini arttırmaya yetmemektedir.

Kaynakların yorulma özellikleri, günümüzde yüksek performanslı, hafif kaynaklı yapılarda yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması için bir darboğaz oluşturmaktadır. Bunun başlıca nedeni, yüksek mukavemetli çeliklerin yorulma yüklü yapısal bileşenlerde kullanımını sınırlayan, hafif mukavemetli çeliklere kıyasla çentiklere ve kaynak kusurlarına karşı artan hassasiyetidir. Genel olarak, kaynaklı durumdaki kaynaklı yüksek mukavemetli çelik tertibatların yorulma mukavemetinde çok az artış vardır veya hiç artış yoktur. Kaynak işlemi, yerel gerilim konsantrasyonlarına yol açan geometrik ve metalürjik çentikler ortaya çıkarır ve dolgu metalinin ve ısıdan etkilenen bölgenin termo-metalürjik işlemi, yüksek artık bileşen gerilimlerine veya düzeneğin büyük bozulma değerlerine yol açar. Şu anda, yorulmanın başarısızlığın nedeni olduğu yapısal uygulamalarda yüksek dayanımlı çelikler kullanılırken artan bir yorulma dayanımı elde etmek için kaynak sonrası işlemin uygulanması gerekmektedir. Endüstride kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur.

Kullanıma ve bir dereceye kadar yorgunluk değerlendirme ve yorulma mukavemetinin artırılmasına ilişkin bir genel bakış, iyileştirme teknikleri için kaynak mühendisliği kılavuzlarında verilmiştir. Kaynak ucunun kritik olduğu bölgelerde farklı kaynak sonrası işlem yöntemleri kullanılarak, yapısal bileşenlerdeki yorulma ömründeki artışı değerlendirmek için son on yıllarda büyük araştırma çabaları yürütülmüştür.

Yanma olukları olarak bilinen kaynak hataları ergimeli kaynak yöntemlerinde sıklıkla görülen bir kaynak süresizliği olarak tabir edilmektedir. Bu kaynak süresizlikleri genel olarak kaynak dikişi ile kaynak ana metalinin birleşme bölgelerine yakın bölgelerde (dikiş ayak ucunda) konumlanır ve kaynak dikişine paralel olarak meydana gelen oluk ve çentiklerdir. Kaynak esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık sonrasında oda sıcaklığına katılma esnasında bu bölgeler sıvı kaynak metali ile dolmak için yeterli zamanı bulamaz ve böylelikle kaynak dikişinde yanma olukları oluşur.

Lazer hibrit kaynak gibi modern otomatik kaynak işlemleriyle, yorulmaya karşı iyi dirençli yüksek kaliteli kaynaklar üretmek mümkündür. Bununla birlikte, kaynakların genel kalitesi çok iyi olsa da, birleştirmeler yine de kaynak çentiklerinde önemli geometrik varyasyonlar ve geometrik kusurlar içerebilir. Örneğin, lazer hibrit kaynaklı alın birleştirmeleri için önceki araştırmalar hem ayak hem de kök tarafında küçük yanma oluğu tipi kusurların bulunduğunu göstermiştir. Bu kusurlar genellikle kaynak uzunluğu yönünde kısadır ve kaynağın geometrisi incelendiğinde görünmeyebilir. Bununla birlikte, bu tür kusurlar, yerel stres yükselticiler olarak çalışır ve en zayıf halka ilkesine dayalı olarak yorulma mukavemetini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, yorulma kritik yapılarında, yorulma mukavemetine göre kaynak kalitesinin kontrolü ve değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Küçük levha kalınlıklarında, yani $t < 5$ mm'de, kaynak geometrisinin ve çentiklerin görelî boyutunun artması nedeniyle kaynak kalitesinin önemi artar. İnce levhalarda özellikle yanma oluklarının yorulma dayanımını önemli ölçüde azalttığı gözlenmektedir. Geometrik kusurların yorulma mukavemeti üzerindeki etkisi, yüksek mukavemetli çelikler ve yüksek sertliğe sahip kaynaklar için de artar, lazer bazlı kaynak işlemleri ile üretilir. İnce levhalardaki ve yüksek mukavemetli çeliklerdeki kaynaklar için, yaygın olarak kullanılan yorulma mukavemeti değerlendirme yaklaşımlarının yüksek belirsizliğe sahip olduğu ve gerilme-ömür (S-N) eğrisinde yüksek dağılım ürettiği, yorulma mukavemeti için tasarım değerlerini düşürdüğü ve yapısal optimizasyonu ilgili olarak sınırlandırdığı gözlemlenmiştir. ağırlık için. Modern ince levha yapılarından tam olarak faydalanmak için, yorulma mukavemeti değerlendirme yaklaşımlarının ve kaynak kalite kontrol yöntemlerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

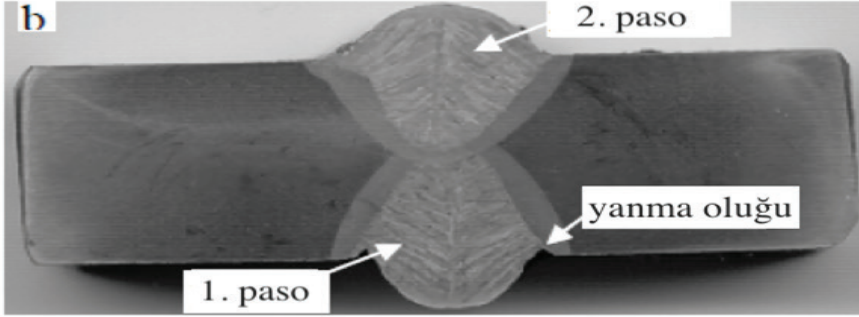
Lokal kaynak çentiğı geometrisi ile bağlantının yorulma mukavemeti arasındaki bağlantı hala belirsizdir. Çeşitli çalışmalar, gerçek kaynak çentiğı geometrisinin çentik gerilmeleri ve yorulma üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Genellikle, bu incelemeler 2 boyutlu geometri kesitleri için yapılır. Büyük ölçekte kaynak geometrisi kaynak boyunca sabit görünürken (ve 2B basitleştirme haklı gösterilebilir), küçük ölçekte değişen geometri kaynak yönünde gerilimin yeniden dağılımına neden olabilir.

Bu, 2B idealleştirmenin, sürekli geometri varsayımından dolayı kritik enine kesitlerde çentik geriliminin fazla tahmin edilmesiyle sonuçlanmasına neden olabilir. Yükün yeniden dağılımı, derin ve dar alt oyukların beklendiği kadar yüksek çentik gerilimlerine neden olmadığı zaten gözlemlenmiştir. Ölçülen 3D kaynak geometrisi için yapılan çalışmaların çoğunda, özellikle kaynaklı bağlantılarda genellikle bulunan keskin ve küçük çentikler için, yorulma değerlendirmesi için yanlış referans gerilimi olduğu bilinen maksimum yüzey gerilimine odaklanmıştır. Bu gibi durumlarda, mikroyapısal desteğin dikkate alınması dahil edilmelidir. Mikroyapı desteği dikkate alınarak ölçülen 3D kaynak geometrisi için kapsamlı yorulma mukavemeti analizi dikkate alınmalıdır.

Tozaltı kaynak yöntemi ile yapılan X alın kaynak birleştirmesinde oluşan yanma oluk hatası Şekil 1’de görülmektedir [Yang, 2008]. Şekil 1’de deney kaynaklarında oluşan tipik yanma olukları görülmektedir. Kaynakların sadece 1. Pasosunda dikişin her iki tarafında da yanma oluşu oluşmuştur. 2. Pasolarda ise yanma oluşu meydana gelmemiştir. İki kaynağın parametreleri arasındaki tek fark ön tavlama yapılıp yapılmamasıdır. Kaynaklanan parçaya ön tavlama yapıldığında veya pasolar arası geçiş sıcaklığı arttırıldığında ana metalin ısı iletimi azaldığından kaynak bölgesinin soğuma hızı düşmektedir. Bu nedenle sıvı metalin katılaşması daha geç olmakta ve oda sıcaklığına soğuması yavaşlamaktadır.

Birinci pasoda sıvı metalin katılaşması ve katının soğuması hızlı olmaktadır. Bu nedenle bu dikişlerde yanma oluşu meydana gelmiştir. İkinci pasoda ise katılaşma daha uzun sürede olduğundan havuzdaki sıvı metalin yüzey gerilim engelini aşarak dikişin ucuna ulaşma imkanı arttığından, yanma oluşu meydana gelmemektedir.

Elektrik ark kaynaklarında yanma oluşunu önlemek için yeterli sıcaklıkta ön tavlama yapmanın önemi bu çalışmada açıkça ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. Tipik Yanma Oluk Hatası [Yang, 2008]

Yanma oluk hatası aşırı yüksek kaynak akımı ve/veya aşırı yüksek kaynak hızında kaynak yapılması koşullarında meydana gelmektedir [Zong vd., 2016]. Bu kaynak hatası gazaltı kaynak [Doğan vd., 2021], TIG kaynağında [Meng vd., 2016], lazer kaynak [Frostevarg vd., 2014], tozaltı kaynak Novacki vd., 2005], örtülü elektrot ark kaynak [Garg vd., 2013] ve elektron ışın kaynak [Kaur, 2016] yöntemlerinin endüstriyel uygulamalarında oluşmaktadır. Gazaltı kaynak hataları temelde süreksiz ve sürekli diye iki ana guruba ayrıldığı Şekil 2’de görülmektedir [Zong vd., 2016]. Süreksiz hatalarda hata kesiti dikiş boyunca değişim göstermektedir.

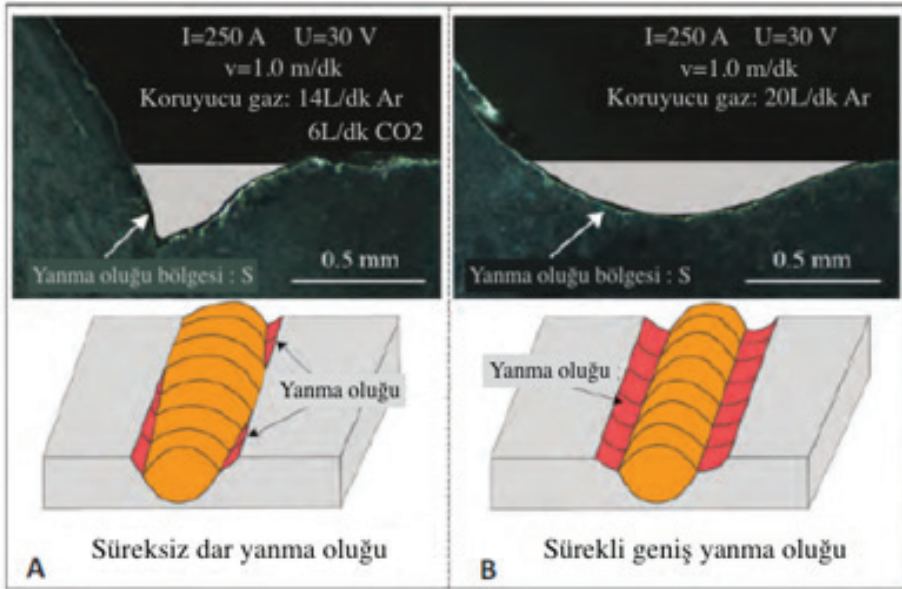
Yanma oluğunun oluşum mekanizmasını anlamak için Nguyen ve ark. (2013), yüksek hızlı GMAW kaynak havuzundaki erimiş metal akışını araştırdı ve kaynak hızının yanma oluğu oluşumu üzerindeki etkisini analiz etti. Düşük bir kaynak hızı, arkın altında damlacık etkisini emen ve ark basıncını zayıflatan kalın bir sıvı metal tabakası üreterek erimiş havuzdaki geriye doğru sıvı akışının momentumunu azalttı. Ancak 0,8 m/dak’dan daha yüksek bir kaynak hızı arkın altında ince bir sıvı metal tabakası oluşturmuştur. İnce sıvı tabakası, damlacık çarpma enerjisini yeterince absorbe edemez ve yüksek damlacık çarpma momentumu bırakır. Böylece, yanma oluğu kusurlarını indükleyen hızlı bir geriye doğru sıvı metal akışı ortaya çıkar. Bu, kaynak havuzundaki geriye doğru sıvı akışının davranışının yanma oluğu kusurlarının oluşumu için önemli bir faktör olduğu anlamına geliyordu. Zong ve ark., arkın

altındaki ince sıvı tabakanın, sıvı metalin enine yayılmasını engellediğini, bunun sonucunda kaynak havuzunun ortasında geriye doğru akışın azaldığını ve olukları dolduracak ileri akışın olmadığını ileri sürmüştür. Kaynak uçlarında erimiş metal olmaması, yanma oluşu kusurlarına neden oldu. Boyuna ve enine sıvı akış bileşenlerinin hızlarının, yüksek hızlı GMAW'da ters oyuk oluşumundan sorumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynak havuzunun sıvı akışını iyileştirmek için Shoichi ve ark. (2013), elektromanyetik alanın baş üstü kaynak üzerindeki etkisini inceledi ve manyetik alan yoğunluğu 7,5mT olduğunda kaynak boncuk penetrasyonunun %10 arttığını buldu ve harici manyetik alanın kaynak havuzu davranışını değiştirebildiğini kanıtladı. Kazufumi ve ark. (2012), doruk tipi bir manyetik alanın, yüksek hızlı TIG kaynağında ark plazmasının çapraz şeklini geleneksel daireden bir elipse değiştirdiğini gözlemledi. Değişen ark şekli, ark basıncını azalttı ve ark ısısını kaynak yönü boyunca uzatarak kaynak hızının 1,8 m/dk'ya kadar çıkmasına olanak sağladı. Manyetik alanın düşük maliyetli enstrümantasyon kullanılarak üretileceğini ve bu şekilde üretilen jeneratörün/cihazın kaynak kurulumuna takılmasının kolay ve çalıştırılmasının esnek olduğunu gösterdi. GMAW'da damlacık transfer sürecini kontrol etmek için Luo ve ark. (2010), CO₂ kaynak işlemine harici bir uzunlamasına manyetik alan ekledi. Elektromanyetik kuvvetin dönme bileşeni, arkın ve damlacığın kaynak telinin merkez eksenini etrafında dönmesine neden olurken, dikey bileşen damlacığı aşağı doğru sürükledi ve sonuç olarak kararlı bir kısa devre aktarımı ve daha az sıçramayla sonuçlandı. Hem ark hem de damlacık, harici uzunlamasına manyetik alan tarafından etkili bir şekilde hareket ettirilebilse de, yukarıdaki manyetik alan tarafından değiştirilen kaynak havuzu davranışı, çalışma eksikliydi. Liu ve ark. (2016), harici bir uzunlamasına manyetik alanın erimiş metalin ıslanma davranışını iyileştirebileceğini ve bakır/alüminyum ark kaynağında kırılmalı Al₂Cu tabakasının kalınlığını azaltabileceğini buldu. Ancak dönen damlacık transferi, kaynak havuzundaki geri akış hızını periyodik olarak arttırdığı için yüksek hızlı kaynak için kullanmak için yetersizdi. Yüksek hızlı GMAW için Wu ve ark. (2016), kaynak havuzunun önünde ek bir elektromanyetik kuvvet oluşturmak için harici bir enine manyetik

alan kullandı. Önde gelen elektromanyetik kuvvet, çarpma ve yanma oluğu kusurlarını bastırmak için kaynak havuzundaki geriye doğru sıvı akışının momentumunu düşürdü. Ancak, kurulumları kullanıldığında, enine manyetik alan üretici iş parçasının arkasına yerleştirildiğinden kaynak erişilebilirliği sınırlıydı.

Şekil 2’de gazaltı kaynak yöntemi ile imal edilen parçalarda iki adet yanma oluk tipi verilmiştir. Her iki kaynakta da kaynak akım değeri 250 A, kaynak ark gerilimi 30 V, kaynak ilerleme hızı 1 m/dk ve gaz üfleme debisi 20 L/dk şeklinde sabitlenmiştir. Şekil 2a’daki kaynak uygulamasında argon koruyucu gazı içerisine hacimce % 30 oranında CO₂ gazı eklenmiş ve böylece karışım gaz kullanılmıştır. Şekil 2b’deki kaynak uygulamasında ise saf argon koruma gazı ile kaynak uygulaması yapılmıştır.



Şekil 2. Gazaltı Kaynakları ile Oluşturulan Alın Kaynak Birleştirmelerinde Oluşan Farklı Profildeki İki Adet Yanma Oluk Süreksizliği [Zong vd., 2016]

Karışım koruyucu gaz ile gazaltı kaynağı uygulamasında, yanma oluğunun profilinin kararlı olmadığı görülmüştür. Bu kaynakta yanma oluğunun profili süreksiz olarak dağılım göstermiştir. Bu tipteki yanma oluğu profiline, oksitleyici koruyucu gaz kullanılması veya 240 Amper-

den daha düşük akım şiddeti ile yapılan kısa devre metal transfer karakteristikli gazaltı kaynaklarında ayrıca rastlanılmaktadır. Saf argondan oluşan koruyucu gazda ise yanma oluğu profilinin kararlı bir profil halinde oluştuğu ve kaynak dikişi boyunca yanma oluğu profili sürekli olarak sabit kalmaktadır.

Kaynaklı ve kaynaksız metal parçaların kesit değişimlerinde ve kesitteki her türlü süreksizliklerin çevresinde lokal gerilme yığılması meydana gelir [Juvinall vd., 1991]. Yanma olukları da bir nevi çentik etkisi yaptığından, yanma oluğunun dip tarafında gerilme yığılması meydana gelmektedir [Shigley, 1986]. Lokal gerilme yığılmaları iş parçasının veya kaynaklı parçanın statik ve dinamik mukavemetini azaltır. Yanma olukları bilhassa kaynaklı parçanın yorulma dayanımını önemli oranda azaltır [Yükler, 2007]. Statik yük ile çalışan makine ve ekipmanların çentik oluşumlarında ve mevcut olan süreksizliklerinde, hesaplamalar elastisite teorisine dayandırılarak yapılır. Foto-elastisite tekniğine dayandırılan ve bu yöntemin kullanılması ile elde edilen ölçümlerle oluşan mühendislik mazlemeleri için maksimum gerilmelerin tespiti yapılmaktadır [Juvinall vd., 1991]. Ayrıca çentik veya süreksizliğin yapıda bulunmadığı durum için de mevcut kesitte oluşacak muhtemel gerilme durumu hesaplanmaktadır. Bu gerilme iş parçasının nominal gerilmesi olarak adlandırılmaktadır. Maksimum gerilmenin nominal gerilmeye bölünmesi ile o cisimde statik kuvvet için gerilme yığılma katsayısı K , bulunur [Shigley, 1986].

Bu çalışmada yanma oluk hatası içeren numunenin çekme mukavemetini hatasız numune çekme mukavemetine bölerek yanma oluğun etrafındaki gerilme yığılma katsayısını (K) bulunmuştur. Ayrıca çentik geometrisinin süneklik üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kaynaklı parçalarda yanma oluk çevresinde gerilme yığılma katsayısını hesaplamak için çok az sayıda çalışma yapılmıştır: Cerit ve arkadaşları alın kaynaklarında K katsayısının yanma oluğunun genişliği, dip çapı ile derinliği ve kaynak temas açısı ile değiştiğini bulmuşlardır [Cerit vd., 2010]. Diğer bir çalışmada K katsayısının levha kalınlığı, taşan metal yüksekliği, dikiş genişliği ve dikiş temas açısına bağlı olduğu bulunmuştur [19]. Yapılan bir çalışmada yanma oluğu uzunluğunun statik gerilme yığılma üzerindeki etkileri incelemişlerdir [Gill vd., 2012].

Bu çalışmada yanma oluğu uzunluğu ve derinliğinin gerilme yığılma katsayısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mühendislik ve endüstride kullanılan pek çok farklı malzemeden pek çok farklı ekipmanda, süreksizlikler (delik, çentik, çatlak, boşluk v.b. hatalar) sebebi ile kesit değişimi görülen bölgelerde gerilme yığılması meydana gelir. Gerilme yığılmalarının yoğunlaştığı bu bölgelerde, dış kuvvetlerin parça içerisinde meydana getirdiği iç kuvvetlere bağlı olarak parça içerisindeki gerilmelerin şiddeti daha fazla miktarda olur. Bu olay iş parçasına etki eden statik, dinamik ve darbe şeklindeki dış kuvvetlerin tümünde meydana gelir. Gerilme yığılması olarak tabir edilen bu olay, normal gerilme ve kayma gerilmesi durumlarında meydana gelir. Kritik olan bölgelerde gerilme dağılımı heterojen meydana gelir. Maksimum gerilmenin nominal gerilmeye bölünmesi ile o cisimde statik kuvvet için gerilme yığılma katsayısı (gerilme konsantrasyon faktörü), K bulunur.

Çelik konstrüksiyonların üretimi için kaynak yöntemlerinin kullanımı çok yaygındır. Kaynaklı konstrüksiyonlar çalışma ömürleri boyunca dinamik yükler altında çalışmaktadırlar. Kaynaklı birleştirmelerde inklüzyon, çatlaklar, gaz boşluğu ve yanma olukları mevcut bulunabilir. Tüm bu hatalar çentik etkisine sebep olarak hataların bulunduğu bölgelerin çevresinde gerilme yığılmalarına sebep olurlar. Kaynaklı birleştirmelerde ayrıca kalıntı gerilmeleri de oluşur. Kalıntı gerilmelerden, çekme kalıntı gerilmeleri kaynağın yük taşıma kapasitesini düşürür. Böylelikle kaynaklı birleştirmelerin sadece yorulma dayanımları kötüleşmez aynı zamanda statik yük taşıma kapasiteleri de azalmaktadır.

Bütün deneylerde diğer bütün parametreler sabit tutulmuştur. Bu çalışma yanma oluklarının gerilme yığılma katsayısını etkilemesinin optimizasyonu için tasarlanan çalışma için bir ön çalışma amacı olarak yapılmıştır.

DeneySEL Sonuçlar

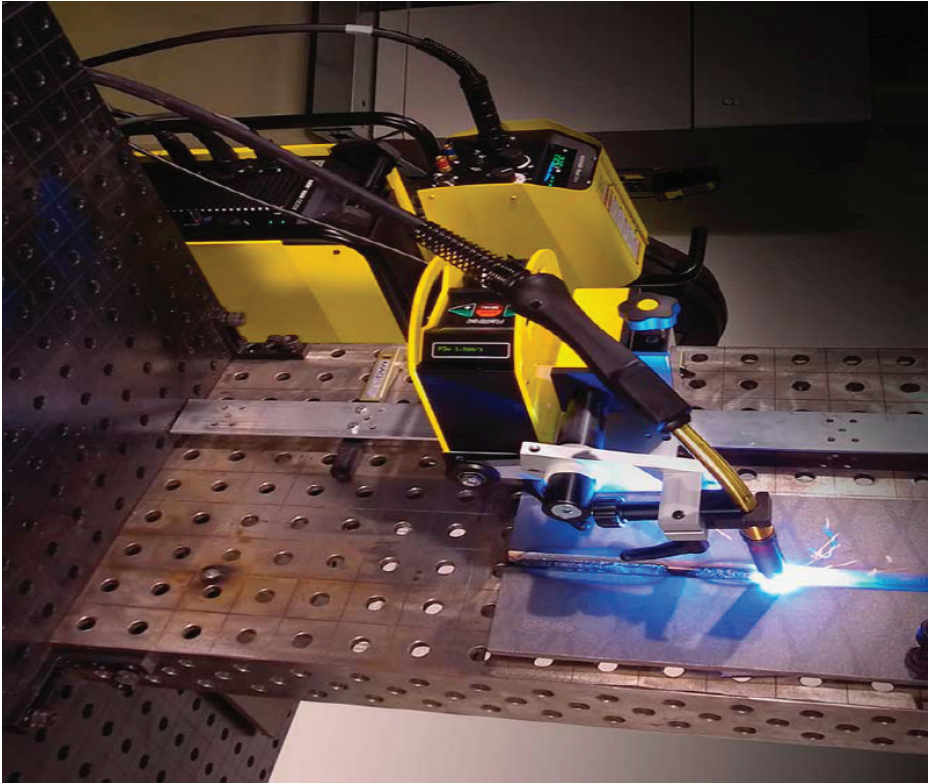
DeneySEL çalışmalarda iki adet 1000x300x20 mm St 37 alaşımsız çelik levha kullanılmıştır. Tablo 1.'de ana malzemenin kimyasal kompozisyonu ve Tablo 2.'de ana malzemenin mekanik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 1. Ana Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu

Çelik sınıfı	% C	%Mn	% P	% S
EN 10025: S235JR (1.0037) / St37-2	0,2	1,40	0,045	0,045

Tablo 2. Ana Malzemenin Mekanik Özellikleri

Çelik sınıfı	% Uzama	Çekme dayanımı, MPa	Akma dayanımı, MPa	Sertlik, HB
EN 10025: S235JR (1.0037) / St37-2	22	370	300	100

**Şekil 3. Otomasyon ile Alın Kaynağı Yapılması**

Levhaların uzun kenarına 30° açılı yarım V kaynak ağzı açılmıştır. Levhalara yatay pozisyonda 60° alın kaynak birleştirmesi yapılmıştır. Kaynaklar otomatik CO₂ korumalı gazaltı (MAG) yöntemi ile yapılmıştır. Şekil 3.'te otomasyon ile kaynak prosesinin yapılmasına ait görsel yer almaktadır. Kaynak işlemlerinde ER 70S-6 kaynak teller kullanılmıştır. Kök pasosu yapılmadan önce iş parçalarına ters eğim verilerek kaynak sonrası parçalarının 180° içerisinde kalması sağlanmıştır. Her kaynak işleminden sonra penetrant sıvı testi uygulanarak çatlak kontrolü yapılmıştır. Kapak pasosundan sonra iş parçasında radyografik inceleme yapılmıştır. Hata içermeyen bir kaynak elde edilmiştir. Alın tipi kaynak imalatlarında gelişen yaygın bir yanma oluşunun kesiti Şekil 4'te görülmektedir. Bu süreksizliğin, kaynaklı birleşimin mekanik özellikleri üzerinde etkin parametreleri aynı şekil üzerinde tanımlanmıştır. Bu parametreler yanma oluşunun genişliği, yanma oluşunun derinliği, yanma oluşunun dipteki yarıçapı ile yanma oluşunun uzunluğudur. Dikişin üzerinden taşan metal ile dikişin kendisinin meydana getirdiği temas açısı da kaynaklı birleştirmelerde oluşan yanma oluklarının malzeme özelliklerine üzerine tesiri noktasında diğer bir önemli değişkendir.

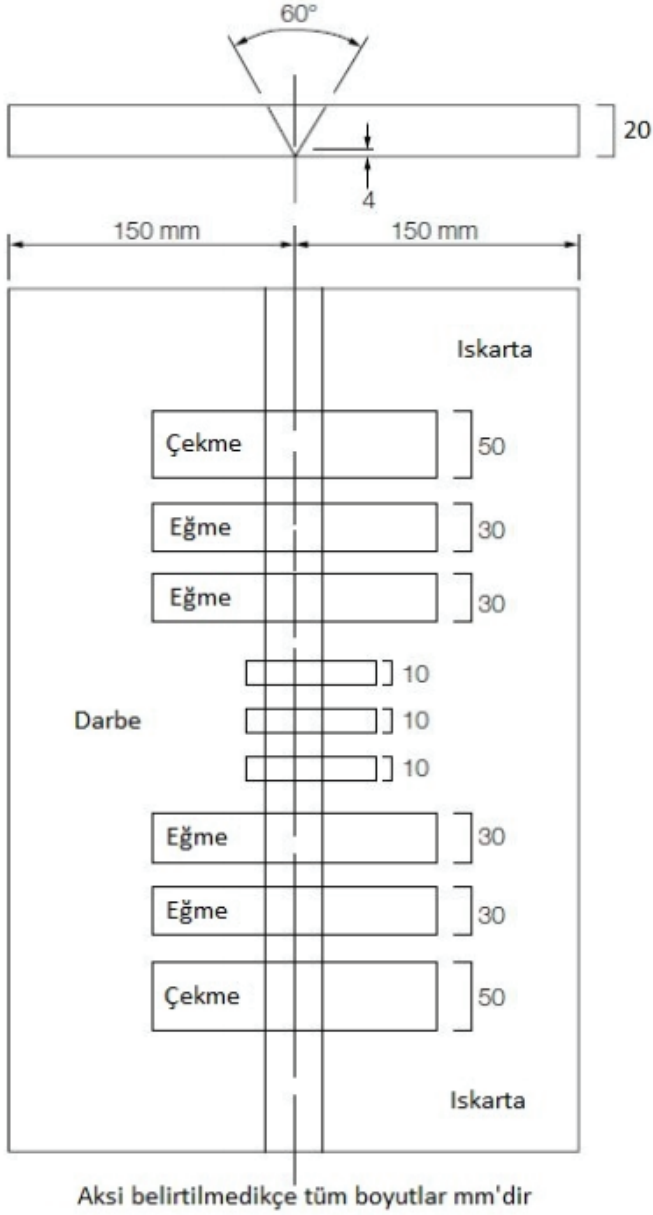


Şekil 4. Kaynak Birleştirmesinde (alın) Meydana Gelen Yanma Oluğunun Önemli Kesit Değişkenlerinin Tanımı [Cerit vd., 2010]

Kaynaklı parçanın her iki tarafından 75 mm genişlikte kısımlar laser kesme ile çıkartıldıktan sonra kaynak ilerleme doğrultusuna dik yönde çekme deney numuneleri kesilmiştir. Çekme deneyleri ASTM standardına uygun boyutlarda hazırlanmıştır. Şekil 5.'te standart görseli yer almaktadır.

Yanma oluşu çentiği açılacak çekme numunelerinin kaynak kesitlerini içeren kısımları zımpara kağıtları ile parlatılmıştır. Daha sonra nital ile makro dağlama yapılarak kaynak metali sınırları açıkça ortaya çıkarılmıştır. Dalma erozyon tezgahında kaynak dikişinin ayak ucuna Şekil 3'de gösterilen yanma oluşu çentiği açılmıştır. Her çentiğin genişliği (W) 1 mm ve kök radyusu (r) 0,5 mm olarak sabit tutulmuştur. Çentiklerin h derinlikleri ve L uzunlukları Tablo 3'te özetlenmiştir. Bir çentiksiz (1 Nolu numune) ve 9 farklı çentikli (2-10 Nolu numuneler) numuneler elde edilmiştir. Çentik açılmış numuneler Tablo 1'de görüldüğü gibi 3 ana grup halindedir. Bu numunelerde çentik derinliği (h) 1, 2 veya 3 mm olurken, çentik uzunluğu (L) 5, 10 veya 20 mm olarak değişmiştir. Her çentik şartında ve çentiksiz kaynaklı hal için 3 adet çekme numunesi vardır. Çekme deneyleri 50 tonluk elektronik kumandalı hidrolik çekme makinesinde gerçekleştirilmiştir.

YANMA OLUĞU DERİNLİĞİ VE UZUNLUĞUNUN KAYNAK STATİK GERİLME YIĞILMASINA VE SÜNEKLİĞİNE ETKİLERİ



Şekil 5. ASTM Kaynak Ağzı Açma Standardı

Her deney gurubuna ait 3 numunenin deney sonuçlarının ortalaması alınarak o gurubun mekanik özelliği tesbit edilmiştir. Daha sonra her çentiksiz 1 nolu deney numunesinin çekme mukavemeti her deney gurubunun çekme mukavemetine bölünerek her deney gurubunun gerilme yığılma katsayısı (K) hesaplanmıştır.

Tablo 3. Çekme Numunelerine Açılan Yanma Oluğunun Detayları

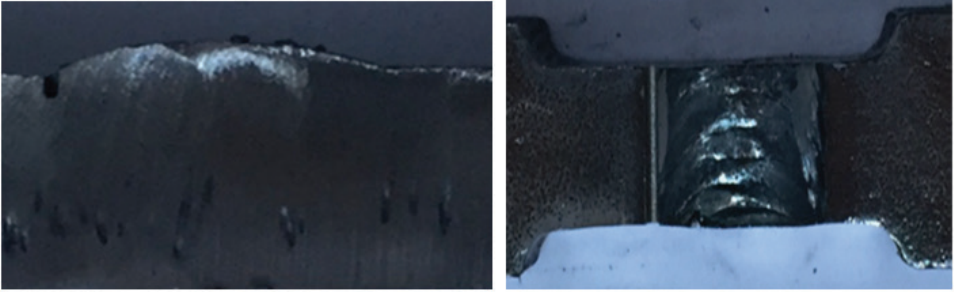
Deney No.	Yanma oluğu genişliği, mm	Yanma oluğu kök radyüsü, mm	Yanma oluğu derinliği, mm	Yanma oluğu uzunluğu, mm
1	1	0,0	0	0
2	1	0,5	1	5
3	1	0,5	1	10
4	1	0,5	1	20
5	1	0,5	2	5
6	1	0,5	2	10
7	1	0,5	2	20
8	1	0,5	3	5
9	1	0,5	3	10
10	1	0,5	3	20

Şekil 6'da kaynaklı parçadan kesilen çekme deney numuneleri görülmektedir. Şekil 7a'da ise 20 mm uzunlukta çentik açılan 7 numaralı deney numunesinin üstten görüntüsü görülmektedir. Yanma oluğunun parka kalınlığı boyunca devam ettiği fotoğrafta açıkça görülmektedir. Bu parçanın yandan görüntüsü ise Şekil 7b'de görülmektedir. Şekil 7b'deki fotoğrafın yanma oluğu olmayan kısmında yapılan açısız ölçümde kaynak temas açısı 164° olarak tespit edilmiştir.

YANMA OLUĞU DERİNLİĞİ VE UZUNLUĞUNUN KAYNAK STATİK GERİLME YIĞILMASINA VE SÜNEKLİĞİNE ETKİLERİ



Şekil 6. Kaynaklı Parçadan Kesilen Çekme Deney Numuneleri



Şekil 7. 7 Nolu Deney Numunesinin (a) Üstten ve (b) Yandan Görüntüsü

Çekme deney sonuçları ve bu sonuçlardan faydalanılarak hesaplanan statik gerilme katsayısı (K) değerleri Tablo 4'te görülmektedir. Bu sonuçlardan faydalanılarak 6, 7, 8, 9 ve 10'daki grafikler çizilmiştir.

Tablo 4. Çekme Deneyi Sonuçları ve Hesaplanan K Katsayıları

Deney No.	Çekme mukavemeti, MPa	Uzama, %	Hesaplanan "K" katsayısı
1	551	30,1	1,00
2	507	28,4	1,08
3	501	24,3	1,10
4	492	17,9	1,12
5	498	19,2	1,11
6	487	16,5	1,13
7	466	9,8	1,18
8	497	18,2	1,11
9	464	14,3	1,19
10	422	8,0	1,31

SONUÇ

Çentik uzunluğu arttıkça çekme dayanımı ve % uzama hızla azalmakta olduğundan gerilme yığılma katsayısı hızla artmaktadır.

Çentik yarıçapının büyümesi mekanik özelliklerde iyileşme sağlamaktadır. Çentik yarıçapı çok incelendiği vakit çok düşük mekanik özellikler elde edileceği açıktır. Yapılan deneylere göre mekanik özellikler üzerinde en az menfii etki çentik yarıçapı değişiminden bulunmuştur.

Çentik derinliğinin etkisi ise çentik yarıçapı ve çentik uzunluğu arasında etki etmektedir.

Yapılan deneylerde gerilme yığılma katsayısı ile % uzama arasında ters orantı olduğu tespit edilmiştir. İş parçasının % Uzama oranı 1-2 mm çentik derinliği arasında önemli miktarda azalırken, 2-3 mm dikiş derinliği arasında süneklik kaybı çok daha küçük oranda gerçekleşmektedir.

Çentiklerin iş parçasında sebep oldukları mukavemet ve süneklik kayıplarını karşılaştırırsak süneklik kayıp oranının daha büyük olduğunu görürüz. Örneğin hatasın çekme numunesinde (1 Nolu numune) çekme mukavemeti 551 MPa ve toplam uzama %31 değerindedir. 3 mm

derinlikte ve 20 mm uzunlukta yanma oluğu içeren numunede (10 Nolu numune) ekme mukavemeti 422 MPa ve suneklik %8 olmaktadır. Mukavemette %23 kayıp meydana gelirken suneklik kayıp oranı ise %74 olmaktadır. Bu sonuç yanma oluğunun iş parçasında gevrekleşmeye sebep olduğunu göstermektedir. Yanma oluğunun dip yarıçapı azaldıkça gevrekleşme daha da artmaktadır [Juvinall vd., 1991]. Bu gevrekleşmeden dolayı iş parçasının yorulma direnci önemli oranda zayıflamaktadır [Mashiri vd., 2011].

KAYNAKÇA

Nguyen, N.T., Weckman D., Johnson D., Kerr H. (2006) High Speed Fusion Weld Bead Defects, *Science and Technology of Welding and Joining*, 11, 618-633.

Armstrong, N. (2007). *Paediatric Exercise Physiology*. Philadelphia: Churchill Livingstone Elseiver.

Yang, Y. (2008). The Effect of Submerged Arc Welding Parameters on the Properties of Pressure Vessel and Wind Turbine Tower Steels, *MSc. Thesis, Saskatchewan University, Canada*.

Zong, R., Chen, J., Wu, G., Padhy, G. (2016). Influence of Shielding Gas on Undercutting Formation in Gas Metal Arc Welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 234, 169-176.

Ozhan Dogan, S., Ozden, T. (2021). Johnson D., Kerr H. (2006) Optimization of Welding Application Parameters of Thin Sheet Blocks Used in The Ship Hull, *Emerging Materials Research*, 11, 1-9.

Meng, X., Qin, G., Bai, X., Zou, Z. (2016). Numerical analysis of undercut defect mechanism in high speed gas tungsten arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 236, 225-234.

Frostevarg, J., Kaplan, A. (1994). Undercuts in laser arc hybrid welding, *Physics Procedia*, 56, 663-672.

Nowacki, J., Rybicki P. (2005) The influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections, *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 1082-1088.

Garg, S., Kakkar, I., Pandey, A., Gupta, M., Kishors, N. (2013) Effect of Different Coating Composition's Rutile-type Welding Electrodes on Undercut Defect in Manual Electric Arc Welding, *International Journal of Mechanical Engineering and Research*, 3, 381-388.

Kaur, A. (2016) Electron Beam Diagnosis for Weld Quality Assurance, *PhD. Thesis, Brunel University, London.*

Zong, R., Chen, J., Wu, C., Chen, M. (2016) Undercutting Formation Mechanism in gas Metal Arc Welding, *Welding Journal*, 95, 174-184.

Juvinall, R., Marshek, K. (1991) Fundamentals of Machine Component Design, *John Wiley and Sons, New York.*

Shigley, J. (1986) Mechanical Engineering Design, *McGraw-Hill Book Company, New York.*

Yükler, İ. (2007) Yorulma, *MUTEF Ders Notu, İstanbul.*

Cerit, M., Kokumer, O., Genel, K. (2010) Stress Concentration Effects of Undercut Defect and Reinforcement Metal in Butt Welded Joint, *Engineering Failure Analysis*, 17, 571-578.

Gil, J., Singh, J. (2012) Effect of welding speed and and heat input rate on stress concentration factor of butt welded joint of IS 2062 E 250 A steel, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1, 98-100.

Mashiri, F., Zhao, X., Grundy, P. (2001) Effects of Weld Profile and Undercut on Fatigue Crack Propagation of Thin Walled Cruciform Joint, *Thin Walled Structures*, 39, 261-285.

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER - PATENT DERLEME

Yalçın BOZTOPRAK¹, Ebru KAYMAZ²

Öz: Kenevir, yenilenebilir ve sürdürülebilir olması ve çok amaçlı kullanım imkanı sağlaması sebebiyle bilimsel, ekonomik ve farklı ürünleri üretme imkanı sağlama gibi yönlerden dolayı gün geçtikçe önem kazanan bir malzemedir. Tekstil, ilaç, kâğıt, biyoyakıt, inşaat, ısı ve ses yalıtımı, kozmetik ve otomotiv gibi çok farklı sektörlerde oldukça geniş bir kullanım alanı olan kenevir, üstün özelliklere sahip bir bitkidir. Ayrıca çevre dostu özelliği sebebiyle de sürdürülebilirliğe fayda sağlama özelliğine sahiptir. Günümüzde araştırmacılar kenevir üzerine yaptıkları çalışmalarda hem kenevir bitkisinin özelliklerine göre değerlendirilmesini hem de yeni üretim metotları geliştirmeyi amaç haline getirmişlerdir. Çünkü kenevir liflerinin pamuk ve benzeri hammaddelerle karıştırıldığında daha dayanıklı iplikler üretilmesine imkân sağladığı ve birim alandaki verim eldesinin yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu sebeple kenevir lifi; sentetik lifler, cam lifleri ve birçok life karşı rakip konumdadır. Hatta kenevir lifinin cam lifinden daha hafif olması, özellikle ısı ve ses izolasyonunda kenevire öncelik kazandırmaktadır. Sentetik liflerle benzer yapı ve kesite sahip olan kenevirin, dayanıklılık ve stabilite açısından sentetiklerle kıyaslanabilirliği bulunmaktadır. Kenevir lifinin sahip olduğu üstün ekolojik özellikleri sebebiyle organik tekstil üretim potansiyelinin olması ve tekstil performans özelliklerinin iyi olmasından dolayı kenevir ürünlerinin üretim-tüketim bandında önümüzdeki yıllarda ciddi artış göstermesi beklenmektedir. Bu sebeple kenevir lif ve iplik üretiminde, sentetikler

1 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul / Türkiye, e-mail: yboztoprak@marmara.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-1714-7394

2 Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul / Türkiye, e-mail: ebrukaymaz@marun.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9571-5337

gibi daha basit ve seri üretim metotları geliştirilerek kenevirin daha yaygın ve kullanılabilir hale getirilmesi sağlanmalıdır. Bu sayede yeni pazarlar oluşmasına olanak sağlanacaktır. Ülkemizde de iklim ve toprak şartlarının uygunluğu sebebiyle yetiştirilebilen kenevir bitkisinin uygulama alanlarının geliştirilmesinin de ülke ekonomisine ve istihdama büyük katkı sağlayacağı ön görülmektedir. Bu çalışmada kenevir elyaf ve kenevir kompozitlerle ilgili patent araştırması yapılmış ve bu araştırma ile kenevirle ilgili hangi alanlarda neler yapıldığı veya yapılmak istendiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kenevir Elyaf, Kenevir, Biyokompozit, Kenevir Takviyeli Kompozitler

GİRİŞ

İyi bilinen doğal lifler arasında kenevir lifi, çok eski tarihlerde tekstil, kâğıt imalatı (İncil'in ilk kopyalarında kenevir kağıdı kullanılmıştır) ve hatta ilaç endüstrisi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Arkeolojik olarak kenevir, keşfedilen en eski doğal elyaftır. "Columbia History of the World", doğal elyaftan yapılmış ürünlere ait en eski kalıntıların, MÖ 8000'e kadar uzanan mezarlarda keşfedilen kenevir kumaş parçaları olduğunu belirtmiştir. Kenevir bir yıllık bir bitki olup Orta Asya'ya özgü bir bitkidir ve 12.000 yıldan fazladır yetiştirilmektedir. İngiltere'de Anglosaksonlar'a ait kullanıldığına yönelik bazı kanıtlar görülmüştür. Yakın zamandan örnek verecek olursak Henry Ford, 1941'de otomotiv endüstrisinde kenevir elyaf takviyeli polimer kompozitleri uygulamıştır. Diğer bir örnek, 2008 Pekin Olimpiyatları sırasında tesislerin pencere çerçeveleri ve yer döşemeleri gibi konstrüktif detaylarında kenevir elyaf takviyeli polimer kompozitlerin kullanılmış olmasıdır.

Günümüzde kenevir en çok Avrupa, Orta Asya, Filipinler ve Çin'de üretilmektedir. Gıda ve Tarım Örgütü'ne göre neredeyse dünyanın endüstriyel kenevir tedarikinin yarısı Çin tarafından karşılanmaktadır. Geri kalan kısmı ise Şili, Fransa, Kore Demokratik Halk Cumhuriyeti ve İspanya tarafından karşılanmaktadır (Shahzad, 2012).

Kenevir, yenilenebilir kaynaklar trendine güçlü bir şekilde uyduğu için dünyanın doğal yapısında devrim yapma şansına sahip bir malzemedir. Negatif bir karbon ayak izine sahiptir, çünkü büyümesi sırasında yüksek oranda karbondioksit emer. Yüksek ısı yalıtımına, ısı depolama

özelliğine, buhar geçirgenliğine sahiptir, sökülme sonrası gübre olarak kullanılabilir ve % 100 bozunabilir (Pochwała ve ark., 2020). Şekil 1’de kenevir lifinin dönüşüm aşamaları görülmektedir.



Şekil 1. Kenevir Lifinin Dönüşüm Aşamaları (Patnaik ve Pradhan, 2020)

Kenevir; yüksek mukavemet, dayanıklılık ve emicilik sağlayan doğal bir lifdir. Yıllık lif verimi oldukça yüksektir ve bu liflerden üretilen kumaşlarda tüylenme (pilling) problemi yaşanmaz. Kenevir 20 °C’de ve % 65 bağıl nemde % 12, % 95 bağıl nemde ise % 30 nem alır ve bu değerler pamuk ve ketenden çok daha yüksektir (Özdemir ve Tekoğlu, 2013).

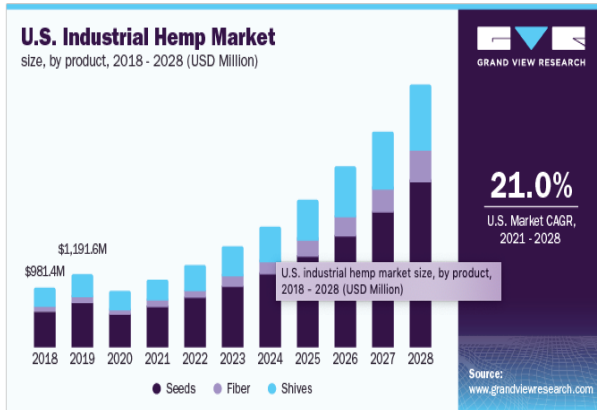
Avrupa Birliği’nin resmi sitesinde yer alan veriler incelendiğinde Avrupa genelinde kenevir üretimi gerçekleştirildiği görülmektedir. Son yıllarda kenevir üretimi önemli ölçüde artmıştır, 2015 yılında 19.970 hektar, 2019 yılında ise %75 artış ile 34.960 hektar kenevir üretimi yapılmıştır. Aynı dönemde kenevir üretimi 94.120 tondan 152.820 tona yükselmiştir. Avrupa’da Fransa en büyük üretici olup, Hollanda ve Avusturya onu takip etmektedir.³¹

Kenevirin birçok farklı avantajı bulunmaktadır. Bir hektarlık kenevir 9-15 ton arasında CO₂ tutmaktadır. Kenevirin hasat döngüsünde kullanımının da bitki hastalıklarını engellediği belirtilmektedir. Ayrıca kenevirin hızlı büyümesinden dolayı yabancı otlar büyüyememektedir. Bir diğer önemli katkısı da toprak erozyonunu önlemesidir. Kenevirin yoğun yaprakları doğal bir toprak örtüsü gibi davranır, su kaybını azal-

3 Avrupa Birliğinde Kenevir Üretimi”, Online Referans, https://ec.europa.eu/info/index_en, (E.T. 29.12.2021)

tır ve toprak kaymasını engeller. Kenevir çimlenme sonrasında sadece 3 hafta içinde toprağı kaplar. Kenevir oldukça fazla polen içerir. Kuşlara barınak sağlar ve kenevir yağı, hayvanlar için besin kaynağıdır. Bunlara ek olarak kenevir; böcek ve mantarlara karşı dayanıklıdır, ilaç kullanımına gerek kalmaz.

Grand View istatistiklerine göre global endüstriyel kenevir pazar büyüklüğünün 2020 yılında değerinin 3,61 milyar dolar olduğu, 2021-2028 yılları arasında ise yıllık %16,2 büyüme ile genişlemesi beklenmektedir (Şekil 2). Isı yalıtımı amaçlı olarak inşaat sektörünün, takviye elemanı olarak cam elyaf alternatifi kullanımında kompozit sektörünün ve otomotiv sektörlerinin önümüzdeki dönemlerde kenevir pazarına yön vereceğı düşünülmektedir. Bahsedilen faydalarına ek olarak üretim yöntemlerinin çevreye görece daha az zararlı olması, yenilenebilir kaynaklar olması ve doğal kaynak olması sıralanabilir. Kağıt üretiminde kenevir kullanımı, odun hamurundan kağıt elde etme süreçlerine kıyasla daha az kimyasal kullanımı gerektirmektedir. Günümüzde pazarın büyümesine katkı sağlayacağı düşünülen bir diğer ürün grubu ise sabun, şampuan, banyo jeli, el ve vücut losyonları, UV cilt koruyucular gibi kişisel kullanım ürünleri ve kozmetik ürünlerinde kullanımına yöneliktir. Çünkü kenevir yüksek oranda dengeli yağ asidi içermektedir.



Şekil 2. Endüstriyel Kenevirin Kısımlarının Kullanımı ve Yıllara Göre Dağılım Öngörüsü ⁴²

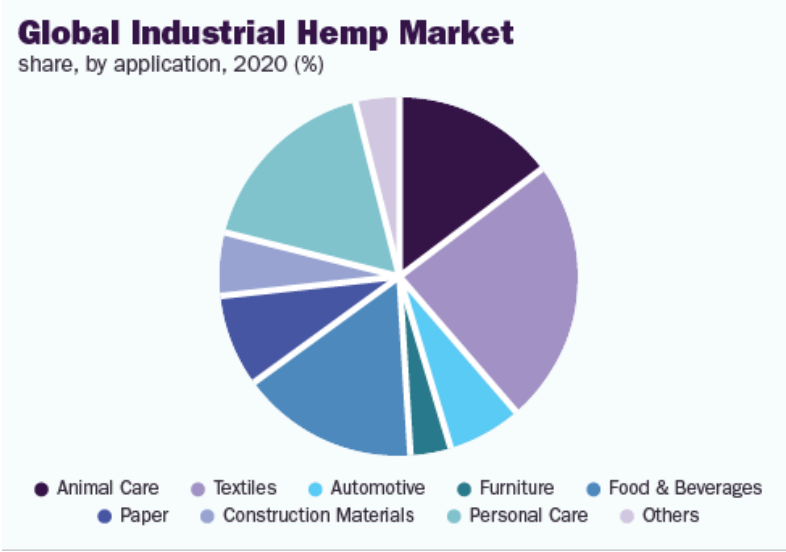
4 "Industrial Hemp Market Size & Share Report 2021-2028", Online Referans, <https://www.grandviewresearch.com> (E.T. 29.12.2021)

Kenevirin en fazla kullanıldığı kısmı tohum olarak karşımıza çıkmaktadır. 2020 yılında % 40 oranında en büyük hacme sahiptir. Gıda ve nutrasötik pazarlarında kendine yer bulmaktadır. Diğer bir kısmı olan kenevir sap dış kısmı ise büyük ölçüde tekstil endüstrisinde iplik, eğrilmiş elyaf ve bir dizi tüketici ve endüstriyel tekstil imalatında kullanılan sak liflerini içerir. Lifler ayrıca kağıt, halı, ev mobilyası, inşaat malzemeleri, yalıtım malzemeleri, otomobil parçaları ve kompozitlerde de kullanılmaktadır. Kenevir biyokompozitleri büyük ölçüde otomotiv parçaları ve bileşenlerinde kalıplama için kullanılır. Araçlarda artan ağırlık azaltma eğiliminin, bileşenlere yüksek mukavemet sunabilen kenevir lifleri için büyüme beklentisi sunması beklenmektedir. Shives veya Hurd, kenevir saplarının iç çekirdek kısmı ve endüstriyel kenevir mahsullerinden hasat edilen kısa odunsu bir elyaftır (Şekil 3). Kenevirin bu çekirdek kısmı, liflerin değerinin yarısına mal olur ve pazar büyümesini hızlandırması beklenen farklı endüstrilerde çeşitli uygulamalara sahiptir. Kendi kuru ağırlığının yaklaşık dört katı olan yüksek absorban yetenekleri nedeniyle büyük ölçüde hayvan yatak malzemelerinde kullanılırlar. Tekstil uygulama segmenti pazara öncülük etmektedir ve 2020’de % 20’den fazla bir gelir payı oluşturmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. Kenevir Saplarının İç Çekirdek Kısmının Kırılmış Hali (Hurd veya Shives) ^(5, 4)

5 <https://eli.inc/product/hurd/>
<https://www.hemptraders.com/Hemp-Hurd-s/1950.htm>



Şekil 4. Endüstriyel Kenevirin Uygulama Alanlarına Göre Dağılımı



Şekil 5. Kenevir Elyafın Kullanım Alanlarına Örnekler (Boztoprak, 2021)

Kenevir ürünlerinin yeni uygulamalarının ortaya çıktığı ve araştırmaların devam ettiği günümüzde, patent başvurularının da söz konusu alandaki uygulama alanlarını gözlemlemek oldukça fayda sağlayacaktır. Bu sebeple kenevir lifinin kompozit olarak kullanımına yönelik patent başvuruları incelenmiş, ilgili alandaki teknoloji trendleri patent açısından yorumlanmıştır.

Patent Araştırma Metodolojisi

Patent dokümanları, teknik ve ticari bilgi sağlayan oldukça kapsamlı kaynaklardır. Patent dokümanlarını incelemek, firmaların çalışma alanları ve Ar-Ge yatırımları hakkında öngörü sağlar ve araştırma ve yatırım yapılacak alanlarda yönlendirme sağlayacak veriler oluşturur. Bunlara ek olarak patent araştırması, pazarın doğru belirlenmesini ve başkalarının patentlerinin ihlal edilmesini engeller.

Araştırma, Patsnap™ adlı patent araştırma ve analiz aracı ile gerçekleştirildi. 126 farklı patent veri tabanında araştırma sağlandı. Araştırmada patent başlık ve özet bölümlerinde tarama yapıldı. Taramada (“hemp fiber” OR “cannabis sativa”) AND (composite) kelimelerinden yararlanıldı. Yapılan araştırma 2016-2021 yılları arasındaki patent başvuruları ile kısıtlandı. Toplamda 162 adet patent tespit edildi.

162 patent incelenmiş ve kompozit malzeme olarak belirtilen fakat gıda, medikal ve kozmetik ürün olarak belirtilen patentler elimine edilmiştir. Bunun yanı sıra araştırma esnasında “sisal hemp fiber” şeklinde bahsedilen ve aslında sisal bitkisinin fiber olarak kullanıldığı patentler de ayrıştırılmıştır. Söz konusu ayrıştırma yapıldıktan sonra 134 patent, başvuru tarihine göre sıralanmış ve teknik alanları belirtilerek tablo haline getirilmiştir [Tablo 1].

*Patent Analizi***Tablo 1. Analiz Edilen Patentlerin Listesi**

Yayın Numarası	Patent Başvuru Tarihi	Başlık	Teknik Alan
CN105500809B	22.01.2016	Kenevir elyaf bazlı mikro yapıli biyotik kompozit levha	Kompozit ürün
CN105670250B	28.01.2016	Modifiye edilmiş kenevir lifi polilaktik asit kompozit malzeme hazırlama yöntemi	Kompozit ürün
CN105780505A	29.03.2016	Nem geçirgen, anti-septik ve antibakteriyel özelliklere sahip kompozit kumaş ve kompozit kumaşın hazırlanma yöntemi ve uygulaması	Tekstil için kompozit ürün
CN107268157B	07.04.2016	Tekstil havlu kumaşı	Tekstil için kompozit ürün
CN107303745B	19.04.2016	Kenevir lifi/polipropilen kompozit levha	Kompozit ürün
CN105885396B	11.05.2016	Doğal kenevir elyaf takviyeli döküm naylon kompozit malzeme ve hazırlanma yöntemi	Kompozit ürün
CN105924761B	27.06.2016	Bitkisel lif tozu ile modifiye edilmiş EVA kompozit köpük malzemesi ve bunun hazırlanma yöntemi	Kompozit ürün

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN107538806A	27.06.2016	Hassas, yumuşak ve döküme dayanıklı kırışmaya dayanıklı kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN105924748B	27.06.2016	Blok yapılı beyaz karbon siyahı/kenevir elyafı/polimer kompozit malzeme	Kompozit ürün
CN107538748A	29.06.2016	Araba bagajı koruma ürünü ve üretim süreci	Ses yalıtımı için otomobile yönelik kompozit ürün
CN107553988A	30.06.2016	Drapeli, aşınmaya dayanıklı, renk haslığı yüksek, alev geciktirici ev tekstili kumaşı ile	Tekstil için kompozit ürün
CN107586498A	06.07.2016	Kompozit diatom çamur boyası	İnşaat sektörü için kompozit ürün
CN105996257A	13.07.2016	İnce, yumuşak ve dökümlü kaba ekose kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN106049070A	15.07.2016	Anyonlu ve uzak kızılötesi işlevli elyaf ile kenevir- pamuk elyafının karıştırılmasıyla elde edilen iplik	Tekstil için kompozit ürün
CN106351346A	15.08.2016	Anti-statik modifikasyon köpük çimento ve poliüretan köpük kompozit yalıtım levhası	Isı yalıtımı için kompozit ürün

CN106258412A	16.08.2016	Biyoaktif kentsel kanalizasyon arıtma tesisi için kompozit ve uygulaması	Su arıtma için kompozit ürün
TW201807028A	19.08.2016	Alev geciktirici, yüksek sertlik, uzak kızılötesi ışınlarla dayanıklı ve ultraviyole ışınlarla dayanıklı özelliklere sahip fonksiyonel doğal elyaf takviyeli polipropilen kompozit malzeme	Kompozit ürün
CN106676752A	25.08.2016	Düşük dirençli kompozit hava filtresi malzemesi hazırlama yöntemi	Hava filtresi için kompozit
CN106087182B	26.08.2016	Bir tür keneyir lifi kompozit üçüncü dereceden işlemi	Tekstil için kompozit ürün
CN106280356A	27.08.2016	Ankraj malzemesi için ısı stabiliteye sahip doymamış polyes-ter reçine kompozit malzeme	İnşaat sektörü için kompozit ürün
KR101867327B1	29.08.2016	Keten özelliği olan ıty ipliği üretim süreci	Tekstil için kompozit ürün
CN106467618A	29.09.2016	Otomobil iç parçası üretimi için keneyir elyaf kompozit kalıp üretim yöntemi ve ürünü	Otomobil için kompozit ürün
CH713005B1	04.10.2016	Kavisli, lifli kompozit malzemeden yapılmış kayma veya yuvarlanma için spor aleti	Kayak aparatı için kompozit ürün

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN106521769B	22.12.2016	Ksilitol içeren soğutmalı kumaş dokuma işlemi	Tekstil için kompozit ürün
CN106750952A	26.12.2016	Kablo kaplama yöntemi için kenevir lifi takviyeli termoplastik kompozit malzeme ve hazırlama yöntemi	Kablo kaplama için kompozit ürün
CN106750950A	26.12.2016	Az kokulu uzun cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit malzeme ve hazırlanma yöntemi	Kompozit ürün
CN106675005A	27.12.2016	Uzun kenevir elyaf takviyeli naylon kompozit malzeme ve hazırlanma yöntemi	Kompozit ürün
CN106587854A	29.12.2016	Çevre dostu kompozit yapı malzemesi ve hazırlanma yöntemi	Yapı malzemesi için kompozit ürün
US20170121473A1	10.01.2017	Kenevir fiber takviyeli geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen kompozit	Kompozit ürün
CN106987916B	20.02.2017	Otomobil içi için biyobozunur anti-oksidadasyon polilaktik asit kenevir elyaf kompozit levha üretim yöntemi	Otomobil için kompozit ürün
CN207236531U	09.03.2017	Düşük sertliğe ve yüksek nem direncine sahip bir şilte çekirdek malzemesi	Yatak için kompozit ürün

CN108623995A	15.03.2017	Kaymaz, aşınmaya dayanıklı kompozit zemin yüzey katmanı malzemesi	Yüzey malzemesi olarak kompozit ürün
PL421327A1	18.04.2017	Bakterisidal özelliklere sahip kenevir hamuru içeren kompozit malzeme	Kompozit ürün
CN107012587A	15.05.2017	Doğal ve çevre dostu fibrillerle güçlendirilmiş biyobozunabilen polimer bazlı keçe malzeme ve bileşik levhalar ve bunların hazırlanma yöntemi	Otomobil için kompozit ürün
CN107266720A	28.06.2017	Geliştirilmiş termoplastik nişasta kompozit malzeme ve bunun hazırlama yöntemi	Isı yalıtımı için kompozit ürün
CN107310216B	03.07.2017	Kısa kenevir lifi/karbon lifi/termoplastik polimer kompozit levha	Otomobil için kompozit ürün
CN107323012A	17.07.2017	Çift tabakalı kompozit içeren sağlıklı vücudu besleyen kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN207156598U	18.07.2017	Sesi absorbe eden doğal keten elyaf takviyeli odun hamuru bileşenleri	Ses yalıtımı için kompozit ürün
AU2017304472B2	21.07.2017	Vulkanize bir kısım içine gömülü doğal lifler içeren suni çim dolgu	Suni çim üretimi

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN107351470B	24.07.2017	Alev geciktirici kenevir lifi/termoplastik polimer kompozit levha ve bunun hazırlanma yöntemi	Kompozit ürün
CN207167923U	27.07.2017	Ayakkabı dezenfekte etmek için yeni orta taban plakası	Ayakkabı için kompozit ürün
CN107471787A	21.08.2017	Alev geciktirici ve aşınmaya dayanıklı kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN108070955B	06.11.2017	Hafif ve yüksek mukavemetli kenevir elyaf kompozit levha hazırlama süreci ve üretim sistemi	Kompozit ürün
CN108049181B	06.11.2017	Modifiye edilmiş güçlendirilmiş kenevir lifi hazırlama yöntemi	Kompozit için fiber ürünü
ID2018S00586A	15.11.2017	Fiber elyaf takviyeli hibrit sandaviç rüzgar gülü	Yel değirmeni pervanesi için kompozit ürün
CN107699125A	21.11.2017	Duvar kaplaması ve üretim yöntemi	Yapı malzemesi için kompozit ürün
CN107903595A	28.11.2017	Biyobozunabilir renkli baskı kompozit film ambalaj ve bunun işleme yöntemi	Ambalaj için kompozit malzeme
CN107936542A	30.11.2017	Naylon kompozit malzeme formulu	Kozmetik için kompozit ürün
CN108099169B	11.12.2017	Bir kenevir lifi dokunmamış kompozit otomotiv iç malzemesi hazırlama yöntemi	Kompozit ürün

CN108085970A	12.12.2017	Araç koltuğu için çinkenevir mikrokapsül aromatik kompozit malzeme hazırlama yöntemi	Otomobil için kompozit ürün
CN108099357A	26.12.2017	Otomotiv iç panel parçalarını hazırlama yöntemi	Otomobil için kompozit ürün
WO2019029101A1	27.12.2017	Aktif karbon fiber için hazırlama yöntemi	İyileştirilmiş fiber ürünü
CN108018665A	05.01.2018	Kenevir fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin formaldehit ve asetaldehitinin uzaklaştırılması için bir yöntem	Kompozit ürün
CN108527976A	09.02.2018	Alev geciktirici jean kompozit kumaşın üretim teknolojisi	Tekstil için kompozit ürün
CN108466471B	27.02.2018	Çok işlevli kompozit kumaşın üretim süreci	Tekstil için kompozit ürün
CN108588988A	11.04.2018	Üç boyutlu ve çok yönlü kenevir elyaf karışımli kumaş	Kompozit iplik ürün
CN108790315A	16.04.2018	Kırışmayan pamuklu kenevir kompozit tekstil kumaşı	Tekstil için kompozit ürün
CN108819375A	16.04.2018	Yüksek derecede elastik kompozit kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN108842444A	16.05.2018	Su arıtma için kompozit elyaf keçe hazırlama yöntemi	Su arıtma için kompozit elyaf
CN108727695A	31.05.2018	Otomobil için kompozit malzeme	Otomobil için kompozit ürün

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN108503267B	31.05.2018	Bir kompozit ve üretim yöntemi	İnşaat sektörü için kompozit ürün
CN208909440U	21.06.2018	Çelik kenevir elyaf kompozit koltuk plakası	Kompozit ürün
CN108634699A	25.06.2018	İyi havalandırma etkisine sahip yatak şiltesi	Yatak için kompozit ürün
CN109137535A	02.07.2018	Çin kenevir elyaf tozu- nano malzeme ile ısı yalıtımlı, aşınmaya dayanıklı, ultraviyole dayanıklı şemsiye bezi hazırlama yöntemi	Tekstil için kompozit ürün
TWM568160U	23.07.2018	Spor matı bileşeni	Tekstil için kompozit ürün
CN109096746A	22.08.2018	Kenevir lifi takviyeli naylon kompozit malzeme ve hazırlanma yöntemi	Kompozit ürün
KR102076421B1	12.09.2018	Otomobil bagaj kaplaması için çevre dostu kompozit malzemeler üretimi	Otomobil için kompozit ürün
CN109318546B	19.09.2018	Araba üst yüzeyi için sandaviç yapı	Otomobil için kompozit ürün
WO2019074223A1	20.09.2018	Kenevir karışımlı tek iplik üretim yöntemi	İplik üretim yöntemi
CN209176274U	26.09.2018	Otomobile yönelik ısı ve ses yalıtım plakası	Otomobil için kompozit ürün

CN109467873A	29.09.2018	Kenevir lifi ve fenolik reçine içeren kompozit malzeme hazırlama yöntemi	Kompozit ürün
CN109291607B	10.10.2018	Doğal kenevir elyaf takviyeli kompozit malzemenin sıkıştırma- haddeleme kompozit kalıplama işlemi yöntemi	Kompozit ürün
CN109333900B	10.10.2018	Ultra ince kenevir elyaf kompozit levhanın sürekli rulo sıkıştırma kalıplama işlemi için yöntem	Kompozit ürün
CN109487545B	06.11.2018	Kenevir / reçine kompozit malzemenin bağlanmasını iyileştirme yöntemi	Kompozit ürün
CN109629319A	20.11.2018	Şarjlı adsorpsiyon tipi klima filtresi için filtre kağıdı hazırlama yöntemi	Filtre kağıdı için kompozit ürün
CN109736013A	03.12.2018	Kenevir lifi içeren köşe koruyucusu ve hazırlanma yöntem	Köşe koruyucu için kompozit ürün
CN109431900A	06.12.2018	Banyo medili ve üretim yöntemi	Tekstil için kompozit ürün
CN109440301A	19.12.2018	Hijyenik bakım ürünleri için bir tür kenevir termal olarak bağlanmış dokunmamış malzeme ve bunların hazırlanma yöntemi	Hijyenik ürün için kompozit

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN109878431B	10.01.2019	Yüksek performanslı çevre koruma bazalt elyaf/kenevir elyaf takviyeli reçine kompozit otomobil tavan iç paneli ve hazırlama yöntemi	Otomobil için kompozit ürün
CN109796611B	10.01.2019	Yerinde kaplanmış derin soğuk işlemlili bazalt elyaf karışımı kenevir elyaf takviyeli reçine matrisli kompozit malzeme hazırlama yöntemi	Kompozit ürün
CN109853221A	29.01.2019	Kenevir lifli kompozit malzemenin kokusunu azaltan kompozitin mekanik özelliklerini arttırmaya yönelik yöntem	Kompozit ürün
CN109910392B	11.02.2019	Kenevir lifi takviyeli polipropilen kompozit malzeme ve üretimi	Kompozit ürün
CN209633932U	14.02.2019	Otomotiv döşeme lamine kumaş	Ses yalıtımı için otomobile yönelik kompozit ürün
CN110042516A	14.03.2019	Renkli kenevir ile antibakteriyel ince lifli kompozit hazırlama yöntemi	Kompozit ürün
CN110016743B	18.04.2019	Yüksek mukavemetli polyester takviyeli kompozit kumaş malzeme ve hazırlanma yöntemi	Tekstil için kompozit ürün

CN110040152B	08.05.2019	Hafif çevre koruma tipi yüksek hızlı tren fişi sürgülü kapı kapak plakası hazırlama yöntemi	Tren kapısı için kompozit ürün
US20190343692A1	10.05.2019	Absorbe edici organik malzeme	Kompozit ürün
CN110126420B	06.06.2019	Maxim elyaf takviyeli poliüretan sandviç kompozit levha ve üretim süreci	Otomobil için kompozit ürün
CN110947022A	01.08.2019	Kitosan bazlı kompozit antibakteriyel pansuman hazırlama yöntemi	Medikal kullanım için kompozit ürün
CN110395018A	14.08.2019	Fonksiyonel moxa kumaşı	Tekstil için kompozit ürün
CN110343380A	20.08.2019	Bitkisel lifli kompozit malzeme ve hazırlama yöntemi ve uygulaması	Ses yalıtımı için kompozit ürün
CN110565381B	11.09.2019	Pamuk lifi ile modifiye edilmiş kenevir lifli kompozit kıyafet fiber ve üretim yöntemi	Fiber ürünü
CN211031503U	12.09.2019	Ultraviyole korumalı ve su geçirmez kompozit kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN211315384U	13.09.2019	Bambu kenevir sargılı kompozit basınçlı boru	Basınca karşı kompozit ürün
CN110670238B	18.09.2019	Kırılmaz yüksek elastik kenevir-pamuk kompozit elyaf ve hazırlama yöntemi	Tekstil için kompozit ürün

KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN110550923A	10.10.2019	Dökümde hizmet ömrünü uzatmak için aşınmaya dayanıklı kompozit malzeme	Aşınma dirençli kompozit ürün
CN110733205A	10.10.2019	Aşınmaya dayanıklı trambolin bezi ve işleme süreci	Tekstil için kompozit ürün
DE202019105606U1	11.10.2019	Yatak örtüsü ve yatak örtüsü ile şilte	Tekstil için kompozit ürün
CN110699947A	23.10.2019	Kağıt bebek bezinin yüzey tabakası için özel kenevir kompozit liflerinin hazırlanma yöntemi	Bebek bezi için kompozit ürün
CN110802887A	28.10.2019	Kenevir fiberli otomobil tavanı ve üretim yöntemi	Otomobil tavanı için kompozit ürün
CN211106032U	07.11.2019	Antibakteriyel duvar kaplaması	Tekstil için kompozit ürün
CN211195210U	08.11.2019	Yüksek toklukta tamamen bozunabilir kompozit levha	Kompozit ürün
CN110655769A	08.11.2019	Yüksek toklukta bozunabilir kompozit malzeme	Tek kullanımlık aparat, ambalajlar için kompozit ürün
CN110903516A	29.11.2019	Yüksek mukavemetli ve yüksek tokluğa sahip alev geciktirici polipropilen kompozit malzeme ve bunun hazırlanma yöntemi	Alev geciktirici kompozit ürün

CN111086312A	04.12.2019	Ultraviyole korumalı kompozit örme kumaş ve işleme yöntemi	Tekstil için kompozit ürün
CN111058192A	09.12.2019	Kenevir lifli kompozit dokumasız kumaş ve hazırlanma yöntemi	Kompozit dokunmamış kumaş ürün
CN110885206A	20.12.2019	Kenevir lifli kompozit ısı yalıtım malzemesi ve hazırlanma yöntemi	Isı yalıtımı için kompozit ürün
CN113122979A	31.12.2019	Süper esnek yaşlanma önleyici yüksek yoğunluklu ve aşınmaya dayanıklı kompozit elyaf pamuk ipliği ve üretimi	Tekstil için kompozit ürün
WO2021189179A1	23.03.2020	Nano titanyum ve kenevir fiber kompozit	Kompozit ürün
CN111607898A	26.04.2020	Çin kenevir lifi içeren yüksek performanslı kompozit malzeme üretim teknolojisi	Kompozit ürün
CN212499233U	27.05.2020	İyi ter emen kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN212834256U	03.06.2020	Çok bileşenli yenilenmiş, farklı çekmelere sahip kenevir fiber kompozit üretim yöntemi	Tekstil için kompozit ürün
CN111621890A	01.07.2020	Vortex eğirme yüksek aşınmaya dayanıklı iplik	Tekstil için kompozit ürün

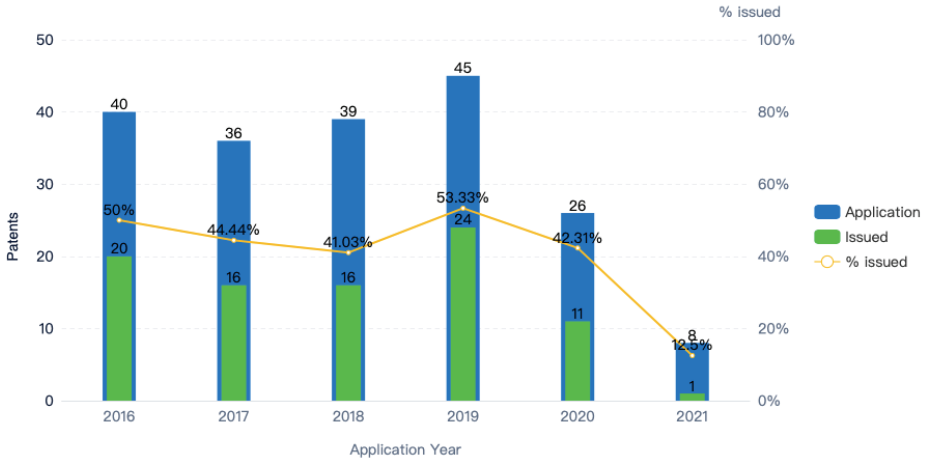
KENEVİR TAKVİYELİ KOMPOZİTLER – PATENT DERLEME

CN111647259A	03.07.2020	Biyobozunur kompozit kablo ve hazırlama yöntemi	Kablo için kompozit ürün
SK9344Y1	14.09.2020	Doğal kompozit yalıtım malzemesi ve üretim yöntemi	Isı yalıtımı için kompozit ürün
CN214215061U	14.09.2020	Anti-haddelenmiş elastik kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN213947649U	14.09.2020	Pileli antibakteriyel güneş şapkası kumaşı	Tekstil için kompozit ürün
CN213919922U	20.10.2020	Yağa dayanıklı mat polar kumaş	Tekstil için kompozit ürün
IDS00202008067A	27.10.2020	Selüloz asetat / zeolit NAA'dan kompozit membranlar yapma işlemi	Kompozit ürün
CN214324417U	2.11.2020	İyi çekme özelliklerine sahip farklılaştırılmış polyester kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN112553994A	02.12.2020	Sisal, kenendir elyaf çimento esaslı kompozit malzeme üzerine kaplanmış asfalt tabakalı kompozit yol	Asfalt kompozit üretimi
CN214137696U	02.12.2020	Anti-statik termal kompozit kumaş	Tekstil için kompozit ürün
CN112575446A	4.12.2020	Kompozit dokumasız kumaş hazırlama yöntemi ve uygulaması	Tekstil için kompozit ürün
CN112575445A	04.12.2020	Kompozit dokumasız kumaş hazırlama yöntemi ve uygulaması	Hijyenik ped için kompozit

CN214615204U	25.12.2020	Kenevir elyaf kompozit ses geçirmez zemin	Ses yalıtımı için kompozit yer döşeme
CN112746335A	25.12.2020	Endüstriyel kenevir elyaf tozu ile anti-bakteriyel kompozit iç taban hazırlama yöntemi	Kompozit ayakkabı tabanı
CN214060401U	27.12.2020	Poliüretan köpük/mikrofiber kompozit araba içi levha	Otomobil için kompozit ürün
CN214395767U	11.01.2021	Yüksek elastisiteye sahip yüksek ne absorbe edebilen kompozit kaplama pamuk ipliği	Tekstil için kompozit ürün
CN113174696A	08.03.2021	Süper yumuşak yapışmayan bileşik dokumasız kumaş ve hazırlanma yöntemi	Tekstil için kompozit ürün
CN113045867A	15.03.2021	Modifiye edilmiş Çin Kenevir Fiber takviyeli biyobozunur malzeme matrisli kompozit ve üretim metodu	Kompozit ürün
CN112918027A	30.03.2021	Ses yalıtımlı ve gürültü azaltma fonksiyonlarına sahip ticari araç tavanı ve üretim yöntemi	Ses yalıtımı için otomobile yönelik kompozit ürün
CN113248887A	26.05.2021	Yüksek toklukta biyobozunur polilaktik asit kompozit malzeme ve üretim yöntemi	Alev geciktirici kompozit ürün

CN113635653A	27.07.2021	Kenevir fiber ve PVC kompozit içeren otomatik iç parçası üretim yöntemi	Otomobil için kompozit ürün
IN202121048706A	25.10.2021	Biyobozunur kullan at yoga matı	Yoga Matı için kompozit ürün

Patsnap™ veri tabanı kullanımı ile patentlerin yıllara oranlara patent başvuru ve tescil sayıları dağılımı incelenmiştir. 2020-2021 yılında henüz 18 ay yayın erteleme ile patent başvurularının ifşa olmadığını göz önüne bulduğumuzda her yıl benzer sayılarda başvurulara rastlanmakta olup başvuru-tescil oranındaki başarının % 50 olduğu Şekil 6'da gözlenmektedir.

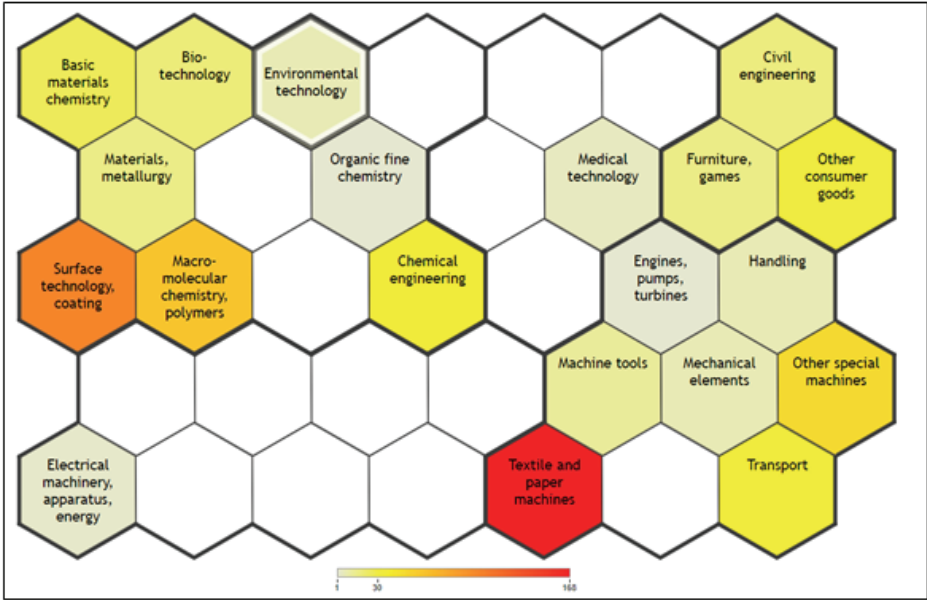


Şekil 6. Patent Sayılarının Yıllara Göre Değişimi

Tablo 1'de patent dokümanlarının özet ve teknik alan bölümlerinde belirtilen uygulama alanlarının tek tek incelenmesi ile sektör tayini yapılmış olup Şekil 7'de ise Patsnap™ veri tabanı kullanılarak elde edilen uygulama alanları analizi görülmektedir. Patentler incelendiğinde özellikle tekstil alanında kullanımı karşımıza çıkmakta olup, kenevir ipi kullanımı ile kompozit iplik eldesi, iplik üretimine yönelik yöntemler için başvurular mevcuttur. Farklı kumaş malzemeleri üretimi söz konusu

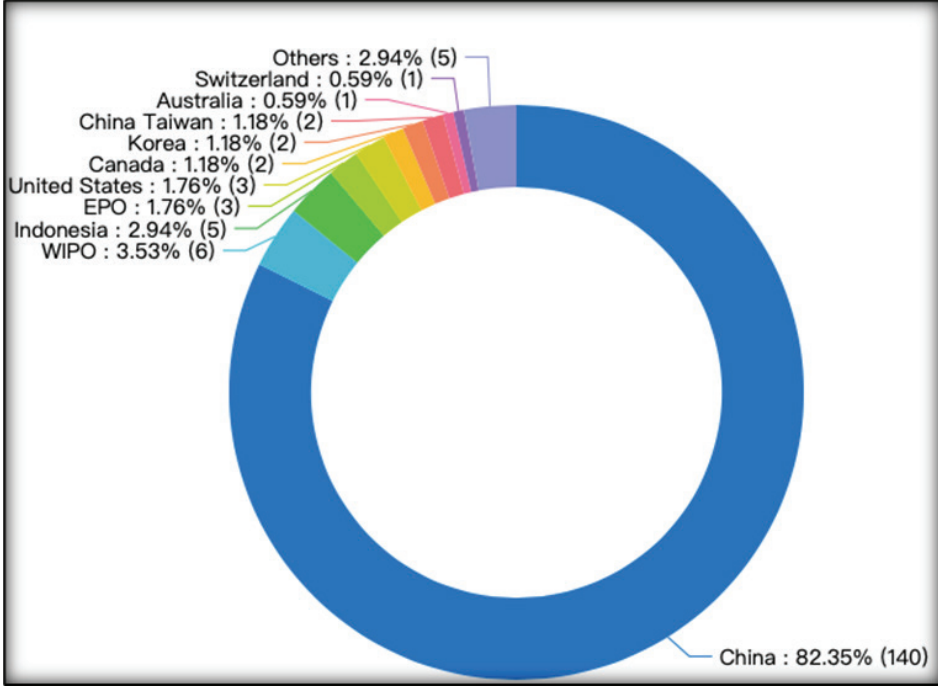
olup ağırlıklı olarak UV korumalı, alev önleyici, yumuşak dokulu gibi farklı taleplere yönelik ağırlıklı olarak polivinilklorid, naylon, polyester gibi polimer malzemeler ile takviye edici olarak kenevir lifi kullanımı karşımıza çıkmaktadır. Tekstil kullanımının ardından en fazla kullanımının yine tekstil ile ilişkilendirilebilecek şekilde otomotiv sektörü göze çarpmaktadır. Otomobillerin bagaj, tavan gibi içyapılarının kaplanmasında kullanılan kumaşlar ve çeşitli polimerler kullanılarak elde edilmiş kompozit malzemeler gözlenmektedir.

Bahsedilen sektörlerin dışında patentin üretim metodu ve bileşenlerine değinilen fakat belli bir sektörel vurgu yapılmayan buluşlar da oldukça fazladır. Yapı malzemesi üretiminde ses ve ısı yalıtımına ve bunun yanısıra hijyenik ped üretimine, yapay çim üretimine, su arıtma amaçlı kullanıma yönelik farklı patentlere de rastlanmıştır.



Şekil 7. Kenevir Lifi Kullanımının Sektörel Dağılımı

Yıllara göre sektörel başvuru dağılımında bir değişiklik olup olmadığı açısından incelendiğinde bir korelasyon tespit edilmemiştir. Son yıllarda da tekstil ve otomotiv başvurularının ağırlıkta olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8. Patent Başvurularının Ülkesel Dağılımı

Şekil 8’ te patent başvurularının ülkesel dağılımı gösterilmektedir. Ağırlıklı olarak başvuruların Çin’de yoğunlaştığı gözlenmektedir. Bu da büyük oranda kenevir kompozit pazarının Çin olduğunun bir göstergesidir.

SONUÇ

İlgili alanda patent taramasında en fazla karşılaşılan patentler, Çin Halk Cumhuriyeti’ndeki başvurulardır.

Doğal bir malzeme olması sebebi ile kenevir kompozitlerin birçok alanda farklı kullanımına rastlanmıştır. Bunlar ağırlıklı olarak tekstil ve otomotiv olmakla birlikte ses ve ısı yalıtımı sebebi ile inşaat sektörü için de önemli olduğu gözlenmektedir.

Buluşlar genellikle geniş kapsamda koruma altına almak istendiği için patentlerde genel olarak kenevir elyafın tek başına değil de alterna-

tif olarak sunulduğu gözlenmektedir. Yani diğer elyaflarla birlikte kombinasyonlarının çeşitli oranlarda kullanımı şeklinde belirtilmektedir.

Patent koruması altına alınması talep edilen farklı unsurlar mevcuttur. Bazı patentlerde kompozit malzeme, bazı durumlarda üretim metodu, bazı durumlarda ise sadece takviye elemanın kendisi olarak kenevir söz konusu olmaktadır. Matris eleman olarak karşımıza farklı çeşitlerde polimer malzemeler çıkmakta olup birçok patentte çevreye duyarlı biyobozunur polimer kullanımı dikkat çekmektedir.

Ülkemizde endüstriyel kenevir veya kenevir lifi ile ilgili patent sayısı maalesef çok az sayıda olup kenevir elyaf ile ilgili akademik çalışmaların, patent başvurularının ve ticari potansiyelin/pazarın artması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Boztoprak, Y. (2021), Kenevir elyafın özellikleri ve kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi, Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler, Bölüm 21, 395-406

Özdemir, S., Tekoğlu, O. (2013). Ekolojik tekstil ürünlerinde kullanılan hammaddeler, Akdeniz Sanat Dergisi 4(8): 27-30

Patnaik S.R., Pradhan M.K., A Critical synthesis over natural fibers, include bamboo and hemp flavoured with glass fiber reinforced plastic, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8, 6, 3582-3586 (2020)

Pochwała S, Makiola D., Anweiler S., Böhm M., The heat conductivity properties of hemp-lime composite material used in single-family buildings, Materials, 13, 4, 2-14 (2020)

Shahzad, A. (2012), Hemp fiber and its composites - a review, Journal of Composite Materials, 46 (8), 973-986. DOI:10.1177/0021998311413623

İNTERNET KAYNAKLARI

"Avrupa Birliğinde Kenevir Üretimi", Online Referans, https://ec.europa.eu/info/index_en, (E.T. 29.12.2021)

"Endustrial Hemp Market Size & Share Report 2021-2028", Online Referans, <https://www.grandviewresearch.com> (E.T. 29.12.2021)

<https://eli.inc/product/hurd/> (E.T. 29.12.2022)

<https://www.hemptraders.com/Hemp-Hurd-s/1950.htm> (E.T. 29.12.2022)

