

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ELDE EDİLEN MALZEMELER VE UYGULAMALARI

ARTİKEL AKADEMİ: 190
Multidisipliner Akademiik Çalışmalar

Yenilenebilir Kaynaklardan Elde Edilen Malzemeler ve Uygulamalar
Editor: Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

HAKEM KURULU:
Prof. Dr. Giuseppe T. CIRELLA
Prof. Dr. Mohammed SHARAF
Prof. Dr. Selin Şahin Sevgili
Prof. Dr. Targan ÜNAL
Doç. Dr. Sibel ŞAHİN AYL A

ISBN 978-625-8088-30-4
Birinci Basım: Eylül - 2022

Ofset Hazırlık: Artikel Akademi

Baskı ve Cilt: Net Kırtasiye Tanıtım ve Matbaa San. Tic. Ltd. Şti.
Gümüşsuyu, İnönü Caddesi & Beytül Malcı Sokak 23/A,
34427 Beyoğlu/İstanbul
Matbaa Sertifika No: 47334

Artikel Akademi bir Karadeniz Kitap Ltd. Şti. markasıdır.

©Karadeniz Kitap - 2022

Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında
yayımcının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

KARADENİZ KİTAP LTD. ŞTİ.
Koşuyolu Mah. Mehmet Akfan Sok. No:67/3 Kadıköy-İstanbul
Tel: 0 216 428 06 54 // 0530 076 94 90

Yayıncı Sertifika No: 19708
mail: info@artikelakademi.com
www.artikelakademi.com

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ELDE EDİLEN MALZEMELER VE UYGULAMALARI

Editor: **Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI**

YAZARLAR

- *Abdulkadir GÜLLÜ*
- *Adem ÇINARLI*
- *Demet GÜRBÜZ*
- *Demet SEZGİN MANSUROĞLU*
- *Emin ÖZDEMİR*
- *Ebubekir SEYYARER*
- *Ekrem BÖLÜKBAŞI*
- *Faruk AYATA*
- *Gökhan ÇAYLI*
- *İhsan KAYA*
- *Mustafa GÜLER*
- *Mustafa Sami ATA*
- *Övünç GÜVERCİN*

ÖNSÖZ

Yenilenebilir kaynaklar toplumun ve çevrenin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda günümüz için geçerli tek kalkınma modeli ve yaşanabilir bir dünya olarak otaya çıkmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar konusunda yapılacak faaliyetlerin çevreye, topluma ve ekonomiye pozitif yönde katkılar yapması beklenir. Bu nedenle de sürdürülebilir kalkınma modeline uygun faaliyetlerin sayısının artması için günümüzde yoğun bir şekilde her disiplinden bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Bu kitapta çeşitli disiplinlerden bir araya gelen akademisyenlerin çalışmaları derlenmiş olup yenilenebilir kaynaklarla kalkınma konusunda çalışmalar yapanlar için oldukça faydalı olabilecek bir eser vücuda getirilmiştir.

Başta kıymetli meslektaşlarım olma üzere bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen Artikel Akademi Uluslararası Yayınevi'ne teşekkür eder, başarılarının devamını dilerim.

- Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm

FINDIK ARTIKLARINDAN ELDE EDİLEN BOYARMADDE İLE KENEVİR LİFİNİN BOYANMASI.....	9
<i>- Adem ÇINARLI</i>	

2. Bölüm

ISIRGAN BİTKİSİNDEN ELDE EDİLEN BOYARMADDE İLE KENEVİR LİFİNİN BOYANMASI.....	17
<i>- Demet GÜRBÜZ</i>	

3. Bölüm

İTAKONİK ASİT ESASLI NANOLİFLERİN SENTEZİ VE ÖZELLİKLERİ....	27
<i>- Demet SEZGİN MANSUROĞLU & Gökhan ÇAYLI</i>	

4. Bölüm

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE UYGULANAN SOĞUTMA-YAĞLAMA YÖNTEMLERİNDEKİ YENİ YAKLAŞIMLARIN ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KESME PERFORMANSINA ETKİSİ.....	35
<i>- Emin ÖZDEMİR & Abdulkadir GÜLLÜ</i>	

5. Bölüm

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KURAMSAL TEMELLER VE İŞLENEBİLİRLİK.....	65
<i>- Emin ÖZDEMİR & Abdulkadir GÜLLÜ</i>	

6. Bölüm

P-MEDYAN TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI	93
<i>- Mustafa GÜLER</i>	

7. Bölüm

ELEKTROKİMYASAL KAPASİTÖR UYGULAMALARI İÇİN YENİLENEBİLİR BİYOKÜTLE KAYNAKLI KARBON UYGULAMALARI VE BİTKİSEL ÇÖZÜMLER	103
<i>- Ekrem BÖLÜKBAŞI & Mustafa Sami ATA</i>	

8. Bölüm

TEKNOLOJİ ÇAĞININ EN ÖNEMLİ SAVUNMA SİSTEMİ: SİBER GÜVENLİK	131
<i>- Faruk AYATA & Ebubekir SEYYARER</i>	

9. Bölüm

AKILLI FABRİKA TASARIMI İÇİN YOL HARİTASI OLUŞTURMA VE STRATEJİ ÖNCELİKLENDİRME İÇİN BİR KARAR MODELİ ÖRNEĞİ	143
<i>- Övünç GÜVERCİN & İhsan KAYA</i>	

FINDIK ARTIKLARINDAN ELDE EDİLEN BOYARMADDE İLE KENEVİR LİFİNİN BOYANMASI

Doç. Dr. Adem ÇINARLI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi

Kimya Bölümü, Avcılar Yerleşkesi

adem@iuc.edu.tr

GİRİŞ

Boyarmaddeler gıda, tekstil, kozmetik ve eczacılık gibi pek çok alanda kullanılmakta olup sentetik ve doğal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Günümüzde tekstil materyallerinin boyanması büyük oranda sentetik boyarmaddeler ile yapılmakta iken, Dünyada ve Ülkemizde sentetik boyarmaddelerin zararları anlaşılınca doğal boyarmadde arayışları başlamıştır. Doğal boyarmaddeler sentetik boyarmaddeler ile karşılaştırıldıklarında daha az toksik ve daha az alerjeniktir. Bunların yanı sıra doğal boyarmaddelerin antialerjik, antimikrobiyal, antibakteriyel, antikanserojen vb. aktivitelere sahip olduğu bilinmektedir. Bu avantajlarından dolayı doğal boyarmaddelerin kullanımı, gıda, farmasötik, kozmetik ve tekstil boyama endüstrisi alanında ivme kazanmıştır. Ayrıca doğal boyarmaddeler sentetik boyalara nazaran daha iyi biyo-çözünürlük gösterirler ve çevre ile daha uyumludur. Doğal boyarmaddelerin insan sağlığına zarar vermemesi nedeniyle özellikle gelişmiş batı pazarlarında sağlıklı tekstil ürünlerine talep artmaktadır. Doğal boyarmaddeler bitkisel ve hayvansal ve mineral kaynaklı olmak üzere üç grup altında toplayabiliriz. Bitkilerden doğal boyarmaddeler elde edilmesinde üç farklı kaynaktan yararlanılır. İlk önce tarımı yapılarak elde edilebilen boyarmadde içeren bitkiler. İkinci olarak tarım ve orman artıklarından elde edilen boyarmaddeler. En son olarak gıda endüstrisinden elde edilen artıklar.

Özellikle doğadan toplama yolu ile elde edilen doğal boyarmaddeler; pa-

halı, standardı olmayan, aynı kaliteyi devamlı sağlayamayan, zor ve ekonomik olmayan bir işlemdir. Doğadan toplanan materyalin aynı standartta devamlılık sağlanamaması ve şartlara göre her yıl üretim miktarlarının çok değişmesi doğal boyarmadde üreticilerini zora sokmaktadır. Tekstil sektörünün sürekli aynı standartta boyarmadde ihtiyacının olması toplama yolu ile karşılanamamaktadır. Halbuki doğal boyarmadde materyalinin temini tarımsal alanlardan yetiştiricilikle karşılanabilecektir. Böylece çiftçilere yeni alternatif gelir kapısı yanında, süreklilik sağlanan bir boyarmadde kaynağı elde edilecektir. Ülkemizde bitkisel boyacılık konusunda son yıllarda yapılan araştırmalar genellikle bu alanda bitkilerin ve bitki artıklarının kullanım potansiyelinin belirlenmesine yöneliktir. Tarım ve orman artıklarının doğal boyarmadde kaynağı olarak değerlendirilmesi ile birlikte tekstil ürünlerinin bitim işlemlerinde kullanılan kimyasallar yerine de kullanımları araştırılmaktadır. Ayrıca yine bu kaynaklardan elde edilen kimyasalların boyama yardımcı kimyasalı olarak kullanımları da araştırılmaktadır.

Renk kavramına baktığımızda; Renk tanımı farklı ifadeler kullanılsa da, genel anlamı ile ışığın nesnelere çarparak bir kısmının soğurulup kalan kısmının da yansınmasıyla oluşan duyumlara renk, yansıyan bu ışığın nesnenin yapısına göre gösterdiği çeşitlilikte renk tonu olarak adlandırılır. Renkler ve renklendirilmiş malzemeler hayatımızda önem arz etmektedir. Bu nedenle de eski çağlardan beri renklendirme işlemleri nesnelere üzerinde ve insan üzerinde uygulanmıştır. İlkel topluluklarda kendi içlerinde ve diğer toplumlarla iletişim kurmak için renklerden yararlanırlardı. Kendilerinin ifade etmek için mağara duvarlarına tek renkli resimler yaparlardı. Renklendirme işleminde toprak ve demir oksidin suyla karıştırılmasıyla elde edilen malzemeler kullanılmıştır. Daha sonra İnsanoğlunun doğadan yararlanarak çeşitli metal oksitlerden çeşitli renkleri elde etmiştir. Bu elde edilen renkli boyalar içerisinde su yerine bitkilerden elde edilen yağlar ve yumurtanın kullanılmaya başlamasıyla yağlıboya türü malzemeler elde edilmiş olup bunların ömrünün daha uzun olması sağlanmıştır. Bu elde edilen boyalar ile insanlar mağara ve kaya yüzeylerine hayvan figürleri ve çeşitli semboller çizerek duygu ve düşüncelerini anlatmaya çalışmışlardır. Doğal boyalar elde edildiği malzemeler açısından üç gruba ayrılır. Toprak ve madenlerden elde edilen boyalar: Doğada bulunan renkli topraklar; sarı, kırmızı, yeşil gibi. Bitki ve ağaçların; yaprak, çiçek, kök, kabuk ve meyvelerinden elde edilenler. Hayvanların kanı, Murex, Purpura gibi kabuklu deniz hayvanı, mürekkep balığı gibi hayvanlardan çeşitli renkleri elde edilmiştir. İnsanlar, eski dönemlerde elde ettikleri renkli maddeler ile kayaları, çeşitli kabukları, tüyleri ve kendilerini boyamak ve kendilerine ait hayvanlara

işaret koymak amacıyla kullanırlardı (Akpınarlı ve Öztürk, 2017). İnsanlık bitkileri kullanmaya başladıkça ve tarım sayesinde elde ettiği ürünler ile birlikte hayvan derileri de kullanılarak korunma amaçlı giysiler yapmışlardır. Sonrasında ise elde edilen renk maddeleriyle ürettikleri giysileri boyanmışlardır. Elde edilen renkli ürünler boyanmış ürünlere olan ilgiyi arttırdığı için boya elde edilme yöntemleri ve farklı kaynaklar kullanılmaya başlanmıştır.

Bir maddenin kalıcı olarak renklendirilmesine boyama, renklendiren maddelere ise boyarmadde denir (Başer ve İnanıcı, 1990). Boyarmaddeler doğal ve yapay olmak üzere gruplara ayrılır. Doğadan elde edilen boyalar yapılarına göre inorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal boyarmaddeler; hayvansal, bitkisel ve mineral boyarmaddeler olarak üç gruba ayrılmıştır. İnorganik olanlar; topraktan, yani minerallerden elde edilen renk maddeleriyle üretilen boyalardır. Organik boyalar ise bitki ve hayvanlardan elde edilir. Elde edilen bu boyaların bir kısmı herhangi bir yardımcı maddeye ihtiyaç duymadan malzemeleri boyayabildiği gibi bazı boyalar ise sabitleyici bir maddeye gereksinim duyarak malzemeler üzerinde sabit kalması sağlanmıştır. Boyama işlemlerinde kullanılan yardımcı maddelere mordan ismi verilmiş olup bu işlemede mordanlama denmektedir. Mordanlar genellikle metal tuzları olup farklı tür kimyasal yapıya sahip maddelerde kullanılmıştır. Eski çağlarda mordan olarak en çok alüminyum içeren şap ve demir oksit kullanılmıştır. Daha sonraları farklı metallerde kullanılarak çalışmalar geliştirilmiştir. Bunlardan özellikle bakır oksitler ve potasyum bitartarat da kullanılmıştır. Diğerleri kadar etkili olmasa da, tuz ve sirke, hayvan idrarı gibi malzemelerde uzun yıllar mordan olarak kullanılmıştır.

Boya bitkileri çoğunlukla Doğudan Batıya doğru yayılarak kullanılmaya başlamıştır. Eski dönemlerden beri Orta Asya ve Anadolu, boya bitkilerinin daima bulunduğu ve yetiştirildiği yerler olmuştur. Anadolu, doğu ile batı arasında her zaman bir köprü olmuştur. Doğal boyalar özellikle Pakistan, Hindistan, Çin, İran ve Ülkemizde üretilmiş olup ticari yol olan İpek yolu ile ülkeler arasında kervanlar ile ticareti yapılmıştır. Bu bölgelerde yetişen en değerli boya bitkilerinin başında, sarı renk veren safran, mavi renk veren çivit otu ve indigo ve kırmızı renk veren kök boya yanında aspir, sevgi çiçeği ve meşe mazısı olmuştur. Osmanlı İmparatorluğu zamanının da ise Bursa, İstanbul, Edirne, Konya, Tokat, Ankara ve Kayseri boyacılık sanatının ortaya çıktığı en önemli merkezler olmuştur. Aslında bu merkezler dışında da yöresel olarak Anadolu'nun hemen her tarafında boyacılık zanaatı icra edilmiştir. O dönemde en çok yetiştirilip kullanılan boya bitkileri ise ceviz, derici sumacı, nar, kadıntuzluğu, kök boya, cehri, safran olduğu görülmeye

ktedir. Bu bitkiler içinde en önemli yeri tutan kök boya ve cehridir. Kök boya boyacılık tarihinde Türk kırmızısı, Edirne kırmızısı adlarıyla da tanınmaktadır.

Yurdumuz da sentetik boyalarla tanışıldıktan sonra doğal boyaların kullanımında yavaşlama başlamıştır. Özellikle kolayca ve fazla miktarda üretilmesi ve tüketiciye kolay ulaşması ile süreç hızlanmıştır. Özellikle doğal kaynaklı bitkisel boyarmaddelerin mevsimlere toprağın ve suyun değişkenlik göstermesine bağlı olması ile birlikte üretimleri her geçen gün azalmıştır.

Sentetik boyaların elde edilmesi ve yüksek miktarlı üretimleri ile birlikte boyama tekstil ve deri boyama makinelerinin de gelişimi sonucunda doğal boyalar önemlerini yitirmişlerdir. Özellikle yeni sentetik liflerin gelişimi ve buna istinaden yeni boyarmaddelerin sentezleri ile doğal boyarmaddeler nerede ise tamamen unutulmuşlardır.

Son zamanlarda Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmadde ve yardımcı kimyasalların kanser vakalarının yaygınlaşmasında etkisi olduğu düşünüldüğü gibi çevreye verdiği zararlar gibi bir takım sorunlardan dolayı doğal boyalar ve doğal boyamacılık tekrar önem kazanmaya başlamıştır. Doğal boyaların kullanımı özellikle çocuk giysileri öncelikli olmak üzere giyim, ev tekstili, spor giyim gibi tekstil alanı olmak üzere, gıda ve ilaç sektörü gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Doğal boyarmaddeler ile yapılan çalışmalarda baktığımızda en iyi sonuçların mordan dediğimiz maddeler kullanılarak yapılan boyama işlemleri sonucunda görülmüştür. Doğal boyarmaddelerin mordan kullanılarak yapılan boyama işlemleri sonucu elde edilen tekstil ürünlerinin kalite değerini gösteren renk haslık testlerinin daha iyi çıkmaktadır. Boyama işlemlerinde en çok tercih edilen mordanlara baktığımızda; $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $K_2Cr_2O_7$, $FeCl_3$, $FeSO_4$, $CuSO_4$, $SnCl_2$ görülmektedir.

Son yıllarda doğal boyaların tekstil ürünlerinin renklendirilmesinde kullanımıyla ilgili araştırmalar ve uygulamalar artış göstermiştir. Özellikle boyama yöntemleri, kullanılan makine parkuru ve doğal yardımcı kimyasalların gelişimi nedeni ile Tekstil sektöründe doğal boyarmadde ile boyama artış göstermiştir. Doğal boyaların tekstil haricinde gıda boyası, kozmetik olarak kullanımı artmıştır. Ayrıca son zamanlarda sağlık sektörü ve güneş pillerinde boyarmadde olarak kullanımı ile araştırmalar artmıştır.

Kenevir lifleri son derece dayanıklı olduğundan çuval, halat, ağ yapımında kullanılan ve güçlü bir bitki olduğu için yetiştirilirken kimyasallara ihtiyaç du-

yulmayan kenevir üretiminin ana vatanı Orta Asya'dır. Daha sonra Çin, Anadolu, Mısır ve Avrupa'da ekilmeye başlanmış daha sonra Amerika'da ekimi yapılmıştır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde kenevir daha çok Karadeniz bölgesinde ekilmiş ve kenevir lifleri sicim, ip, urgan ve kumaş üretiminin hammaddesi olmuştur. Özellikle Kastamonu'nun Taşköprü ilçesi, kenevir ekiminin en çok yapıldığı yer olmuş ve burada üretilen kenevir, Osmanlı Donanması için urgan ve halat gibi malzemelerin yapımında kullanılmıştır. Kenevir lifleri sağlamlığı nedeniyle de sicim, ip, halat ve urgan yapımında; çadır bezleri, branda bezleri ve askerî amaçlı top örtülerinin örülmesinde değerlendirilir. Ambalaj malzemesi olarak, torba ve çuval üretiminde kullanılır. Çanta, halı, döşeme, ayakkabı ve şapka yapımında dayanıklı ve ideal bir hammaddedir. Kenevir sapından elde edilen selülozdan, kağıt sanayinde yararlanır. Kenevir tarımı, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın izin verdiği şehirlerde onay verilen arazilerde ve Bakanlıkça ayda bir denetlenmek suretiyle yapılmaktadır. Yönetmelik çerçevesinde belirlenen hükümlere uymak şartı ve bilimsel araştırma amacıyla ana veya tali bitki olarak kenevir yetiştiriciliğine, belirtilen bölgeler dışında da izin verilebilecektir. Yetiştiricilik izni, en fazla üç yıl geçerlidir. Kenevir yetiştiriciliği için başvuruda; çiftçinin daha önce izinsiz kenevir ekme, uyuşturucu imal etme, dağıtma, ticaretini yapma veya kullanma suçu işlemediğine ilişkin taahhütname vermesi gerekir. Yönetmeliğe göre yetiştiricilik izni; lif, tohum, sap ve benzeri amaçlara yönelik başvurularda en fazla bir üretim dönemi, bilimsel araştırmalar için yapılan başvurularda ise proje uygulama süresi dikkate alınarak en fazla üç yıl geçerlidir. Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığı'nın İl veya İlçe müdürlükleri teknik personelince kenevir yetiştiriciliği izni verilen yerler, kenevirin ekiminden hasada kadar en az ayda bir defa kontrol edilir (Endüstriyel Kenevir Forumu I-II, İstanbul Aydın Üniversitesi).

Fındık, sistematikte Fagales takımının Betulaceae familyasının, Coryleae alt familyasının, Corylus cinsine dâhil olup kuzey yarımkürenin ılıman bölgelerinde yetişmektedir. Bu türler içinde *C. avellana*, *C. colurna* ve *C. maxima* Mill, ticari öneme sahiptir. Ayrıca değişik türlerin hibritleri de önemli olup bazı varyeteler ise süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir (Özbek, 1978). Türk fındık çeşitleri ise *C. avellana* ve *C. maxima*'nın melezlerinden oluşmaktadır (Okay ve ark., 1986). Türk Fındığı ülkemizde doğal olarak yetişmektedir. Yaklaşık beşbin yıldır bilinen fındık, meyvesinden odununa kadar birçok yerde insanlığa büyük yararlar sağlamaktadır. Ayrıca fındık odunundan sepet, baston, sandalye, çit ve el aletleri yapımında faydalanılır. Fındık yaprağı ile meyve zurufleri de, gübre olarak kullanılmaktadır. Üretim fazlası fındıklar yağlık olarak değerlendirilmektedir. Fındık

kabuğu ülkemizde özellikle fındık üretilen bölgelerde çok değerli ve yüksek kalorili bir yakacak olarak kullanılmaktadır. Oysaki bu kabuk kısmından doğal boyarmadde de elde edilebilme imkânı vardır. Çalışmamızda artık olan bu kabuk kısmından elde edilen doğal boyarmadde kullanılmıştır. Artık olan kabuk kısmı su ile muamele edildikten sonra bu sıvı kısım boyama amaçlı kullanılmıştır. Boyanacak materyal Kenevir olup boyanmadan önce ön işlemlere tabi tutulmuştur. Daha sonra birlikte boyama yöntemi ile çeşitli mordanlarla boyama yapılmıştır. Elde edilen boyanmış ürünlerin renk haslık testleri yapılmıştır. Boyama işlemi sonucunda elde edilen haslıklar iyi çıkmıştır.

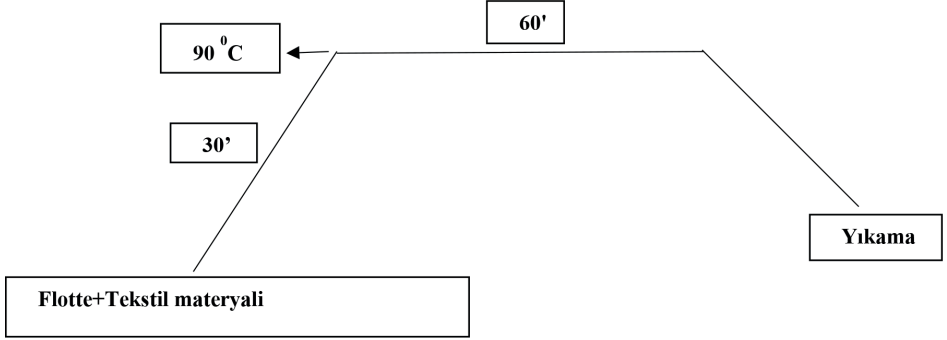
AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada fındık artıklardan olan ve doğal boyarmadde özelliği gösteren kabuk kısmının su ile ekstraksiyonu sonucunda elde edilen ekstraktın boyarmadde kaynağı olarak kullanılması ve bu elde edilen doğal boyarmadde ile kenevir liflerinin boyanması amaçlanmıştır.

İlk önce kenevir materyali ön işlemlere tabi tutulmuştur. Daha sonra ise fındık kabuklarından elde edilen bitkisel boyarmadde ile birlikte boyama yöntemi kullanılarak çeşitli mordanlarla boyama işlemi yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen boyanmış materyallerin renk değerleri spektrofotometre ile ölçülmüş olup boyanmış örneklerin kalite tespitleri haslık testleri ile belirlenmiştir.

Kenevir materyali ön işlemlerden geçirilip kurutulduktan sonra 5 gram örnekler halinde hazırlanmıştır. Daha sonra boyama makinesinin tüplerine belirlenen miktarda su ve boyarmadde ilave edilir ve bir adedi standart (kör) (mordansız) olmak üzere, % 2 oranında $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $FeSO_4$, $CuSO_4$ mordanları tüplere katıldı. Daha sonra boyama işlemi için boyama makinesine yerleştirilerek aşağıda gösterilen boyama grafiğine (Şekil 1) göre boyama yapıldı. Boyama sonrasında durulama, sabunlama ve tekrar durulama yapılarak boyanan materyal yıkanmıştır. CIE $L^*a^*b^*$ yöntemine L^* , a^* , b^* renk değerleri belirlenmiştir. En son olarak ISO standartlarına göre yıkama (renk değişimi (solma) ve akma (lekeleme)), sürtme (yaş ve kuru) haslık değerleri belirlenmiştir.

Tablolar ve Şekiller



Şekil 1. Boyama Grafiği

Tablo 1. Boyanmış Ürünlerin Renk Değerleri (D65)

Mordan	L*	a*	b*
Mordansız	40,64	15,39	15,36
$KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$	46.51	12.42	18.13
$FeSO_4$	35.04	3.63	6.83
$CuSO_4$	41.49	11.51	15.78

Tablo 2. Yıkama ve Sürtme Haslık Değerleri

Mordan	Sürtme Haslığı		Yıkama Haslığı							Renk Solması
			Lekeleme							
Kuru Sürtme	Yaş Sürtme	Asetat	Pamuk	Naylon	Polyester	Poli Akrilat	Yün			
Mordansız	3	2/3	3	2	3/4	4	4	3/4	2/3	
$KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$	3/4	3	3/4	2/3	4	4	3/4	4	3/4	
$FeSO_4$	4/5	3/4	4	3	4	4/5	4/5	4/5	4	
$CuSO_4$	4	3/4	3/4	3	3/4	4	4	4	3/4	

Çalışmada çıkan değerlere bakıldığında (Tablo 2) yıkama ve sürtme haslıklarının sonuçları mordanlara göre değişmektedir. Yaptığımız çalışma şartlarına göre en iyi sonuç FeSO_4 mordanı ile alınmıştır. Sonrasında CuSO_4 ve $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ gelmektedir.

KAYNAKÇA

- Başer, İ. ve İnanıcı, Y. (1990). *Boyarmadde Kimyası*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları. 7
2017. Antalya: Akpınarlı, H.F., Öztürk, Ö. "Doğal Boyarmadde ile Yün ve Pamuk İpliklerinin Boyanması ve Haslık Değerleri: Akasya Örneği II. Uluslararası Akdeniz Sanat Sempozyumu." Akdeniz Üniversitesi Basımevi, 96-10
- 2018-2019. "İstanbul: Endüstriyel Kenevir Forumu I-II," İstanbul AYDIN Üniversitesi: 36-38
- Okay, A.N., Kaya, A., Küçük, V.Y., ve Küçük A. 1986. *Fındık Tarımı*. TKB, Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müd., Yayın No: Genel 142, Tedgem 12, Ankara, 85
- Özbek, S., 1978. *Özel Meyvecilik* (Kışın Yaprağını Döken Meyve Türleri). Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 486

2. Bölüm

ISIRGAN BİTKİSİNDEN ELDE EDİLEN BOYARMADDE İLE KENEVİR LİFİNİN BOYANMASI

Dr. Öğr. Üyesi Demet GÜRBÜZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi Kimya Bölümü

demet@iuc.edu.tr

GİRİŞ

İnsanlar ilk çağlardan beri giysilerini, kullandıkları aletleri ve yaşadıkları çevreyi doğadaki renk çeşitliliğinden esinlenerek renklendirmek ve güzelleştirmek istemişlerdir. Bu istekleri doğrultusunda çeşitli kaynaklardan boya ve boyarmaddeler elde etmişlerdir. İlk kullanılan boyalar bitki öz suları, metal oksit karışımları, killi topraktır. Bunların su ile karıştırılarak yüzeye uyguladıkları düşünülmektedir. Milattan yüzlerce yıl öncesine ait olan mağara duvarlarında ve arkeolojik kazılarda bulunan eşyalarda bunların birçok örneği görülmüştür. Ayrıca eski Mısır mumyalarında bu boyaların izlerine rastlanmıştır. Zamanla toplumun gelişimi ile birlikte elde ettikleri bu boyamaddelerinin uygulama alanlarını genişletilerek yün, pamuk, ipek ve deri gibi doğal elyafların boyanmasında da kullanılmıştır. Doğal boyamacılığın tekstil elyafında kullanımının MÖ 4000 yıllarında Hindistan ve Mezopotamya'da başlamış olduğu bilinmektedir.

1856 yılında ilk sentetik boyarmaddenin elde edilmesi ve bunu takiben birçok sentetik boyarmaddenin daha uygun maliyetli olarak sentez edilmesinden sonra doğal boyarmaddelere olan ilgi azalmış ve hatta bitme noktasına gelmiştir. Günümüzde dünya nüfusunun ve buna paralel olarak tüketimin artmasıyla istenilen talebi karşılamak için birçok alanda sayısız sentetik ürün kullanılmaktadır.

Bu ürünlerin insan sağlığına ve çevreye olan zararlı etkilerinden dolayı organik kökenli ürünlere olan gereksinim oldukça artmıştır. Kullanılan kimyasal maddelere alternatif olabilecek, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri olmayan doğal ürünlerin kullanılması ve geliştirilmesi son derece önem kazanmıştır. Bu nedenle diğer birçok alanda olduğu gibi tekstil alanında da toksik etkileri olmayan, sürdürülebilirliği olan, çevre dostu, ve atık su problemi oluşturmayan doğal boyarmaddelerin eldesi ve tekstil liflerine uygulanması birçok araştırmacı tarafından yoğun olarak çalışılan bir konu haline gelmiştir.

Elde edilen bu boyarmaddeler başta tekstil olmak üzere ilaç, gıda ve kozmetik gibi çeşitli alanlarda ürünlerin renklendirilmesi için kullanılmaktadır. Aynı zamanda doğal boyarmadde eldesinde kullanılan bitkiler antibakteriyal, antifungal ve antioksidan gibi birçok biyolojik ve farmakolojik aktiviteye sahiptirler ve bu boyalarla boyanan materyallerin aynı özelliklere sahip olmaları beklenmektedir..

Doğal boyarmaddeler genel olarak elde edildikleri kaynağa göre üç gruba ayrılır.

- a) Toprak ve madenlerden elde edilen doğal boyalar
- b) Bitki ve ağaçlardan elde edilen doğal boyalar
- c) Hayvanlardan elde edilen doğal boyalar

Doğal boyarmaddelerin kullanımının çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar;

Doğal Boyarmaddelerin Avantajları

1-Doğal maddelerden elde edildiğinden, boyarmadde maliyeti daha ucuzdur. Özellikle işgücü potansiyelinin fazla olduğu, el sanatlarının yaygın olduğu kırsal bölgelerde bu nedenle tercih edilmektedir.

2-Doğal boyarmaddelerin solma dereceleri, genellikle diğer renklerin uyumunu bozmayacak şekilde olmaktadır.

3-Bazı doğal boyarmaddelerin haslık değerleri iyi olup uzun süre kadar bozulmadan kalabilirler. Buna karşılık bazılarının ise haslık değerleri oldukça düşüktür.

Doğal Boyarmaddelerin Dezavantajları

1- Bitkileri senenin her zamanında elde etmek mümkün değildir. Bitkiler ancak çiçek açtıkları ilkbahar-yaz dönemlerinde toplanabilir.

2-. Her bölgede istenen tüm renkleri veren bitkilerin bulunmaması sorun olmaktadır.

3- Boyama için fazla miktarlarda doğal boyarmaddeye gereksinim vardır. Buna karşılık aynı renk şiddeti, sentetik boyarmaddeler ile çok küçük miktarla sağlanabilmektedir.

4-Bitkinin içerdiği boyar maddeler iklim koşullarına, toprağın cinsine, toplandığı mevsime, yaşına göre değiştiğinden istenilen renk tonunu her zaman elde etmek mümkün değildir.

5- Doğal boyarmaddeleri en çok sarı, kırmızı, kahverengi gibi sınırlı renkler elde edilebilmektedir. Diğer bazı renkler, bu renklerin karışımları ile elde edilmektedir. Renk çeşitliliği sentetik boyarmaddelere göre çok sınırlıdır.

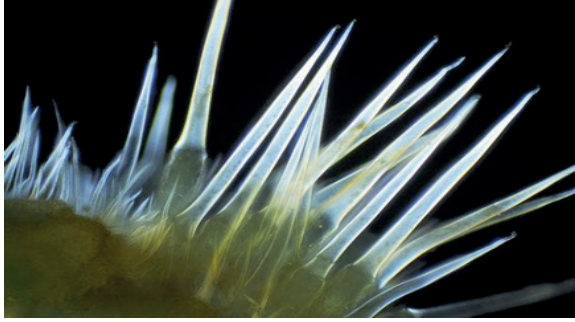
6-Tekstil sektöründe yüksek tonajlı boyama işlemleri yapıldığı için fazla miktarda doğal boyarmaddeye ihtiyaç vardır. Bu miktardaki boyanın elde edilmesi için geniş tarım alanı gerekmektedir. Ayrıca ürünün toplanması, nakliyesi ve boyarmaddenin ekstraksiyonu oldukça maliyetli olmaktadır.

Çalışmamızda yüksek tıbbi ve aromatik öneme sahip olan ısırgan otundan boyarmadde elde edilmesi planlanmıştır. Isırgan otu (*Urtica dioica* L.), Urticaceae (nettle) familyasından çok yıllık otsu bir bitkidir. Kuzey ve Güney yarım kürenin tropikal ve subtropikal alanlarında yaygın olarak yetişmektedir. Bitkinin boyu yetiştiği bölgeye göre 0.5-2 m arasında değişmektedir. Isırgan otu toprak bakımından seçici olmamasına rağmen fosfor, azot, besin maddelerince zengin olan nemli ve humuslu toprağı sever. Soğuk hava koşullarına dayanıklı olan ısırgan otu en iyi gelişimini hafif alkali özellikte olan topraklarda yapar. Isırgan otugiller familyası içinde 48 cins ve 1050 tür listelenmiştir. Genel olarak ısırgan otu bitkisi Mayıs ve Eylül ayları arasında çiçek açar. Bitkinin yaprak koltuklarında oluşan bu çiçekler erkek veya dişidir. Erkek çiçekler beş stamenlidir, dişi çiçekler dört ya da beş taç yaprağın birleştiği karpel bir ovarie sahiptir. Gövdeleri dik, 4 köşemsi, basit veya tabandan itibaren dallanmıştır. Yapraklar saplı, oval şekilli ve dişli kenarlı, üst tarafı koyu yeşil renkli ve parlak olup, üzeri yakıcı tüylerle kaplıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Isırgan otu (*Urtica dioica*) bitkisi

Isırgan otu bitkinin yapraklarının ve gövdesinin taşıdığı içi boş iğne şeklindeki tüyler vardır (Şekil 2). Bu tüyler cilde temas ettiğinde, baş kısmından kırılır ve tüylerin taşıdığı formik asit, serotonin, histamin ve asetilkolin gibi kimyasal maddeler dışarı akar. Bu kimyasal maddelerin cilde temas ettiği yerde alerjik reaksiyon oluşturarak deride kızarıklık, hafif kabarıklık ve kaşıntı yapar.



Şekil 2. Isırgan otunun üzerinde bulunan tüyler

Ülkemizde ısırgan otunun beş türü yetişir. Bunlar; *Urtica dioica*, *Urtica membranacea*, *Urtica urens*, *Urtica pilulifera*, *Urtica haussknechtii*' dir. *Urtica dioica* ve *Urtica haussknechtii* çok yıllık, diğerleri tek yıllık gelişim göstermektedir. *Urtica dioica* ve *Urtica urens* daha yaygın olarak bulunan türlerdir (Şahin, 2021). Isırgan otu başta Karadeniz Bölgesinde olmak üzere her bölgede yetişir. Özellikle tarlalarda, ormanlarda, nehir ve yol kenarlarında doğal olarak kendiliğinden yetişir. Anadolu'da dızlağan, çızlağan, cızgan, dalağan, cınçar, ağdalak, ısırgı gibi

yöresel adlara sahiptir.

Isırgan otu birçok kullanım alanına sahiptir. Bunlardan biride yüksek oranda lif içeriğinden dolayı tekstilde elyaf olarak kullanılmasıdır. Bitki gövdesinden lif elde edilen bast elyaf grubuna girer. Bu elyaf grubun en az bilinen üyesidir. Isırgan otundan elde edilen lifler uzun, hafif ve mukavemeti yüksektir. Tarih boyunca birçok uygarlık tarafından kullanılmıştır. Örneğin ısırgan otunun eski Yunan medeniyetinde ve Roma'da lif üretimi amacıyla kullanıldığı bilinmekte olup, eski Mısır kalıntılarında

ısırgan otundan üretilmiş tekstil ürünlerine rastlanmıştır. Ayrıca Vikinglerin ısırgan otundan elde edilmiş kumaşları yelken bezi yapımında kullandıkları ve bu kumaşın mukavemetinin yüksek ve hidrofilitesinin düşük olmasından dolayı şiddetli fırtınalarda dahi deniz suyuna, yırtılmaya ve darbelere oldukça dayanıklı olduğu rivayet edilmektedir. Ayrıca Birinci ve İkinci Dünya savaşları sırasında ısırgan lifi pamuğun yerini almıştır. (Bredemann,1959; Grafe, 1928) Bu savaşlarda anti bakteriyel ve ağır kesici özelliklerinden Alman askerlerinin kullandığı kıyafetler, çamaşırlar, çantalar ve çadırlar ısırgan lifinden üretilmiştir. İkinci Dünya savaşından sonra sentetik liflerin daha kolay ve ucuz üretilmesi nedeniyle bu life olan ilgi azalmıştır.

Kuru ısırgan otu % 18 protein, % 14.5-17 albüminli madde, % 2.5 yağlı madde ve tohumları % 8-10 civarında sabit yağ içerir. Bitki kimyasal içerik olarak oldukça zengindir. Bitkinin yapraklarında klorofil, karotenoidler, proteinler, karbonhidratlar, yağlar, vitaminler, organik asitler, mineraller bulunmaktadır (Biesiada, 2010, Rutto, 2013). Bitki kökleri ise izolektin, kumarin, steroller, yağ asitleri, polisakkarit içerir. Bitki aynı zamanda vitamin kaynağıdır. C vitamini, B vitamini (B1, B2, B3, B6, B9), A, D, E ve K vitaminlerini içerir (Said, 2021). Kozmetik sektöründe saç besleyici ve saç dökülmesini önleyici özelliğinden dolayı şampuanlarda kullanılır. Ayrıca geniş antioksidan içeriğinden dolayı cilt yenileyici özelliği vardır. Bu nedenle yaşlanmayı önleyici kremlerde kullanılır.

Literatürde en çok kullanılan fitoterapi bitkidir (İnan, 2021). Isırgan otu kökü ve tohumu içerdiği bu kimyasal maddeler ve bunların özelliklerinden dolayı, anemi (Leporatti, 2001), gut (Salo, 2005), ekzama (Khare, 2012), karaciğer iltihaplanması, romatizma (Dhouibi, 2020), prostat kanseri (Mohammadi 2016), tansiyon, diyabet gibi birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır.

Çalışmamızda Isırgan otundan elde ettiğimiz boya maddesi kenevir lifinin boyanmasında kullanılmıştır. Kenevir lifi, bitki gövdesinden elde edilen bir liftir.

Kenevir, kendir, Hint keneviri, esrar otu ve marihuana gibi isimlerle de sıkça anılmakta, tohumları ise Anadolu’da yaygın bir şekilde çedene adıyla bilinen bu tarım ürünü lif, tohum ve narkotik yönleriyle ayrı ayrı ele alınan özel bir bitkidir (Taşlıgil, 2019). Bitkinin ana vatanı Orta Asya’dır. Daha sonra Çin, Anadolu, Mısır ve Avrupa’da ekilmeye başlanmış ve 17. Yüzyılda da Amerika’da ekimi yapılmıştır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde kenevir daha çok Karadeniz bölgesinde ekilmiş ve kenevir lifleri sağlamlığı nedeniyle sicim, ip, urgan yapımında ve kumaş üretiminde kullanılmıştır. Kenevir lifinin de elastikiyeti az, kopma dayanıcı yüksektir. Kenevir lifinin en önemli özelliği, neme karşı dayanıklı olmasıdır.. Ambalaj malzemesi olarak, torba ve çuval üretiminde kullanılır. Çanta, halı, döşeme, ayakkabı ve şapka yapımında dayanıklı ve ideal bir hammaddedir. Kenevir sapından elde edilen selülozdan, kağıt sanayinde yararlanır. Kenevir tarımı, Tarım ve Orman Bakanlığı’nın izin verdiği şehirlerde onay verilen arazilerde ve Bakanlıkça ayda bir denetlenmek suretiyle yapılmaktadır. Yönetmelik çerçevesinde belirlenen hükümlere uymak şartı ve bilimsel araştırma amacıyla ana veya tali bitki olarak kenevir yetiştiriciliğine, belirtilen bölgeler dışında da izin verilebilecektir. Kenevir yetiştiriciliği için başvuruda; çiftçinin daha önce izinsiz kenevir ekme, uyuşturucu imal etme, dağıtma, ticaretini yapma veya kullanma suçu işlemediğine ilişkin taahhütname vermesi gerekir. Yönetmeliğe göre yetiştiricilik izni; lif, tohum, sap ve benzeri amaçlara yönelik başvurularda en fazla bir üretim dönemi, bilimsel araştırmalar için yapılan başvurularda ise proje uygulama süresi dikkate alınarak en fazla üç yıl geçerlidir. Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığı’nın İl veya İlçe müdürlükleri teknik personeline kenevir yetiştiriciliği izni verilen yerler, kenevirin ekiminden hasada kadar en az ayda bir defa kontrol edilir. (Endüstriyel Kenevir Forumu I-II, İstanbul Aydın Üniversitesi).

AMAÇ VE YÖNTEM

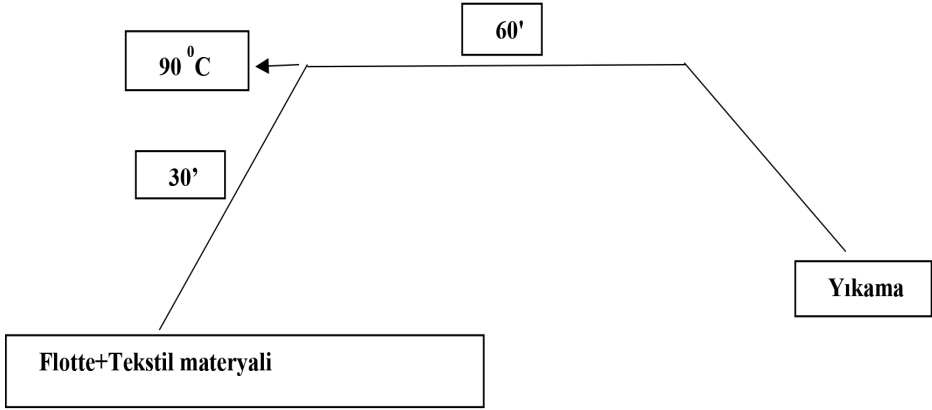
Bu çalışmada Haziran ayında toplanan Isırgan bitkisi su ile ekstrakte edildikten sonra elde edilen doğal bitkisel boyarmadde özelliği taşıyan ısırgan sıvı ekstraktı doğal bitkisel boyarmadde kaynağı olarak kullanılmıştır. Çalışmamızda Isırgandan elde edilen doğal bitkisel boyarmadde ile Kenevir liflerinin boyanması amaçlanmıştır.

İlk önce Kenevir materyali ön işlemlere tabi tutulmuştur. Daha sonra ise Isırgan otundan elde edilen bitkisel boyarmadde ile birlikte boyama yöntemi kullanılarak

çeşitli mordanlarla boyama işlemi yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen boyanmış materyallerin renk değerleri spektrofotometre ile ölçülmüş olup boyanmış örneklerin kalite tespitleri için haslık testleri yapılmıştır.

Kenevir materyali ön işlemlerden geçirilip kurutulduktan sonra 5 gram örnekler halinde hazırlanmıştır. Daha sonra boyama makinesinin tüplerine reçetemize göre hesaplanan miktarda su ve boyarmadde ilave edilerek boyama makinesinin tüplerinden birine bir adet standart (kör) mordansız, diğer tüplere de % 2 oranında $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, $FeSO_4$, $CuSO_4$ mordanları ilave edildikten sonra boyama işlemi için boyama makinesine tüpler yerleştirildi ve aşağıda gösterilen boyama grafiğine göre (Şekil 3) boyama yapıldı. Boyama sonrasında durulama, sabunlama ve tekrar durulama yapılarak boyanan materyal yıkanmıştır. Kurutma işleminden sonra spektrofotometrede CIE $L^*a^*b^*$ yöntemine L^* , a^* , b^* renk değerleri belirlenmiştir. Daha sonra ISO standartlarına göre yıkama (renk değişimi (solma) ve akma (lekeleme)), sürtme (yaş ve kuru) haslık değerleri belirlenmiştir.

Tablolar ve Şekiller



Şekil 3. Boyama Grafiği

Tablo 1. Boyanmış Ürünlerin Renk Değerleri (D65)

Mordan	L*	a*	b*
Mordansız	59,35	4,1	16,01
KAl(SO ₄) ₂ 12 H ₂ O	60,3	4,26	18,22
FeSO ₄	55,48	1,73	11,35
CuSO ₄	63,29	3,22	12,11

Tablo 2. Yıkama ve Sürtme Haslık Değerleri

Mordan	Sürtme Haslığı	Yıkama Haslığı							
		Lekeleme							Renk Solması
		Kuru Sürtme	Yaş Sürtme	Asetat	Pamuk	Naylon	Polyester	Poli Akrilat	Yün
Mordansız	3/4	3/4	3/4	3	3/4	4	4	3/4	3/4
KAl(SO ₄) ₂ 12 H ₂ O	4	3/4	4/5	4	4	4/5	4/5	4	4/5
FeSO ₄	4/5	4	4/5	4	4	4/5	4/5	4	4/5
CuSO ₄	4/5	4	4/5	4	4	4/5	4/5	4	4/5

Çalışmada çıkan verilere bakıldığında (Tablo 2) yıkama ve sürtme haslıklarının sonuçlarının kullanılan mordanlara göre değiştiği görülmektedir. Yaptığımız çalışma şartlarına göre en iyi sonuç FeSO₄ ve CuSO₄ mordanları ile elde edilmiş olup bunları takiben KAl(SO₄)₂ 12 H₂O gelmektedir. Her üç mordan da haslık açısından en iyi sonuçları vermiştir.

KAYNAKÇA

- Kaya Şahin, E., Güneroğlu, N. (2021). “Isırganotu (*Urtica* Spp.) Bitkisinin Kullanım Alanları ve Peyzaj Değeri” *International Social Sciences Studies Journal*, (e-ISSN:2587-1587) Vol:7, Issue:84; pp:2699-2707.
- Bredemann, G. (1959). *Die große Brennessel Urtica dioica L.* Forschung uÜber ihren Anbau zur Fasergewinnung. Akademie-Verlag, Berlin, Germany.
- Grafe, V. (ed.) (1928). *Gesamte mechanische Technologie ±chemische Technologie der Zellulose und die Zellulose*. Grafes Handbuch der organischen Warenkunde. II/2, C.E. Poeschl Verlag, Stuttgart, Germany.
- Biesiada, A., Kurcharska, A., Sokól-Lêtowska, A.; Kus, A. (2010). Effect of the age of plantation and harvest term on chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica Dioica* L.). *Ecol. Chem. Eng.* 17, 1061–1067.
- Rutto L.K., Xu Y., Ramirez E., Brandt M. (2013). Mineral Properties and Dietary Value of Raw and Processed Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Int J Food Sci.* 2013:857120.
- Said, A.A.H., Otmani, I.S.E., Derfoufi, S., Benmoussa, A. (2015). Highlights on nutritional and therapeutic value of stinging nettle (*Urtica Dioica*). *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 7, 8–14.
- İnan H.C., Kuzu Ş.B., Yener H.M. (2021). Investigation of the Use of Traditional and Complementary Medicine in Patients with Head and Neck Cancer, *J Tradit Complem Med.* 4(1):10-6.
- Leporatti M.L, Corradi L. (2001). Ethnopharmacobotanical remarks on the province of Chieti town (Abruzzo, central Italy). *J Ethnopharmacol.* 4(1):17-40.
- Salo P., Hopia A., Ekblom J., Lahtinen R., Laakso P. (2005). Plant Stanol Ester as a Cholesterol Lowering Ingredient of Benecol® Foods. In: Akoh C., Lai O.-M., editors. *Healthful Lipids*. AOCS Press; Urbana, IL, USA, 335–360.
- Khare V., Kushwaha P., Verma S., Gupta A., Srivastava S., Rawat A.K.S. (2012). Pharmacognostic evaluation and antioxidant activity of *Urtica dioica* L. *Chin. Med. UK.* 3:128–135.
- Dhouibi R., Affès H., Ben Salem M., Hammami S., Sahnoun Z., Zeghal K.M., Ksouda K. (2020). Screening of pharmacological uses of *Urtica dioica* and others benefits. *Prog*

Biophys Mol Biol. 150:67-77.

Mohammadi A., Mansoori B., Aghapour M., Baradaran B. (2016). *Urtica dioica* dichloromethane extract induce apoptosis from intrinsic pathway on human prostate cancer cells (PC3) Cell. Mol. Biol. Noisy Gd. Fr. 62:78–83.

Taşlıgil N, Şahin G.(2019). Developments and restoration of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation in Turkish agriculture, 1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book. 456-478.

İstanbul: Endüstriyel Kenevir Forumu I-II, (2018-2019). *İstanbul Aydın Üniversitesi:* 36-38.

3. Bölüm

İTAKONİK ASİT ESASLI NANOLİFLERİN SENTEZİ VE ÖZELLİKLERİ

Demet SEZGİN MANSUROĞLU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa , Kimya Anabilim Dalı,

Organik Kimya Bölümü,

Orcid No: 0000-0003-4750-3628

Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,

Mühendislik Bilimleri Bölümü,

gokhan.cayli@istanbul.edu.tr,

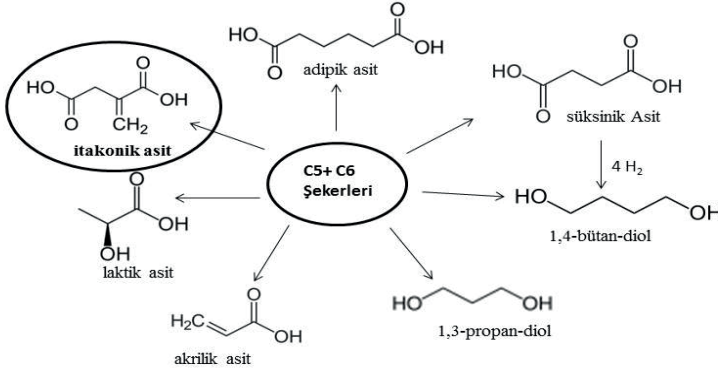
Orcid No: 0000-0002-3395-5642

İTAKONİK ASİT

Genel Özelliği

Biyokütle ve biyokütle kaynaklı atıklar, düşük maliyetli şeker kaynakları sağlama potansiyeline sahiptir ve yenilenemeyen petrokimyasalların en iyi ikamesi olabilir (Telekyve Vodnar, 2019) Lignoselüloz biyokütlesinden elde edilen önemli bileşik sınıflarından biri de organik asitlerdir. Biyo-bazlı organik asitler, farklı biyokütle kaynaklarından elde edilen, sürdürülebilir, uygun maliyetli ve çevre dostu ürünlerdir (Sheldon, 2014). Bu ürünler arasında bulunan itakonik asit (İA) de (Şekil 1) farmasötik ve gıda endüstrisinde çeşitli kullanımları olduğundan ve akrilik, metakrilik, maleik, fumarik asit gibi doymamış asitler için uygun bir ikame sunduğu için önemli bir yenilenebilir kimyasaldır. Bunun yanı sıra İA'nın sentetik reçineler, sentetik elyaflar, plastikler, kauçuklar, yüzey aktif maddeler ve yağ katkı maddelerinde yaygın olarak kullanılması, bu ürüne olan talebin artması-

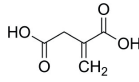
na neden olmuştur. İA sınırlı bir uygulama yelpazesine sahiptir. Üretim maliyetlerini düşürmek, yenilikçi ve katma değerli ürünler geliştirmek için oldukça uygun bir malzemedir. İA'nın polimerlere entegrasyonu ise çok verimlidir.



Şekil 1. Biyokütleden türetilen şekerlerin fermantasyonu ile hammadde kimyasalları (Telekyve Vodnar, 2019).

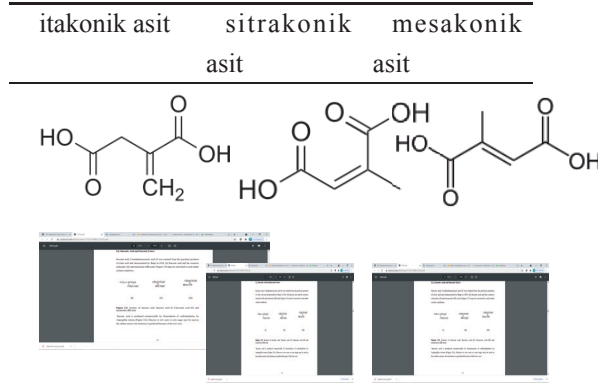
İA, 2-metilenbütandioik asit, propilen dikarboksilik asit veya 2-metilensüksinik asit olarak da bilinen doymamış bir dikarboksilik asittir ($C_5H_6O_4$). Suda ve alkolde yüksek oranda çözünür. Ortalama sıcaklıklarda kararlıdır ve zayıf bir asit olduğundan orta bazik, nötr ve asidik koşullarda da kararlıdır. Yapısında bulunan iki karboksil grubuna ek olarak bir de metilen grubuna sahiptir. Yapısındaki iki karboksil grubu bulunması sebebiyle pK_a değeri 3.84 ve 5.55'dir. Beyaz kristal toz veya kristal görünümündedir ve kokusuzdur (Tablo 1). İA'nın mevcut fonksiyonel gruplarının çeşitliliği, onu farklı organik bileşikler üretmek için verimli bir ara madde yapar. Alkollerle esterleşme, metallerle tuz oluşumu, anhidrit üretimi, polimerizasyon ve ilave reaksiyonlar gibi çok çeşitli reaksiyonlara katılabilir. İA çözeltisindeki çözünürlük, sıcaklığa güçlü bir şekilde bağlıdır, bu nedenle, sentez ve üretimlerde konsantrasyon ve kristalizasyon işlemleri, sıcaklığın ayarlanmasıyla kontrol edilir (Başer, 2005).

Tablo 1. İtakonik asitin bazı özellikleri

Özellikleri	Değer
Kimyasal Formülü	$C_5H_6O_4$
Kimyasal Yapısı	
Görünüş	Beyaz & Kristal
pK _a	3.84 & 5.55
Molekül ağırlığı	130.1 g/mol
20°C Sudaki çözünürlüğü	83.1 g/L
Kaynama Noktası	268°C
Erime Noktası	168°C

ÜRETİMİ

Günümüzde itakonik asit, kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılarak üretilmektedir. Kimyasal yöntemle itakonik asit, 2-metilensüksinik asit (I), sitrik asidin piroliz ürünlerinden izole edilmiş ve 1836'da Baup tarafından karakterize edilmiştir. İtakonik asit (I) ve izomerik sitrakonik (II) ve mesakonik (III) asitler, belirli koşullar altında birbirine dönüştürülebilir (Tablo 2).

Tablo 2. İtakonik asit ve dönüştüğü kimyasal formları

(Başer, 2005). İA üretimi için kimyasal olarak sitrik asidin termolizi mümkün olsa da, fermantasyon yoluyla *Aspergillus terreus* (ipliksi mantar) kullanarak üretilmektedir ve bu üretim geleneksel bir süreç haline gelmiştir (Okabe ve

arkadaşları, 2009). 1945'te Pfizer, endüstriyel ölçekte itakonik asit üreten ilk şirket olmuştur. Ayrıca, biyolojik yöntemle göre kimyasal sentezin ürün seçiciliği nispeten düşüktür. Böylece itakonik asidin sadece %35 mol'ü sitrik asitten dönüştürülebilir. Substratların %41'i daha mesakonik ve sitrakonik aside ve %12 mol'ü aseton ve asetik aside dönüştürülebilir. Piyasada sitrik asit ile itakonik asit arasındaki fiyat farkının çok az olması, ekonomik açıdan kimyasal işleme itakonik üretmeye olan ilgiyi azaltmaktadır (Başer, 2005). İA, kimya endüstrilerinde geniş uygulamalara sahip, umut verici bir biyo-bazlı bir kimyasaldır. Esas olarak akrilik, metakrilik asit yerine ve deterjanlar, temizleyiciler ve biyoaktif bileşikler için kullanılabilir. İA büyük miktarda petrol türevi kimyasalların yerini alma potansiyeli olduğundan oldukça önemli bir kimyasaldır. Petrol bazlı ürünlere nispeten hala ucuz bir seçenektir. Etanol endüstrisinin katma değerli biyo-bazlı yapı taşlarına yavaş geçişi ile, İA yakın gelecekte biyo-bazlı çekiciliği ile pazar kazanma eğilimindedir, Sriariyanun, (2019).

Bu araştırmada İA esaslı biyomonomerlerin elektroğirme tekniği ile yapılan üretimlerinden elde edilen elektrospun nanolifleri ve malzemeye etkileri incelenmiştir.

Wertz ve Schnieders, (2008)' e göre nanofiber teknolojisi, yani tipik olarak 1 mikrondan daha küçük bir çapa sahip çok fiberlerin üretimi, uzun yıllardır bilinmekte ve uygulanmaktadır. Elektrospun karbon nanofiberler, yukarıdan aşağıya bir nano-üretim süreci ile üretilir; düşük maliyetlidirler, sürekli dirler. Ayrıca hizalanması, birleştirilmesi ve uygulamalara dönüştürülmesi kolaydır. Şu anda, nanoliflerin üretimi için en yaygın olarak kullanılan işlem, elektroğirme işlemidir.

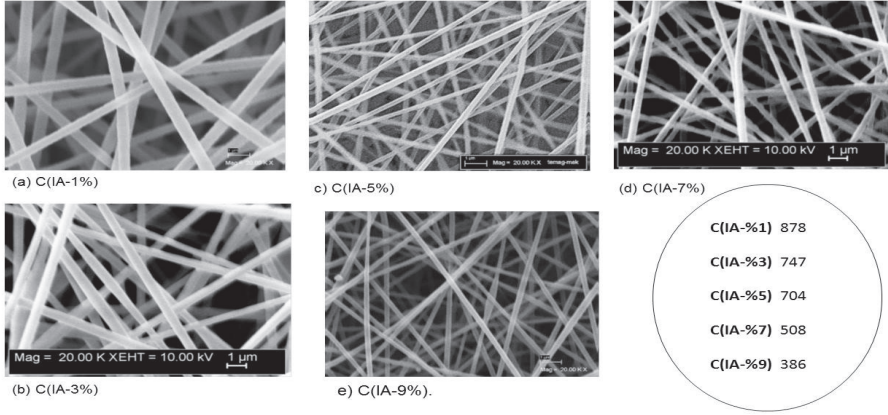
Elektroğirme tekniği, polimer çözeltilerinden veya eriyiklerinden nano/mikro ölçekteki fiberlerin (lif) üretilmesine olanak sağlar. Birbiriyle iç içe geçmiş nanofiber örgülerin elde edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Fiber üretimi, bir şırınga iğnesinden polimer çözeltisi enjekte edilerek elektriksel alana maruz bırakılır. Bu sayede iğne ucunda oluşan Taylor konisinden tek bir jet halinde polimer çözeltisi püskürtülür ve toplayıcı toplanması esasına dayanmaktadır Simsek, (2018). Çözelti, kuvvetli bir elektrik alana maruz kaldığında sıvı çözeltinin molekülleri artı ve eksi yük ile yüklenir ve tıpkı mıknatısın zıt kutupları gibi moleküller birbirini itmeye çalışır. Bu itme kuvveti belirli bir seviyeden sonra sıvı çözeltinin sakız gibi uzayarak incelmeye neden olur. Böylece çözelti kesintisiz iplikli fiberler halinde birikir.

Elektrospun nanoliflerin birçok potansiyel uygulamaları bulunmaktadır. Bunlar:

1. Biyomedikal uygulamalar; doku mühendisliği iskeleleri, yara bakımı, süper emici ortam, ilaç taşıyıcı, vb.
2. Elektronik uygulamalar; elektronik paketleme, sensörler, giyilebilir elektronikler, aktüatörler, yakıt hücreleri, vb.
3. Endüstriyel uygulamalar; filtrasyon, yapısal güçlendirme, kimyasal/biyo-koruma, vb., Wertz ve Schnieders, (2008).

İTAKONİK ASİT FİBERLERİ

Şen ve Saraç (2014), poliakrilonitrili (PAN), farklı oranlardaki İA komonomeri ile modifiye etmişlerdir. Akrlonitril (AN) bazlı kopolimerler, serbest radikal polimerizasyonu ile üretilmiştir. Sentezlenen AN-İA kopolimerleri ilk kez elektrospinning tekniği ile nanoliflerin üretimi gerçekleştirilmiştir. İA içeriğinin arttırılmasıyla nanoliflerin homojenliğinin iyileştirildiğini göstermişlerdir. En ince fiberi %9 içerikli AN-İA kopolimerinden elde edilmiştir (Şekil 2). DSC ve TGA termal analiz metotları ile kopolimerlerin stabilizasyonu sırasında gerçekleşen halka kapanma, oksidasyon, dehidrojenasyon ve dekompozisyon gibi reaksiyonların sıcaklıkları belirlenmiştir. AN-İA kopolimerlerinde halka kapanma reaksiyonlarının başlangıç sıcaklığı, İA artışına bağlı olarak 222 °C'den 195 °C'ye kadar düşmüştür. İA miktarı arttıkça, kopolimerlerde halka kapanma reaksiyonları başladıktan sonra dekompozisyonun daha geç görüldüğü tespit edilmiştir. Spektroskopik yöntemler ile belirlenen İA içeriğindeki artışın, karbon fiber üretiminde önemli bir aşama olan stabilizasyonu, termal özelliklerini geliştirerek, ciddi şekilde etkilediği görülmüştür. AN-İA kopolimerlerinden hazırlanan filmlerin camısı geçiş sıcaklık (T_g) ölçümleri yapılmış ve PAN'ın yapısına İA girdikçe, T_g değerlerin arttığı görülmüştür.



Şekil 2. Elde edilen fiberlerin taramalı elektron mikroskop görüntüleri

Başkan ve arkadaşları (2021) poliakrilonitril (PAN) ve poli(akrilonitril-ko-i-takonik asit) (P(AN-co-İA)) kullanılarak gümüş tuzundan (AgNO_3) gümüş nanoparçacıkları elde etmişlerdir. Polimerlerin nanolifleri PAN/Ag ve P(AN-co-İA)/Ag elektro-eğirme tekniğiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoliflerin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Candida albicans*'a antimikrobiyal aktiviteleri detaylı olarak incelenmişlerdir. AgNO_3 'ün indirgenmesi ve gümüş nanoparçacıkların oluşumunda P(AN-co-İA)'nın PAN'dan çok daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen nanoliflerin çapları, PAN nanolifleri için 120nm'den 520nm'ye ve P(AN-co-İA) nanolifleri için 132 nm'den 510 nm'ye gümüş nanoparçacık eklenmesiyle arttığı belirtilmiştir. Gümüş nanopartiküller ve ayrıca itakonik asit, keskin ekzotermik pikler üreterek PAN'ın siklizasyon sıcaklığını düşürmeye katkıda bulunmuştur.

Heyi Ge ve arkadaşları (2007), poli(akrilonitril-itakonik asit) [P(AN-İA)] kopolimerinden, farklı oranlardaki dimetil sülfoksit (DMSO) çözücüsü ve elektro-eğirme yöntemiyle, fiber oluşumunu sağlamışlardır. Akrilonitril (AN) kopolimer fiberleri, yüksek performanslı karbon lif üretiminde ve stabilize liflerin oluşumunda oldukça etkili olduğunu belirlemişlerdir. Bu nedenle, akrilonitril kopolimer liflerinin yapısı ve oluşumu büyük önem taşıdığı vurgulanmıştır. Fiberin kesit dokuları P(AN-İA) öncü fiberinin mikromorfolojisi için geçirimli elektron mikroskopu (TEM) kullanılmıştır. Burada belirgin bir kabuk-çekirdek yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Kabuktan çekirdeğe, her katmanın kalınlığı sırasıyla yaklaşık 0,2-

0,3 µm, 2–3 µm, 6–7 µm olarak belirlemişlerdir.

Liu ve arkadaşları (2015), üç tip PAN bazlı nanofiberleri (homo-PAN, ikili-PAN ve üçlü-PAN) elektro-eğirme tekniği ve ardından eğirme sonrası sıcak suda germe işlemi ile hazırlamışlardır. İA'lı ikili-PAN nanoliflerinde, İA birimlerinin ikili-PAN'a dahil edilmesinin, nitril gruplarının siklizasyon mekanizmasını serbest radikal mekanizmasından iyon reaksiyonu mekanizmasına değiştirdiği belirlenmiştir. Böylece aktivasyon enerjisinin ve başlangıç siklizasyon sıcaklığının azaldığı ve termodinamik özelliklerinin homo-PAN nanoliflerine göre iyileştiği belirlenmiştir. Üçlü-PAN nanolifleri ile karşılaştırıldığında, ikili-PAN nanolifleri daha yüksek makromoleküler düzenlilik, kristal ve makro molekül yönelimleri ve boyutsal kararlılık sergilediği belirlenmiştir. İA'nın PAN kopolimerlerine dahil edilmesiyle, fiber çaplarında da incelmeye olmuştur. İA birimlerindeki karboksil grupları, elektro-eğirme filamentlerinde aşırı yük yoğunluğunun artmasına yol açtığından dolayı fiber çaplarının incelendiği sonucuna varmışlardır.

KAYNAKÇA

- Başer, G. (2005). İtakonik Asit Ve Türevlerinin Poliolefinler Üzerine Aşı Kopolimerizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Baskan, H., Esentürk, I., Dösler, S., Sarac, A. S., & Karakas, H. (2021). Electrospun nanofibers of poly (acrylonitrile-co-itaconic acid)/silver and polyacrylonitrile/silver: In situ preparation, characterization, and antimicrobial activity. *Journal of Industrial Textiles*, 50(10), 1594-1624.
- Ge, H., Liu, H., Chen, J., & Wang, C. (2008). The skin-core structure of poly (acrylonitrile-itaconic acid) precursor fibers in we-spinning. *Journal of applied polymer science*, 108(2), 947-952.
- Liu, J., He, L., Ma, S., Liang, J., Zhao, Y., & Fong, H. (2015). Effects of chemical composition and post-spinning stretching process on the morphological, structural, and thermo-chemical properties of electrospun polyacrylonitrile copolymer precursor nanofibers. *Polymer*, 61, 20-28.

- Okabe, M., Lies, D., Kanamasa, S., & Park, E. Y. (2009). Biotechnological production of itaconic acid and its biosynthesis in *Aspergillus terreus*. *Applied microbiology and biotechnology*, 84(4), 597-606.
- Sen, S., & Sarac, A. S. (2014). Electrospun nanofibers of acrylonitrile and itaconic acid copolymers and their stabilization. *Journal: Journal of Advances in Chemistry*, 6(2).
- Sheldon, R. A. (2014). Green and sustainable manufacture of chemicals from biomass: state of the art. *Green Chemistry*, 16(3), 950-963.
- Teleky, B. E., Vodnar, D. C. (2019). Biomass-derived production of itaconic acid as a building block in specialty polymers. *Polymers*, 11(6), 1035
- Simsek, M. (2018). Fabrication of Two- and Three- Dimensional Fibrous Mats by Electrospinning Method. *Natural & Applied Sciences Journal*, 1 ,31-38.
- Sriariyanun, M., Heitz, J. H., Yasurin, P., Asavasanti, S., & Tantayotai, P. (2019). Itaconic acid: A promising and sustainable platform chemical. *Applied Science and Engineering Progress*, 12(2), 75-82.
- Wertz, J., & Schnieders, I. (2008). Advantages of a new and advanced nanofiber coating technology for filtration media compared to the electrospinning process. Hollingsworth & Vose Company

4. Bölüm

**TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE UYGULANAN
SOĞUTMA-YAĞLAMA YÖNTEMLERİNDEKİ
YENİ YAKLAŞIMLARIN ÖSTENİTİK PASLANMAZ
ÇELİKLERİN KESME PERFORMANSINA ETKİSİ**

Emin ÖZDEMİR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendisli Fakültesi

emin.ozdemir@iuc.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-6517-9270

Abdulkadir GÜLLÜ

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

agullu@gazi.edu.tr

Orcid No:0000-0003-1088-4105

GİRİŞ

Bileşimlerinde yüksek miktarda krom ve nikel bulduran paslanmaz çelikler demir esaslı alaşımlardır (Duman ve Kaynak, 2016; Stephenson ve Agapiou, 2016). Korozyona ve paslanmaya karşı direnç gösteren paslanmaz çeliklerin en önemli alaşım elementi, kimyasal bileşimlerinde ağırlıkça en az %11 oranında bulunması gereken kromdur. Ayrıca alaşıma ilave edilen nikel ve molibden korozyon direncini yükseltir. Mikroyapılarındaki baskın faz durumuna göre; martenzitik, ferritik, östenitik olmak üzere üç gruba ayrılan paslanmaz çeliklere (Callister and Rethwisch, 2014), çökeltme sertleşmesi (PH) ile çift fazlı (dubleks) paslanmaz çeliklerin de ilavesi ile beş grupta toplanmışlardır.

Östenitik grupta bulunan paslanmaz çelikler, hemen hemen %70 kullanım oranı ile en fazla tercih edilen malzeme grubudur (Duman ve Kaynak, 2016; Peckner ve Bernstein 1977). Östenitik paslanmaz çelikler, bileşimlerindeki %15' in üzerinde yüksek krom (Cr) oranı vasıtası ile yüzeyinde meydana gelen kararlı bir oksit tabakası sayesinde yüksek korozyon dayanımına sahiptirler. Bu alaşımlara östenitik denmesinin nedeni bileşimlerinde bulunan %8' in üzerindeki nikelin

(Ni) östenit fazını (yüzey merkezli kübik, γ demiri türü) kararlı duruma getirmesi sonucu yapının oda sıcaklığında dahi östenitik olmasındandır. Yapısında bulunan nikel, demir-krom-karbon alaşımlardan ferrit fazını neredeyse yok ederken östenit fazı alanının genişlemesini sağlar (Duman ve Kaynak, 2016; Maruyama vd., 2011). Temel alaşım elementi krom ve nikel olan östenitik çeliklerin (200 ve 300 serisi paslanmaz çelikler) diğer paslanmaz çelik kalitelerine göre korozyon dayanımı açısından önemli üstünlüğü vardır (Çakır, 2006; Altan Özbek vd., 2017). Geniş bir sıcaklık değer aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve dayanım özellikleri ile ön plana çıkan bu alaşımlar, 540 °C'ye kadarki sıcaklık değerlerinde oksidasyona karşı dirençlidirler. Bu grupta bulunan başlıca malzemeler; 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 kalite paslanmaz çeliklerdir (Altan Özbek vd., 2017; Odabaş, 2004).

Nispeten daha sert bir kesici takım ile iş parçası malzemesinden talaş kaldırma işlemi olan talaşlı imalat sürecinde, değişik tipteki metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışları, metallerin işlenebilirliği veya kesme performansı olarak tanımlanabilir (Özdemir, 2020). Metalik malzemelerin ve özellikle çelik alaşımların arzu edilen boyutlarına getirilmesinde yararlanılan imalat işlemlerinden birisinin de talaşlı imalat olduğu bildirilmiştir (Habak ve Lebrun, 2011; Maranhão ve Davim, 2010; M'Saoubi vd., 1999; Outeiro vd., 2006; Outeiro vd., 2008). Talaşlı imalat sürecinde kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen ısı, kesici takım ömrünü ve talaş kaldırma mekaniğini önemli derecede etkiler. Talaş kaldırma sırasında harcanan enerjinin hemen hemen hepsi kesme bölgesinde ısı enerjisine dönüşür. Bu durum kesme kuvvetleri, kesici takım ömrü, talaş formu ve işlenen yüzey kalitesi açısından önem arz eder (Özçatalbaş ve Baş 2006).

Östenitik paslanmaz çelikler düşük termal iletkenlik, yüksek dayanım, süneklik ve şekil değişimi ile yüksek şekil değişimi hızlarına ve pekleşmeye duyarlılıklarının yüksek olmasından dolayı zor işlenen malzemeler grubunda yer alırlar. Özellikle düşük termal iletkenliklerinden dolayı kesme bölgesinde ısı konsantrasyonu meydana gelir. Sonuç olarak bu tip çelikleri işlemek; yüksek kalıntı gerilmeleri, yüksek kesme bölgesi sıcaklığı, yüksek kesme kuvvetleri, hızlı kesici takım aşınması, kesici takımda yığıntı talaş (BUE) oluşumu, talaş kırma zorluklarının sebep olduğu işlenen yüzey kalitesinin kötüleşmesi, yorulma ömrünün azalması, korozyon direncinin düşmesi gibi olumsuzluklara neden olur (Outeiro vd., 2006; Maranhão ve Davim, 2010; M'Saoubi vd., 1999; Trent, 1989; Çakır, 2006; Kosa ve Ney 1989).

Metalik malzemelerin talaşlı imalat işlemlerinde kesme sıvılarının verimliliği yükselttiği bilinen bir gerçektir. Kesme sıvıları; soğutma, yağlama, talaş yapışmasını önleme, talaş kesme bölgesinden uzaklaştırma işlevlerinin yanında kesme bölgesi sıcaklığını, kesme kuvvetlerini ve sürtünmeyi düşürerek kesici takım ömründe ve işlenen yüzey kalitesinde yükselme sağlar (Çetin ve Özçelik, 2011). Talaşlı imalat işleminde, Northcott tarafından 1868 yılında yapılan ilk kesme sıvısı uygulamasında (Society of Manufacturing Engineers, 1992) ve akabinde Taylor tarafından yapılan suyun kesme sıvı olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada (Viktor, 2006), kesme sıvılarının verimliliği yükselttiği bildirilmiştir (Çetin vd., 2010).

Günümüz talaşlı imalat işlemlerinde eğilim kuru kesmeden yana olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çelikler gibi işlenmesi güç olan malzemelerin kuru kesme şartlarında talaşlı imalatının, kötü yüzey kalitesi ve kısa takım ömrüne sebep olması yüzünden kesme sıvılarının kullanılması tercih sebebidir. Hızlı takım aşınmasına sebep olan ve işlenmesi zor olan malzemelerin boyutsal doğruluğu öncelikle takım aşınmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kesici takımın talaş yüzeyindeki aşınmanın kritik bir noktayı aşması durumunda talaş kırılabilirliği de işlenebilirlik açısından sorun teşkil edebilir. Abrasif takım aşınmasından kaynaklı başta yüzey kalitesinin kötüleşmesi, yüksek kesme sıcaklığı gibi sonuçlar nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde çeşitli soğutma ve yağlama teknikleri işlenebilirlik performansının geliştirilmesi açısından uygulanmıştır (Özdemir, 2020).

Özellikle talaşlı imalat sürecinde işlenmesi zor malzemelerin kesme performansını yükseltmenin yanında, yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme bölgesi sıcaklığı, hızlı kesici takım aşınması ve düşük talaş kırılabilirliği problemlerini azaltmak amacı ile kesme sıvısı ile konvansiyonel soğutma, minimum miktarda yağlama (MQL), kriyojenik soğutma ve yüksek basınçlı soğutma (HPC) gibi farklı soğutma ve yağlama teknikleri araştırmacılar ve sanayiciler tarafından tercih edilmektedir (Debnath vd., 2014; Duman ve Kaynak, 2016).

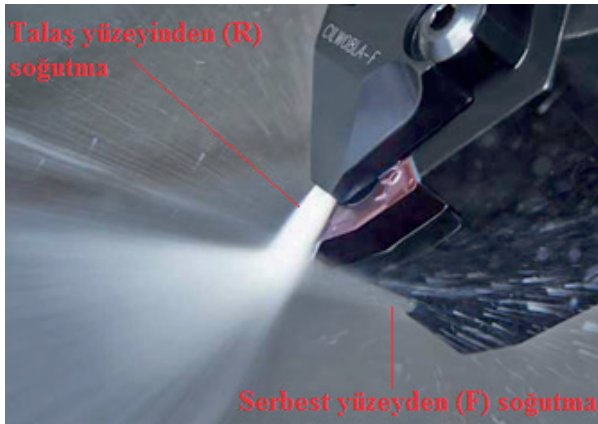
Talaşlı imalat sektöründe kullanılan kesme sıvıları; mineral, sentetik-yarı sentetik ve bitkisel esaslı olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Talaşlı imalatta kullanılan mineral yağlar rafine petrolden elde edilirken, sentetik ve yarı sentetik yağlar laboratuvar koşullarında kimyasal süreçler ile elde edilir. Ekolojik döngüye, hava, toprak ve su yolu ile karışan madeni yağ bazlı kesme sıvıları içerdikleri hidrokarbonlardan dolayı doğadaki canlı hayat için tehlike arz etmektedirler (Birova vd., 1998; Çetin vd., 2010; Çetin ve Özçelik, 2011). Kesme bölgesine basınçlı bir se-

kilde fişkırtılan kesme sıvıları, özellikle kesme bölgesinde oluşan ısısından dolayı buharlaşarak mikro partiküllere dönüşür. Çevreye yayılan kesme sıvısı zerrelere, çalışanlarda ve özellikle makine operatörlerinde ciddi akciğer ve solunum yolları hastalıkları ile dermatolojik ve kalıtsal sorunlara neden olmaktadır (Bennet, 1983; Çetin vd., 2010; Çetin ve Özçelik, 2011).

KONVANSİYONEL SOĞUTMA (KESME SIVISI)

Talaşlı imalat sektöründe, mineral, sentetik ve yarı sentetik kesme sıvıları kullanılmaktadır. Talaşlı imalatta, yüksek kesme sıcaklıklarının takım ömrü ve parça kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için kesme sıvısı kullanılır. Kesme sıvısının talaşlı imalattaki ana rolü, soğutma ve yağlama fonksiyonlarının yanı sıra talaşların taşınması, kesici takım aşınmasını önleme, korozyona karşı koruma, güç azaltma, takım ömrünü uzatma, iş parçası kalitesini artırma, verimliliği yükseltme ve belli bir talaş tipinin oluşturulmasıdır (Akben ve Erten, 2009; Byers, 2006).

Kesme sıvısı, takım ile talaş ara yüzüne (kesici takım talaş yüzeyinden) veya doğrudan iş parçasına (kesici takım serbest yüzeyinden) olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır (Şekil 1). Kesici takımın talaş yüzeyinden uygulanan soğutma, takım-talaş ara yüzünde film tabakası oluşturarak sürtünmenin ve dolayısı ile takım aşınmasının azalmasını sağlar. Ayrıca sıcaklığını düşürerek gevrekleşen talaşın kırılabilme kabiliyeti artar (Hong vd., 2001). Kesici ucun serbest yüzeyinden uygulanan kesme sıvısı ise işlenen yüzeyin kalitesini geliştirir.



Şekil 1. Kesici takımdan soğutma sıvısı uygulaması (Seco, 2015)

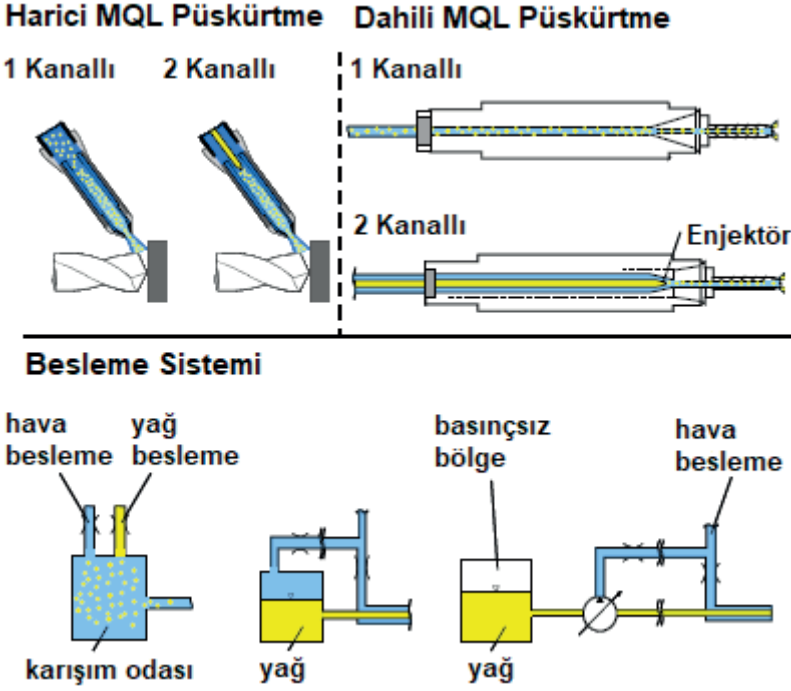
Kesme sıvıları; soğutma, yağlama ve kesme bölgesinden talaşı uzaklaştırma işlevlerinden dolayı talaşlı imalat performansının artmasını sağlarlar. Kesme sıvılarının yağlama işlevinin yanında kesici takım ile iş parçası ve kesici takım ile talaş arasındaki sürtünmenin azalmasını sağlar. Ayrıca takım ile talaş arasındaki kaynak benzeri malzeme yapışmasını önleyerek kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlar. Talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırarak, iş parçası yüzeyine ve kesici takıma zarar verebilecek talaş dolaşmalarını ve yeniden kesmeleri azaltır (Hong ve Broome, 2000; Groover, 2010). Ancak kesme sıvıları, çalışan sağlığı, depolama ve elden çıkarma masraflarından dolayı maliyetlerin arttırmasına ve aynı zamanda sağlık ve çevre açısından ciddi tehlike yaratır (Raj vd., 2016; Kaçal, 2017). Bu problemler nedeniyle, kesme sıvısı kullanımını azaltmak hatta önlemek için bazı alternatif yöntemler araştırılmıştır (Kaçal, 2017).

Talaşlı imalat işleminde kullanılan soğutma sıvılarının veya kesme yağlarının harcanan miktar kontrolü, tabiata ve insan sağlığına olan etkisinin yanında toplam üretim maliyeti açısından da önemlidir. Ayrıca konvansiyonel kesme sıvılarının şirketlere ve çalışanlarına; pahalı çevresel ve sağlık yükümlülükleri getirdiği açıktır. Bu yüzden sağlığa zararlı yan etkileri olmayan, sıvı atık oluşturmayacak tekniklerin yanında, yağ bazlı soğutuculara alternatif olacak karlı ve çevre dostu soğutma teknikleri araştırılmaktadır (Hong ve Broome, 2000).

MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MQL)

Daha az zararlı kesme sıvılarının kullanımı ve konvansiyonel soğutmayı eleme etmek için yapılan araştırmalar, birçok araştırmacıyı minimum miktarda yağlama (MQL) gibi kuruya yakın işleme süreçleri üzerinde çalışmaya teşvik etmiştir. Ford Motor Company'nin MQL'nin verimliliği ile ilgili raporunun da belirttiği gibi, MQL ile artan takım ömrü, su ile karıştırılarak hazırlanan kesme sıvılarının eliminasyonu, bakım maliyetinde azalma ve daha iyi cilt sağlığı sayesinde süreç maliyetlerinde %13'lük bir azalma sağlanmıştır (Bijanad, 2013). Ayrıca, Chalmers'ın (1999) raporlarında, ABD'de her yıl 100 milyon galondan fazla metal işleme sıvısı kullanılmakta (Boubekri ve Shaikh, 2012) ve 1,2 milyon çalışan ciddi sağlık sorunlarına ve ekonomik zarara sebep olabilecek bu sıvılara maruz kalmaktadır (U.S Department of H.H.S., 1998). Ayrıca konvansiyonel kesme sıvısı ile işleme sırasında oluşan talaşların geri dönüşümden önce kurutulması gerekir ve bu da ek maliyetlere neden olur. Diğer yandan MQL, daha kolay

bakım, geri dönüşüm, temizlik ve atık organizasyonu ile neredeyse kuru talaşlar üreterek imalat maliyetini düşürür. Ayrıca MQL işlemi sırasında soğutma, yağlama ve talaş kaldırma temel işlevleri gerçekleşir (Bijanзад, 2013).



Şekil 2. MQL Besleme Sistemi (Weinert, 2004)

Minimum miktarda yağlama tekniği, adından da anlaşılacağı üzere, çok küçük yağ damlacıklarının hava ile birlikte kesme bölgesine püskürtülerek daha az soğutma sıvısının kullanıldığı kuruya yakın bir yağlama sistemidir. MQL sistemi dahili ve harici olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır (Şekil 2). Dahili MQL sistemi için, takım tezgahının ve kesici takımın, sistemin entegrasyonuna elverişli olması gerekir. Dahili sistemde MQL ünitesi tarafından hazırlanıp depolanan hava-yağ karışımının doğrudan iş milinin içinden veya kesici takımların bağlandığı taret ünitesi vasıtası ile takım içinden uygulanır. Harici sistem ise, MQL ünitesi tarafından hazırlanan ve borular vasıtası ile kesme bölgesine iletilen hava-yağ karışımının sabit nozul ile dışarıdan uygulanmasıdır (İlhan, 2014). MQL sistemleri tercih edilen nozul tipinden dolayı tek kanallı ve çift kanallı olarak ikiye ayrılır. Tek kanallı sistemlerde, hava-yağ karışımı nozula iletilmeden önce dışarıda bir tankta hazırlanıp borular vasıtası ile nozula iletilerek kesme bölgesine püs-

kürtülürken, çift kanallı sistemlerde ise hava ve yağ iki farklı kanal-yol ile nozul içine veya kesici takım içine iletdikten sonra nozul içinde karıştırılarak kesme bölgesine püskürtülmektedir (Suzuki, 2020; Yıldırım vd., 2015).

MQL yönteminde, hava içinde dağılan yağ zerreciklerinin, kesici takım ile iş parçası arasındaki yüzeyde ince bir yağ filmi oluşarak sürtünme ve ısınma minimum seviyelere indirgenir. MQL; özellikle talaşlı imalat işlemlerinde oluşan hızlı kesici takım aşınması, yüksek kesme bölgesi sıcaklığı ve düşük işlenen yüzey kalitesi gibi olumsuzlukları minimize etmenin yanında çevre dostu bir talaşlı imalat işlemi amacı için kullanılır (Priarone vd., 2015; Uysal vd., 2015; Kaçal 2017). Yapılan araştırmalarda kesici takım-talaş ara yüzünün ve talaş sıcaklığının düşürülmesi için kesme bölgesine uygulanan püskürterek soğutma metodunun ısı taşınım kapasitesinin, kesme sıvısının doğrudan kesme bölgesine iletiği konvansiyonel soğutma metodundan daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Havanın yanında az miktarda yağın yüksek basınçlarda takım-talaş ara yüzüne püskürtülmesi sonucu talaş kaldırmada işleminde önemli avantajlar elde edilmiştir (Özçatalbaş ve Baş, 2006; Nguyen ve Zhang, 2003).

Yüksek sıcaklıklarda avantajını kaybettiği bilinen MQL yönteminin, paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik performansı çalışmalarında çok az kullanıldığı görülmüştür. Diğer yandan, soğutma ve yağlama özelliklerini geliştirmek için MQL metodunda kullanılan sıvılara katılan çeşitli nano tozların belirli şartlarda avantajlar sağladığı belirtilmiştir. Uysal ve arkadaşları (Uysal vd., 2015), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezeleme operasyonu sonucu meydana gelen kesici takım aşınmasına MQL yönteminin etkisi incelenmiştir. Bitkisel esaslı bir ticari kesme sıvısı ile ağırlıkça %1 oranında nano grafen katkılı bitkisel esaslı ticari kesme sıvısı kullanılarak nano akışkan MQL (Minimum Miktarla Yağlama) yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca MQL debisinin kesici takım aşınmasına etkisi incelenmiştir. Deneyler, bitkisel esaslı saf kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarında da tekrarlanmıştır. Kesici takım yan yüzeyinde oluşan maksimum aşınma kuru kesme şartlarında meydana gelirken, MQL metodunda aşınmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Kuru işleme operasyonunda belirli bir süre sonra (6,7 dakika) takımın ucunda kırılma gözlemlenirken, saf ve nano grafen katkılı bitkisel esaslı kesme sıvılarının kullanıldığı MQL ile işlemede ise kesme bölgesine püskürtülen basınçlı hava-yağ karışımının, soğutma, yağlama ve talaş kesme bölgesinden uzaklaştırma etkilerinden dolayı herhangi bir kırılma ile karşılaşılması. En düşük yan yüzey aşınması nano grafen katkılı MQL metodunda elde edilirken, MQL debisinin yükseltilmesi ile daha az kesici takım aşınması gözlemlendiği bildirilmiştir. Bitkisel

esası saf kesme sıvısının kullanıldığı MQL yönteminde, sıcaklık artışı ile sünek özellik sergileyen östenitik paslanmaz çelik malzemeden kaldırılan talaşın kesici takımın talaş yüzeyine yapışma eğilimi ve işlem sırasında yapışan talaşın kopması sonucu takımın talaş yüzeyinde oluşabilecek krater aşınmasına rastlanmadığı belirtilmiştir.

Talaşlı imalatta kesme sıvılarının yararlarının yanında sağlık ve çevresel açıdan tehlikeleri de iyi bilinmektedir. Ciddi çevresel düzenlemeler imalatçıların kuru kesmeye geçmelerini zorlamaktadır, ancak kuru kesmenin paslanmaz çelik ve Inconel gibi yapışkan malzemelere uygulanabilmesi söz konusu değildir. Bu nedenle, minimum miktarda yağlama (MQL) tekniğinin kullanılması, alternatif bir çözüm ve yeşil işleme yolunda bir adım olarak kabul edilebilir. Dureja ve arkadaşları (Dureja vd., 2016), kaplamalı karbür kesici takım ile AIS202 paslanmaz çelik malzemenin tornalama operasyonunda MQL tekniğinin potansiyelini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kesici takımın, farklı MQL koşulları (50, 100, 150 mL/h) altındaki yan yüzey aşınması ve işlenen yüzey pürüzlülüğü performansı konvansiyonel soğutma ve kuru tornalama koşulları ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analize göre, yan yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin kesme hızı ve ardından MQL olduğu belirtilmiştir. Yan yüzey aşınması açısından optimum kesme parametreleri kombinasyonu; kesme hızı (58 m/min), ilerleme oranı (0,06 mm/rev) ve MQL akış hızı (mL/h) şeklinde iken yüzey pürüzlülüğü açısından optimum parametreler; kesme hızı (23 m/min), ilerleme oranı (0,07 mm/rev) ve MQL akış hızı (150 mL/h) şeklinde açıklanmıştır. Sonuç olarak, ıslak ve kuru şartlara nazaran MQL koşulları altında yapılan tornalama operasyonlarında, yan yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından üstün sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun MQL tekniğinin literatürde daha önce belirtildiği şekilde ıslak ve kuru sisteme kıyasla tornalamadaki yararını doğruladığı ve MQL tekniğinin yeşil işleme yolunda bir adım olduğu raporlanmıştır.

Çelik ve Kıvak (Çelik ve Kıvak, 2016), kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanarak 17-4 PH paslanmaz çelik malzemenin tornalama operasyonunda MQL tekniği uygulayarak, farklı kesme yağlarının ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleerde, farklı kesme hızı (160, 240, 320 m/min), kesme yağı (mineral, sentetik ve bitkisel) ve debi değerleri (30, 60, 90 mL/h) kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli kontrol parametresinin kesme sıvısı olduğu tespit edilmiştir. Artan debiyle kesme bölgesine tatbik edilen kesme sıvısı miktarının artarak, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltması sonucu yüzey pürüzlülük değerlerinin

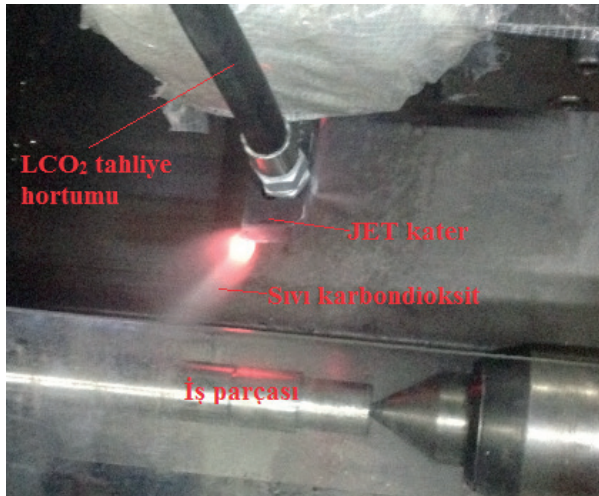
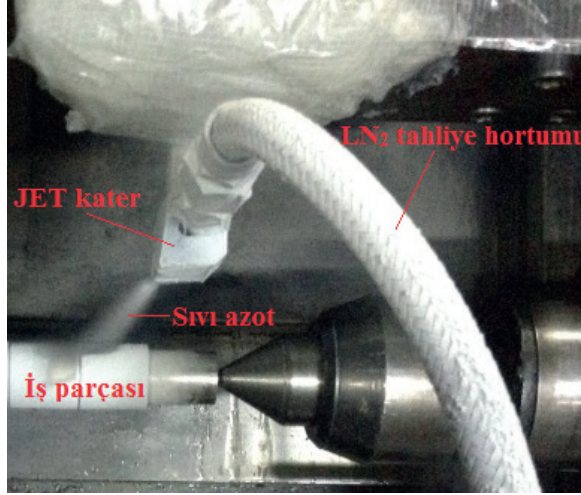
azaldığı düşünülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesi açısından en iyi performansı sırasıyla bitkisel esaslı, mineral ve sentetik kesme sıvıları göstermiştir. Bu durum bitkisel esaslı kesme sıvısının; diğerlerinden yoğunluğunun daha yüksek, kinematik vizkozitesinin daha düşük olması sonucu iyi pulvarize olması ve takım-talaş ara yüzünde daha iyi bir film tabakası oluşturması ile açıklanmıştır. Ayrıca kesme hızındaki artışın kesme bölgesi sıcaklığını yükselterek malzemenin akma mukavemetini ve takım-talaş ara yüzündeki sürtünmeyi düşürmesinin yüzey pürüzlülüğünün azalmasında etkili olduğu bildirilmiştir.

Elmunafi ve arkadaşları (Elmunafi vd., 2015), sertleştirilmiş (47–48 HRC) AISI 420 paslanmaz çeliğin, kesme sıvısı olarak 50 mL/h akış hızında hintyağının kullanıldığı MQL tekniği ile işlenmesinde silici geometri kaplamalı karbür kesici takımların performansını değerlendirmişlerdir. Performans değerlendirmesi farklı kesme hızlarında (100, 135, 170 m/min) ve ilerleme değerlerinde (0,16; 0,2; 0,24 mm/rev) yapılmış olup sonuçlar kuru kesme ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, tormalama işlemi sırasında az miktarda (50 mL/h) yağlayıcı kullanılmasının, kesici takıma yüksek kesme hızları ve ilerleme aralığında iyi performans gösterme kabiliyeti sağladığını göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinde az da olsa bir iyileşme sağlanmıştır. Sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin 170 m/min kesme hızı ve 0,24 mm/rev ilerleme oranına kadar kaplamalı karbür kesici takımlar ile tormalama operasyonuna tabi tutulması işleminde MQL tekniğinin iyi bir çözüm olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca kesme hızı ve ilerlemenin bir fonksiyonu olarak seçilen kesme parametreleri aralığında takım ömrü için ampirik/deneysel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen takım ömrü modelinin, belirlenen kesme hızı ve ilerleme aralığında iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Takım ömrünün kesme hızı ve ilerleme ile ters orantılı olduğu, kesme hızının etkisinin ilerlemeden daha önemli olduğu tespit edilmiştir.

KRİYOJENİK SOĞUTMA

Yağ bazlı soğutuculara alternatif olacak karlı ve çevre dostu soğutucular arzu edildiğinden dolayı (Hong ve Broome, 2000) tercih edilen kriyojenik soğutma tekniği; kesme bölgesi sıcaklığını çok düşük değerlere düşürerek, işlenebilirlik performansını yükseltmek için kullanılan bir metottur (Duman ve Kaynak, 2016). Kesici takım ömrünü uzatmak amacı ile ilk kriyojenik soğutma uygulamalarında soğutma sıvısı olarak karbondioksit (CO₂) gazı kullanılırken, karbondioksitin de-

polanmasında hacmi büyük tankların gerekliliği ve soğutucu kontrolünün sorunlu olması gibi nedenlerden dolayı azot gazı (N_2) kullanımı artmıştır (Özçatalbaş ve Baş, 2006; Çakır ve Kılıçkap, 2001). Talaş kaldırma işleminde kriyojenik soğutucu olarak genelde sıvı azot (LN_2) tercih edilirken, son yapılan araştırmalarda sıvı karbondioksitte (LCO_2) kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 3). Sıvı karbon dioksit 57 bar basınçtaki tanklarda $-78,5\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta depolanırken, sıvı azot izole tanklarda $-196\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta depolanmaktadır (Duman ve Kaynak, 2016; Jawahir vd., 2016; Busch vd., 2016; Blau vd., 2015).

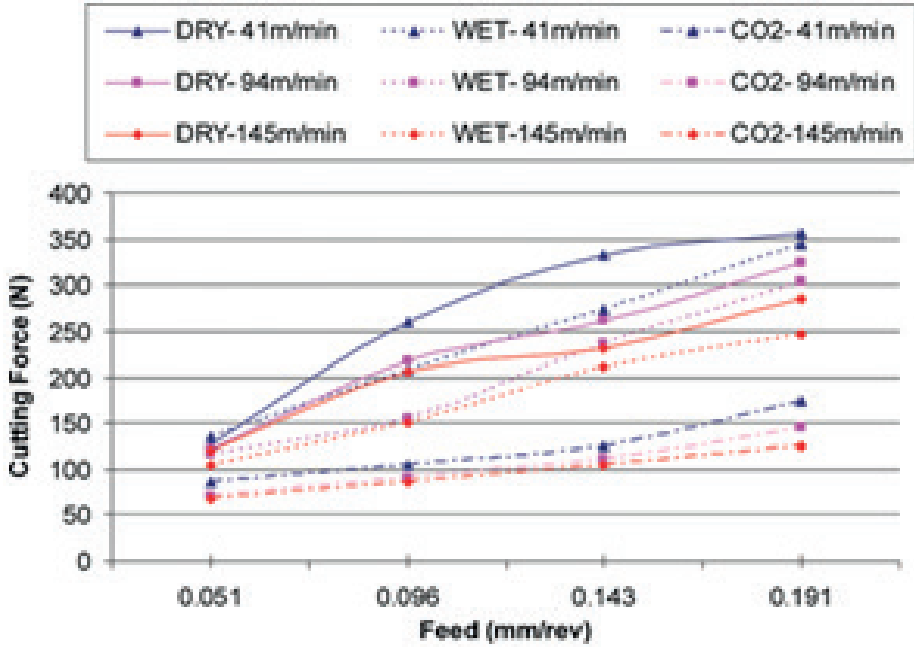


Şekil 3. a) Kriyojenik LN_2 uygulama, b) Kriyojenik LCO_2 uygulama
(Özdemir, 2020)

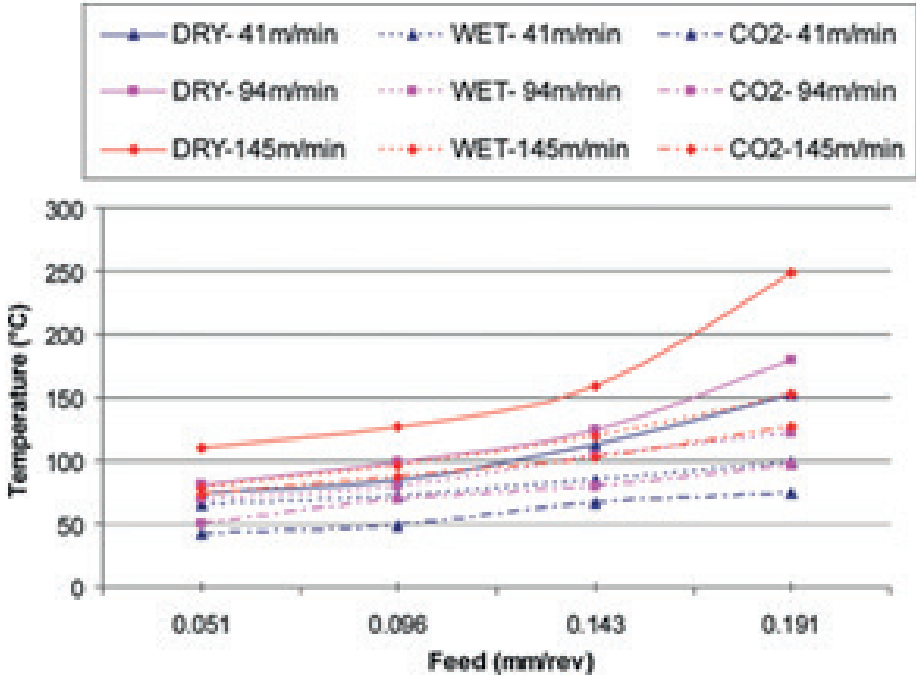
Genelde sıvı azot (LN_2) kullanılarak yapılan kriyojenik talaşlı imalat işlemi, geleneksel talaşlı imalata uygun bir alternatif olarak kabul edilebilir. 1 atm basınçta $-196\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşük sıcaklığa sahip süper soğuk LN_2 iyi bir soğutucudur. Sıvı azot, kesme işlemi sürecinde ısı emildikten sonra, azot gazı olarak buharlaşıp havaya karışarak (havanın %78'i azottur), çevreye zararlı bir atık bırakmaz. Bu nedenle, doğal olarak geri dönüşüme uygun ve çevre dostu olarak kabul edilir (Hong ve Broomer 2000).

Kolocke ve arkadaşları (Klocke vd., 2018), AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeyi farklı soğutma koşulları (kriyojenik sıvı azot, MQL, cryoMQL ve konvansiyonel kesme sıvısı) ve kesme parametreleri altında işledikleri çalışmada, soğutma stratejisine bağlı olarak en iyi yüzey kalitesi sonuçlarını, geleneksel kesme sıvısı soğutma veya MQL yağlama uygulandığında elde etmişlerdir. Kriyojenik soğutma sıvısını kesici takım serbest yüzünden kesme bölgesine uygulamanın, periyodik olarak meydana gelen çok sayıda kusur ile sonuçlandığı belirtilmiştir. Yapılan analizlerde işlenen yüzeylerde yoğun talaş yapışmasına rastlanmıştır. Bu kusurların oluşmasına neden olduğu sonucuna varılan kesici takımda oluşan BUE yığıntı talaş parçacıkları yana kayarak işlenmiş parça yüzeyine yapışmış ve yüzey kusuru olarak kaldığı açıklanmıştır. BUE'nin ortaya çıkması için temel mekanizma adezyon olup yüksek oranda mukavemeti artan işlenmiş malzeme tabakaları kesici takıma yapışır ve kesici kenarın işlevini üstlenir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kesici takım malzemesiyle yüksek bir yapışma eğilimi olduğundan, bu malzemelerin işlenmesi sırasında BUE oluşumu yaygın bir sorundur. Bu durum esas olarak, yüzey merkezli kübik kafes yapısının yüksek plastik deforme olabilirliğinin doğurduğu sonuçtan kaynaklanmaktadır. Belirli bir kesme sıcaklığındaki maksimum kesme sıcaklığına bağlı olan BUE oluşumunu önlemek için, genellikle kesme hızı, kesme sıcaklığını yükseltmek için artırılır. Kriyojenik soğutma uygulayarak kesme sıcaklığını düşürmenin, BUE oluşumunu daha yüksek kesme hızlarına kaydıracağı bildirilmiştir.

Gandarias ve arkadaşları (Gandarias vd., 2008), yüksek hız çeliği (HSS) ve kaplamalı karbür takımlar ile yaptıkları tornalama ve delme işlemlerinde, AISI 303, 304, 316 kalite malzemelerin işlenebilirlik performansını tanımlamışlardır. Deneyler, minimum miktar yağlama (MQL) ve kriyojenik soğutma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tornalama operasyonu sonuçlarına göre, AISI 303 malzemenin işlenebilirliğinin diğer iki kaliteden daha iyi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kriyojenik soğutma ile MQL uygulamasından daha iyi sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Farklı kesme koşullarında a) kesme kuvveti b) kesme sıcaklığı değişimi (Dilip Jerold ve Pradeep Kumar, 2012)

Dilip Jerold ve Pradeep Kumar (Dilip Jerold ve Pradeep Kumar, 2012), AISI 316 paslanmaz çeliğin tornalama operasyonunda kesme sıvısı olarak kullanılan karbondioksitin; kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri, takım aşınması, işlenen yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisine etkisini kuru ve soğutma sıvısı şartlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Deneylerde yükselen kesme hızı ve ilerleme ile kesme bölgesi sıcaklığının yükseldiği belirtilmiştir (Şekil 4). Artan kesme hızı ile azalan kesme kuvvetleri, kesme hızındaki artışın kesme sıcaklığının artması sonucu malzemenin yumuşamasına atfedilmiştir. Ayrıca ilerlemedeki artış, talaş yükünü artırdığı için kesme kuvvetlerinin yükseldiği bildirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün artan ilerleme ile yükseldiği, artan kesme hızı ile azaldığı belirtilmiştir. Soğutma sıvısı ile karşılaştırıldığında CO₂ ile soğutmada sıcaklık %35 düşmüş (kuru işlemeye nazaran %50 azalma sağlamış), azalan takım aşınması ile yüzey kalitesi %4-52 arasında artmış ve kesme kuvvetlerinde %35-55 arasında düşüş sağlanmıştır. Sıcaklıkta sağlanan düşüş gaz formundaki CO₂ soğutucunun yüksek yağlama etkinliği ve mükemmel nüfuz etmesi ile takım-talaş ara yüzünün temas sürtünmesini azaltma özelliğine atfedilmiştir. Kesme kuvvetlerinde sağlanan düşüş, yüksek jet hızında uygulanan CO₂ soğutucunun takım-talaş ara yüzünde kapılar (kılcal) etkisi sonucu oluşan yağ filminin ara yüzdeki sürtünmeyi ve takım talaş yüzeyindeki talaş yapışmasını azaltmasına bağlanmıştır. Kuru ve kesme sıvısı ile işlemeye nazaran CO₂ ile işlemede azalan krater ve yan yüzey aşınması takım-talaş ara yüzündeki sürtünmenin ve kesme kuvvetlerinin azalmasına atfedilmiştir. Tüm kesme koşullarında uygulanan yüksek kesme hızlarında, oluşan yüksek kesme sıcaklıkları nedeniyle iş parçası malzemesinin kesici takım üzerine difüzyonu gözlemlenmiştir. CO₂ soğutmanın kesme kuvvetlerinde ve takım-talaş ara yüzündeki sürtünmeyi azaltması sonucu azalan kesme bölgesi sıcaklığının iyi yüzey kalitesi ile sonuçlandığı bildirilmiştir. Ayrıca CO₂ işleme koşulunda, daha iyi talaş kırılması ve kesme bölgesi civarında daha az talaş birikmesi nedeniyle talaşların işlenmiş yüzey ile sürtünme teması önlenerek daha iyi işlenmiş yüzey kalitesi elde edildiği eklenmiştir. CO₂ soğutmanın daha iyi talaş kırılabilirliği ve kabul edilebilir talaş formları sağladığı için yüksek kesme hızları ve ilerlemeler söz konusu olduğunda daha avantajlı olacağını bildirmişlerdir. Ayrıca çevresel şartlar dikkate alındığında, endüstriyel koşullarda diğer kriyojenik soğutuculara potansiyel bir alternatif olduğu raporlanmıştır.

De Chiffre ve arkadaşları (De Chiffre, 2007), kriyojenik CO₂'nin verimliliğinin, kesme kuvvetleri, kesici takım ömrü, talaş atımı ve işlenen yüzey kalitesi açısından ticari su bazlı bir ürün ile karşılaştırıldığı deneysel çalışmada kaplamalı

karbür kesici uçlar ile AISI 304L malzemeye kanal açma, AISI 316 malzemeye ise dış çekme operasyonları uygulamışlardır. Araştırmanın ana parametresi olan kriyojenik CO₂ soğutucu; az miktarda yağ ilavesiyle ve saf olmak üzere iki şekilde kullanılmıştır. Soğutucuya katkısız bitkisel yağ ve yüksek klorlu mineral yağ olmak üzere iki farklı yağ eklenmiştir. Soğutma kesici takımın talaş yüzeyinden ve serbest yüzeyinden olmak üzere iki noktadan uygulanmıştır. Farklı basınç ve akış uygulamaları için değişik delik çaplarına sahip dört farklı nozul (0,2; 0,3; 0,5; 0,7 mm) ve üç farklı debi (4, 6, 10 mL/min) uygulanmıştır. Verimlilik karşılaştırmasında referans olarak, %6,5 konsantrasyonda ve sabit bir 8 l/min akış hızında ticari su bazlı kesme sıvısı kullanılmıştır. Dış çekme deneylerinde 3 mm genişliğinde kesici uçlar kullanılırken, kanal açma deneylerinde dış çapa 1,5 mm adımlı 60° metrik dış çekilmiştir. Takım aşınmasının tedrici bir şekilde artmasını sağlamak için seçilen iki kesme hızında (kanal açma: 130, 150 m/min, dış açma: 170, 180 m/min) gerçekleştirilen testlerde, kesici takım aşınmaları ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçlara göre, kanal açma ve dış açma operasyonlarında yaklaşık 6 g/s hızında uygulanan CO₂ gazının, etkili bir soğutucu olduğu belirtilmiştir. Dış açma operasyonunda en iyi performansın CO₂ gazına 6 mL/min katkısız bitkisel yağ ilave edilerek elde edildiği, kanal açma işleminde ise CO₂ gazına yağ (10 mL/min) ilavesinin zorunlu olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, kriyojenik karbon dioksitin, çevresel etkinin tamamen belgelenmesi şartıyla su bazlı ürünlere potansiyel bir alternatif olduğu raporlanmıştır.

Duman ve Kaynak (Duman ve Kaynak, 2016) kaplamasız karbür kesici uç ile AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemenin kriyojenik talaşlı imalat sürecini deneysel olarak incelemişler, bulunan sonuçları kuru kesme ve konvansiyonel soğutma sıvısı metodları ile karşılaştırmışlardır. Deneyler düşük ve yüksek seviyedeki farklı kesme hızları (20, 40, 200, 270 m/min) ile sabit ilerleme (0,2 mm/rev) ve talaş derinliğinde (1,4 mm) gerçekleştirilmişlerdir. Deneyler sonucunda, kriyojenik soğutma ile talaş kaldırma sürecinde oluşan esas kesme kuvvetinin, kuru ve kesme sıvısı uygulanan talaş kaldırmada işlemlerinde oluşan kuvvetlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kriyojenik şartlardan kaynaklanan iş parçası akma mukavemetindeki artışa atfedilmiştir. 20 m/min kesme hızında, kesme bölgesinde ölçülen sıcaklık değerleri, kuru kesme ve kriyojenik kesme için sırası ile yaklaşık 357 °C ve 33 °C ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler iş parasından kaldırılan talaşların sıcaklığı olup, kesici takım-ış parçası ara yüzündeki sıcaklığın bu ölçülen değerlerden daha fazla olabileceği tahmin edilmiştir. Tüm soğutma koşullarında, kesme hızındaki artış ile esas kesme, ilerleme ve radyal kuvvetlerin

azaldığı görülmüştür. Farklı işleme koşullarında, kesme hızının işlenen yüzey pürüzlülüğüne bir etkisinin olmadığı tespit edilmiş ve kriyojenik soğutmada kesici takımında meydana gelen yığıntı talaşın yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olduğu bildirilmiştir. Talaşlı imalat işleminde elde edilen talaşların mikroyapı fotoğraflarından oluşan talaşın testere dişi tipi olduğu raporlanmıştır.

Kalyan Kumar ve Choudury (Kalyan Kumar ve Choudury, 2008), AISI 202 östenitik paslanmaz çeliğinin, karbür kesici uç ile yüksek hızda işlenmesi sürecinde, kriyojenik soğutmanın takım aşınması ve meydana gelen yüksek frekanslı dinamik kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kriyojenik soğutmanın sağladığı nispi avantajları anlamak için hem kuru hem de kriyojenik koşullarda deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde kuru işlemeye göre kriyojenik işlemede kesme kuvvetinin daha az olduğu, ancak kesme kuvvetindeki %14,83 avantajın beklenenden daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kriyojenik soğutmanın, kesici takım yan yüzey aşınmasını (%37,39) önemli ölçüde azaltması, kesme bölgesi sıcaklığının da düşürülmesinde etkili olmasına atfedilmiştir. Yüksek miktardaki sıvı azot tüketiminin genel işleme maliyetini artırdığı söylenmiştir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi giriş parametrelerinin, regresyon denklemi vasıtası ile kesme kuvveti ve yan yüzey aşınması gibi çıkış parametreleriyle ilişkilendirildiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, kriyojenik soğutmanın yüksek hızlı ve çevre dostu işleme için olası bir çözüm olduğu sonucuna varıldığı raporlanmıştır.

Khan ve Ahmed (Khan ve Ahmed, 2008), AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeyi titanyum karbonitrid kaplamalı karbür takımlarla işlemek için modifiye ettikleri bir kesici takımın içinden geçirdikleri sıvı azotu doğrudan kesme bölgesine soğutucu olarak uygulamışlardır. Modifiye edilmiş takım içinden sıvı azot ile soğutma uygulamasının, işleme sürecinde kesici kenarı soğutmak için etkili bir yol olduğu ve takım ömrünü dört kattan fazla artırdığı belirtilmiştir. Yüksek kesme hızında, konvansiyonel soğutucu akışkan uygulamasının talaş-takım ara yüzündeki ısı artışına karşı koyamayacağı belirtilmiş olup yüksek kesme hızlarında kriyojenik soğutma uygulanmasının daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Yükselen ilerleme ile talaş kalınlığı da artarak kayma bölgesindeki plastik deformasyonun daha hızlı ve daha fazla ısı oluşturmasına sebep olur. Bu nedenle, kriyojenik soğutmanın, yüksek kesme derinliğinden ziyade yüksek ilerlemelerde daha etkili olduğu bildirilmiştir. Konvansiyonel soğutucu uygulanan tüm işleme deneylerinde kesici takım yan yüzeyi yıpranmaya ve abrazye (yenme) aşınmaya maruz kalmış olup kesici kenarda mikro çatlaklar gözlenmiştir. Ayrıca yüksek kesme hızında

işleme sırasında takım talaş yüzünde krater aşınması görülmüştür. Kriyojenik soğutucu ile düşük kesme hızında işleme yaparken takımın yan yüzeyinde çok az aşınma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek kesme hızında, kesici kenarın küçük yan yüzey aşınmasına ek olarak mikro çatlaklara da maruz kaldığı bildirilmiştir.

Sıvı azot (LN₂) soğutma kullanılarak yapılan kriyojenik talaşlı imalatın, çevreyi kirleten kesme yağları ve emülsiyonları kullanılarak yapılan geleneksel talaşlı imalata göre temiz bir alternatif olsa da, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesi sürecinde kesme kuvvetlerini arttırdığı ve takım ömrünü kısalttığı bildirildi. Honk ve Broomer (Honk ve Broomer, 2000), paslanmaz çelik malzemenin kriyojenik özelliklerini inceledikten sonra tasarladıkları ekonomik bir kriyojenik soğutma yaklaşımını kullanarak geliştirmiş oldukları sonuçları sunmuşlardır. Talaşlı imalat testlerinde karbür kesici uçlar kullanılarak farklı kriyojenik soğutma yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Kesici kenara sıvı azot jet püskürtme talaş yüzeyinde kesici ucun içine açılmış kanallar (1,59x0,3 mm) vasıtası ile iki yönde (Z yönü: iş parçası eksenine paralel, X iş parçası eksenine dik) ve serbest yüzeyden bir paslanmaz çelik boru (1,6 mm) vasıtası ile uygulanmıştır. Kararlı bir akış rejimi elde etmek için, ticari bir silindir tanktan (350 psi ~ 2,4 MPa) beslenen LN₂ vakum-çeketli statik bir hat içinden (1,6 mm) dağıtılmıştır. İşleme sırasında LN₂ soğutucunun normal işletme basıncının yaklaşık 2MPa (290 psi), akış hızının ise yaklaşık 0,3 l/min olduğu belirtilmiştir. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik işlenirken en iyi sonuçlar Z nozulundan soğutma yapıldığında elde edildiği bildirilmiştir. Konvansiyonel emülsiyon soğutmaya karşılaştırıldığında, iş parçasına nüfuz ettirmeden, takım-talaş ara yüzüne az miktarda sıvı azot soğutucunun 3,82 m/s hızında enjekte edilmesi takım ömründe %67 iyileşme sağlarken, kriyojenik soğutucunun 3,40 m/s orta seviye bir hızda enjekte edilmesi takım ömründe %43 bir iyileşme sağladığı açıklanmıştır. Esas kesici kenarın ve ikincil kesici kenarın soğutulmasının her iki kenarda yan yüzey aşınmasına ve takımın erken bozulmasına neden olduğu bildirilmiş olup bu durumun iş parçasının aşırı soğutulmasının bir sonucu olduğu düşünülmüştür. Elde edilen bu sonuçla üretim maliyetinin düşürüldüğü, işleme verimliliğinin artırıldığı bildirilmiştir. Bulunan sonuçlar, paslanmaz çelik işlemede kriyojenik soğutmanın faydalarının elde edilmesinde soğutma yaklaşımının çok önemli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, emülsiyon soğutma ile yapılan işlemeye nazaran, kriyojenik işlemin sağlık ve çevresel kaygılar olmadan daha karlı ve verimli olduğu raporlanmıştır.

Kaynak ve arkadaşlarının çalışmasında (Kaynak vd., 2017); AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin talaş kaldırma sürecinde, farklı pozisyonlardan kesme bölgesine gönderilen kriyojenik soğutucunun, takım aşınması, kesme sıcaklığı, talaş kırılabilirliği ve işlenen yüzey pürüzlülüğüne etkisi kuru kesme ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Kriyojenik sıvı azot kesme bölgesine, kesici takım talaş yüzeyinden, serbest yüzeyinden ve her iki yüzeyden aynı anda olmak üzere üç değişik kombinasyonda gönderilmiştir. Kuru kesmeye kıyasla daha düşük olduğu görülen kriyojenik koşullarda meydana gelen kesme bölgesi sıcaklıklarından, nozul pozisyonlarının kesme bölgesi sıcaklığına etkisinin belli bir seviye olduğu anlaşılmıştır.

Yüksek kesme hızlarında nozul pozisyonlarının kesici takım aşınmasına etkisi daha net görülürken, kesici takım serbest yüzeyinden uygulanan sıvı azotun genel olarak yan yüzey aşınmasını ve burun aşınmasını azalttığı belirtilmiştir. Kriyojenik sıvı azot soğutucu ile yapılan talaşlı imalat işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün genelde kuru kesmeye kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Talaş kırılmasını etkileyen ana parametre kesme hızı olurken, kriyojenik sıvı azotun farklı pozisyonlardan ve kombinasyonlarda uygulanmasının talaş kırılabilirliğine etkisinin oldukça sınırlı olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, özellikle kesici takımın serbest yüzeyinden uygulanan kriyojenik sıvı azotun, talaş yüzeyinden veya her iki pozisyondan birlikte uygulanmasına kıyasla AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirlik performansını önemli ölçüde arttırdığı raporlanmıştır.

YÜKSEK BASINÇLI SOĞUTMA (HPC)

Talaşlı imalat sektöründe iş parçalarının işlenmesi sürecinde kesme sıvılarının rolü her geçen gün gelişmektedir. Endüstride uzun yıllardır, kesme bölgesine boru vasıtası ile iletilen konvansiyonel kesme sıvısı tekniği kullanılmaktadır. Kesme sıvılarının etkili olmaları ve modern işleme süreçlerinde fark yaratabilmeleri için, sadece kesme bölgesine iletilen sıvısı akışının yanında kesme sıvılarının yeterli miktarda ve doğru yönlendirilen jetler halinde dağıtılmaları gerekir. Yüksek basınçlı kesme sıvısının kesme bölgesine püskürtülmesi sonucu talaş kaldırma işleminde yeni avantajlar elde edilebilir. Yüksek basınçlı soğutma yönteminde konvansiyonel soğutma yönteminde kullanılan mineral veya sentetik-yarı sentetik kesme sıvıları kullanılır. Bu soğutma tekniği yüksek kesme sıvısı kapasitesine sahip CNC tezgahlarda içten ve dıştan soğutma tekniklerine uygun takımlandırma

konseptleriyle daha mümkün hale gelmektedir.

Kesme işleminde yüksek basınçlı soğutma sıvısı (HPC) uygulaması kesici takım aşınmasını güçlü bir şekilde etkileyerek daha uzun takım ömrü sağlayabilir. Basınçlı sıvının takım-iş parçası ve takım-talaş temas bölgesine daha iyi nüfuz etmesi sonucu daha iyi bir soğutma etkisi sağlaması ve temas alanlarının yağlanma-sıyla takım aşınmasının azaltılması mümkündür. Yüksek basınçlı soğutma sıvısı uygulamanın takım ömrü üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için, takım-talaş ara yüzündeki sürtünme/termal koşullara bağlı olan aşınma mekanizmalarını araştırmak gerekir.

Kesici takım ile iş parçası ara yüzüne yüksek basınçlı şekilde direkt püskürtülen kesme sıvısı, kesme bölgesindeki sıcaklığı, takım-talaş temas alanını ve kesici kenara iş parçası malzemesi sıvanmasını azaltmanın yanında arzu edilen talaş formu oluşumunu ve talaşların kesme bölgesinden hızlıca uzaklaştırılmasını sağlar. Ayrıca kesici takımın burun bölgesinde oluşan aşırı sıcaklığın düşürülmesi sonucu takım aşınmasında, kesme kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülüğünde önemli düşüşler sağlanır. Yüksek basınçlı soğutma uygulaması, paslanmaz çelikler ve düşük karbonlu çelikler gibi sünek malzemelerin işlenmesinde önemli avantajlar sağlar. Sıralanan bu temel işleme etkenleri, yüksek verimlilik ve yüksek kalite vasıtası ile rekabet gücünde artış sağlar.

Naves ve arkadaşları (Naves, 2013), kaplamalı sementit karbür takımlar kullanarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalama işleminde yüksek basınçlı ve farklı konsantrasyonlarda uygulanan kesme sıvının takım aşınma mekanizmalarına etkisini incelemişlerdir. Tornalama deneylerinde kesme sıvısı talaş yüzeyinden takım-talaş ara yüzüne farklı basınçlarda (10, 15, 20 MPa) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kuru ve normal kesme sıvısı ve işleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Orta sıcaklık tekniğinde kimyasal buhar biriktirme (MTCVD) kullanılarak, TiN, Al₂O₃ ve Ti (C, N) ile kaplanmış, ISO K sınıfı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Başlıca bulgular, yüksek basınçlı soğutma sıvısı kullanımı ile takım-talaş temas uzunluğunun azalması ve takım aşınmasının azaldığı yönündedir. Talaş yüzeyinde ve yan yüzeyde gözlenen ana aşınma mekanizmasının yapışma (adheziv) olduğu belirtilmiştir. Analiz edilen tüm koşullar için esas kesme kenarında meydana gelen yan yüzey aşınması ana aşınma türü olurken talaş yüzeyinde krater aşınması gelişimi olduğu belirtilmiştir. Yan yüzeye ve talaş yüzeyine yapışan malzemenin, yüksek basınçlı bir jet soğutma sıvısı kullanılarak büyük ölçüde azaltılabileceği ve bu etkinin en yüksek sıvı konsantrasyonunda

daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek basınçlı soğutma sıvısı tekniği, kesici takım aşınmasının azaltılması bakımından kuru kesmeden ve normal kesme sıvısı uygulamasından daha etkili olduğu bildirilmiştir. Deneylerde elde edilen en düşük aşınma değerleri, kesme sıvısının %10 konsantrasyonla ve 10 MPa basınçla uygulamasında elde edildiği raporlanmıştır.

Gharibi ve Kaynak (Gharibi ve Kaynak, 2016 July), yüksek basınçlı soğutma sıvısının (HPC) 316L paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde takım ömrü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kuru, kesme sıvısı ve yüksek basınçlı soğutma sıvısı koşulları altında sabit kesme parametrelerinde yapılan tormalama deneylerinde kesici takımın yan yüzey aşınması, burun aşınması ve işlenmiş numunenin yüzey pürüzlülüğü ölçülerek karşılaştırılmıştır. İşlenmesi zor malzemelerden özellikle pekleşme özelliği gösteren malzemelerin işlenmesi sürecinde, çentik aşınmasının ele alınması gereken önemli bir olgu olduğundan, deneylerde kesici kenarın her iki tarafında çentik aşınmasının sadece kuru işlenmesinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Kesme sıvısı ve yüksek basınçlı soğutmanın ikincil kenarda çentik oluşumunu önlemesi soğutma sıvısının talaş akışını yönlendirmesine atfedilmiştir. Bununla birlikte, esas kesici kenarda, her iki soğutma uygulamasında da çentik aşınması meydana geldiği bildirilmiştir. Sonuçlara göre yüksek basınçlı soğutma sıvısının, 316L paslanmaz çelik işlemede kuru ve kesme sıvısı koşullarına kıyasla yan yüzey ve burun aşınmasını azaltarak kesici takım ömrünü önemli ölçüde artırdığı raporlanmıştır.

Habak ve Lebrun (Habak ve Lebrun, 2011), AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin tormalama operasyonunda, takım-talaş ara yüzüne yüksek basınçlı su jeti uygulamanın; talaş şekli, takım aşınmasına ve işlenen yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneyler standart bir kesici takım ile iki farklı kesme hızı (80, 150 m/min), sabit ilerleme (0,1 mm/rev), sabit talaş derinliği (1 mm) ve üç farklı jet basıncında (20, 50, 80 MPa) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, jet basıncının ve kesme parametrelerinin talaş şekillerini etkilediğini göstermektedir. Ayrıca yüksek basınçlı su jeti kullanarak, kuru tormalama ile oluşturulan kesintisiz talaşın aksine iyi parçalanmış bir talaş oluşturmanın mümkün olduğu belirtilmiştir. Yüksek basınçlı su jeti uygulamanın yüzey pürüzlülüğü değerlerini büyük ölçüde etkilemediği, ancak takım aşınmasının azalmasının mümkün olduğu görülmüştür. Kesme işlemi sırasında sertleşme eğilimi gösteren ve işlenmiş yüzeyi ve kesici takımı aşındırmaya elverişli uzun talaşlar oluşturan, inconel, titanyum ve östenitik paslanmaz çelik gibi işlenmesi zor malzemelerin işlenebilirlik problemlerine yüksek basınçlı su jeti uygulamasının çözüm olabileceği bildirilmiştir. Sonuç olarak,

yüksek basınçlı su jeti ile talaş şeklini kontrol ederek takım ömrünü artırmanın mümkün olduğu raporlanmıştır.

Gharibi ve Kaynak tarafından (Gharibi ve Kaynak, 2016 October), yüksek basınçlı soğutma sıvısının (HPC) ve konvansiyonel soğutmanın etkinliğini ölçmek için farklı yüksek kesme hızı değerlerinde (120, 180, 240, 300, 360 m/min) takım aşınması dikkate alınarak AISI 316L paslanmaz çelik malzeme ile işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Çeşitli soğutucu akışkan basınçlarının (20, 40, 60 Bar); takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kırılabilirliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, besleme basıncından bağımsız olarak yüksek basınçlı soğutma sıvısının, konvansiyonel soğutma ve kuru işleme ile karşılaştırıldığında, kesici takımdaki yan yüzey ve burun aşınmasını azaltarak, 316L'nin işleme performansını önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir. Değişen besleme basınçlarının takım aşınmasını etkilemediği söylenmiştir. Ayrıca, yüksek basınçlı soğutma sıvısının, daha yüksek kesme hızında kuru ve konvansiyonel işlemeye kıyasla çok daha iyi yüzey kalitesi sağladığı bildirilmiştir. Yüksek basınçlı soğutma sıvısı, kuru ve konvansiyonel soğutma ile işleme proseslerine kıyasla daha küçük talaşların üretilmesini sağladığı raporlanmıştır.

MİNERAL VE BİTKİSEL BAZLI KESME SIVILARI

Mineral ve sentetik-yarı sentetik yağların çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı sürdürülebilir bir talaşlı imalat prosesi sağlamak için çevre dostu, sağlığa zararsız, tükenmeyen doğal kaynaklara dayanan, doğada biyolojik olarak parçalanabilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının uygulanabilirliği hakkında araştırmalar yapılmaktadır (Xavior ve Adithan, 2009; Stephenson ve Agapiou 2026; Çetin vd., 2010). Termal ve oksidatif stabiliteyi düşük olan bitkisel yağların endüstriyel kullanımı kısıtlı olmasına rağmen, talaşlı imalat işlemlerinde kullanılabilirliğini artırmak için kimyasal süreçte emülsifyerler ve EP (aşırı basınç) katkıları, pH düzenleyiciler, parlama noktası yükselticiler, korozyon ve koku önleyici maddeler ile meydana getirilen bitkisel esaslı metal kesme sıvılarının çeşitli avantajları vardır. Bunlar, mineral ve sentetik yağlara kıyasla düşük sürtünme katsayısı, sınır yağlamada yükselen yük taşıma kapasitesi ve yüksek korozyon direnci olarak sıralanabilir. Emülsifyerler ve EP katkıları ve kesme sıvısının imalat performansını etkilerken diğer katkı maddeleri kimyasal düzenleyici görevi görürler (Fox ve Stachowiak, 2007; Çetin ve Özçelik, 2011). Bitkisel yağlardan

kesme sıvısı elde etmek için gerek rafine, gerekse ham kanola ve ayçiçeği yağları (Şık, 2009) veya ham soya yağı kullanılarak (Karahana, 2010) araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarda sonucunda elde bitkisel esaslı kesme yağlarının çeşitli talaşlı imalat işlemlerinde kesme sıvısı olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

Belluco ve De Chiffre (Belluco ve De Chiffre, 2004), AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemeyi konvansiyonel HSS-Co takımlarla delme işleminde kullandıkları altı tip kesme yağının etkinliğini, takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumu açısından değerlendirmişlerdir. Araştırmada mineral bazlı ticari yağ referans alınmış olup farklı katkı seviyelerinde beş tip bitkisel bazlı kesme sıvısı test edilmiştir. Deneylede ölçülen tüm parametrelerin uyumlu olduğu, bu durumun performans akışkanının daha uzun takım ömrü, daha iyi talaş kırma, daha düşük aşınma ve kesme kuvvetleri ürettiğini doğruladığı belirtilmiştir. Özellikle, takım ömrü ile kesme kuvvetleri arasında iyi bir ilişki bulunmuştur. Akışkan nedeniyle kesme kuvvetlerindeki farklılıklar, takım ömründen daha yüksek bir tekrarlanabilirlik ile ölçülebileceği, böylece takım ömrünü bir performans kriteri olarak kullanarak elde edilenle karşılaştırılabilir bir ölçüm kabiliyeti ortaya çıkacağı bildirilmiştir. Sonuç olarak, paslanmaz çelik delme işleminde kesme sıvılarının performansını değerlendirmek için itmenin-ilerlemenin kullanılabilceği ve takım ömrü testine göre önemli miktarda zaman tasarrufu ve maliyet azalması sağlanabileceği önerilmektedir. Test sonuçlarına göre tüm bitkisel bazlı sıvıların mineral referans üründen daha iyi sonuç verdiği, en iyi performansın, takım ömründe %177 artış ve itme-ilerleme kuvvetinde %7 azalma sağlayan bir kesme sıvısı ile elde edildiği bildirilmiştir. Bu sonuçların, yüksek talaş kaldırma performansı ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen bitkisel yağlarla elde edilebilecek çevresel etkilerin azaltılması konusunda umut verici olduğu raporlanmıştır.

De Chiffre ve Belluco (De Chiffre ve Belluco, 2000), kontrollü laboratuvar koşullarında metal kesme işlemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların performans değerlendirmesinde farklı yöntemlerin karşılaştırılması için tornalama, delme, frezeleme, raybalama ve kılavuz çekme işlemlerindeki kapsamlı deneysel araştırmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak, tekrarlanabilirlik, çözünürlük ve maliyet açısından bir analiz yapmışlardır. Karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler ve alüminyum alaşımları gibi farklı iş parçası malzemeleri ve su bazlı ürünler, düz mineral yağlar ve bitkisel yağ bazlı formülasyonlar dâhil olmak üzere farklı tipte kesme sıvıları dikkate alınmıştır. Analiz, ölçülen kesme kuvvetleri, takım ömrü ve işlenen yüzey kalitesine göre yapılmıştır. Bir testin nispi çözünürlüğünü ifade etmek için σ/ρ oranı tanımlandı (σ : ölçümlerin standart sapması, ρ : test sonuçları-

nın değişkenlik aralığı) ve bir maliyet modeli geliştirildi. Analizden, takım ömrü testlerinin, 1000€ ila 2000€ arasında değişen maliyetlerle, sınırlı tekrarlanabilirlik ($\sigma = \%10-50$) ve çözünürlükle (σ/ρ , 0,25-0,75 arasında değişen) bağlantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Kesme kuvvetlerine dayanan testlerin, daha iyi bir tekrarlanabilirlik ve çözünürlükle bağlantılı olup, σ için değerler $\%0,5-6$ aralığında ve σ/ρ oranı yaklaşık olarak 0,2 olup, test maliyetinin yaklaşık 500€ olduğu belirtilmiştir. Yüzey kalitesi testlerinin, yaklaşık $\%50$ tekrarlanabilirlik ve yaklaşık olarak 1000€ maliyet ile 0,3-0,4 çözünürlük özelliklerine sahip olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar ileride yapmayı planladıkları adımın, bir grup kesme sıvısı için işlemlerin korelasyon hipotezini doğrulamak ve daha düşük σ ve σ/ρ değerleri elde ederek test prosedürlerini optimize etmek olacağını bildirmişlerdir.

Kuram ve arkadaşları (Kuram vd., 2010), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesi sırasında bitkisel bazlı kesme sıvılarının itme-ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için deneysel çalışmalar yürütmüştür. Araştırmada üç farklı bitkisel bazlı kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneyler için Taguchi yöntemi kullanılmış olup, takım aşınma ve kuvvet değerlerini tahmin etmek için regresyon analizinden (RA) matematiksel modeller geliştirilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü ve en düşük itme kuvveti değerlerinin, ticari ayçiçeği kesme sıvısı kullanılarak 720 rpm fener mili hızında ve 0,08 mm/rev ilerleme oranında gözlemlendiği belirtilmiştir. Takım aşınmasının ve kesme kuvvetinin azaltılmasında, ayçiçeği kesme sıvısı ve kanola kesme sıvısının, ticari yarı sentetik kesme sıvısından daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Xavior ve Adithan (Xavior ve Adithan, 2009), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin karbür takımlarla tornalama operasyonu sürecinde hindistancevizi yağı, emülsiyonlar ve saf kesme yağı gibi üç tip kesme sıvısının yüzey pürüzlülüğü ve yan yüzey aşınması üzerindeki etkisini deneysel olarak belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için ilerleme oranının/hızının ve takım aşınması için kesme hızının en etkili faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, hindistan cevizi yağının, takım aşınmasını ve işlenen yüzey pürüzlülüğünü düşürmede geleneksel mineral yağlardan daha iyi bir seçim olduğu sonucuna varılmıştır.

Özçelik ve arkadaşları (Özçelik vd., 2009), AISI 304 malzemenin delme sürecinde, ayçiçeği yağı ve kanola yağından geliştirilen bitkisel bazlı yağlar ile mineral bazlı endüstriyel kesme yağlarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Deneysel araştırmada; ilerleme hızı, kesme kuvvetleri ve yağ tipi girdi, yüzey pü-

rüzrlülük değerleri ise çıktı olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, ayçiçeği bazlı kesme sıvılarına nazaran kanola bazlı kesme sıvılarının daha iyi pürzlülük değeri sağladığı bildirilmiştir.

Çetin ve arkadaşları (Çetin vd., 2010), AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzemelerin kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla boyuna tornalama sürecinde, bitkisel esaslı rafine ayçiçeği ve kanola yağlarından elde edilen aşırı basınç (EP) katkılı kesme sıvılarının performanslarını takım aşınması açısından incelemiştir. Ticari mineral ve yarı sentetik kesme yağları referans alınarak, bitkisel yağların performansı analiz edilmiştir. Deneyler her bir kesme sıvısı için 3 farklı ilerleme (0,24; 0,28; 0,32 mm/rev), sabit kesme hızı (90 m/min) ve talaş derinliği (1 mm) değerlerinde yapılmıştır. En düşük yan yüzey ve burun aşınmalarının %8 EP katkılı ayçiçeği yağı ile elde edildiği bildirilirken, ilerleme hızı yükseldikçe takım aşınmasının ve kesici kenarda yığıntı talaş (BUE) oluşumunun arttığı raporlanmıştır.

Çetin ve Özçelik (Çetin ve Özçelik, 2011), karbür takma uçlu kesici ile AISI 304 çeliğinin tornalama operasyonunda ayçiçek ve kanola yağlarından formüle edilen %8 ve %12 EP (aşırı basınç) katkılı iki farklı bitkisel bazlı ve bir ticari mineral kesme sıvısının performanslarını, kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürzlülüğü değerleri ışığında araştırmışlardır. Kesici kenar yan yüzey aşınması 0,2-0,6 mm aralığında alınmıştır. Deney sonuçlarına göre, referans olarak kullanılan ticari kesme sıvısına nazaran, geliştirilen bitkisel bazlı kesme sıvıları ile daha az kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürzlülüğü değerleri elde edildiği bildirilmiştir.

SONUÇ

Konvazyonel talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan soğutma sıvılarının üretim maliyetlerini yükseltmesinin yanında doğaya ve insan sağlığına olan negatif etkileri önemlidir. Bu durum şirketlere ve çalışanlarına; pahalı çevresel ve sağlık yükümlülükleri getirmektedir. Bu yüzden sağlığına zararsız, çevre dostu sürdürülebilir bir talaşlı imalat prosesinin geliştirmesi araştırmacıların ve imalat mühendislerinin başlıca araştırma konusudur.

Talaşlı imalat sürecinde östenitik paslanmaz çelik alaşımları gibi işlenmesi zor malzemelerin, kesme performansı, işlenen yüzey kalitesi vb konuları kapsayan

işlenebilirlik performansını yükseltmek için kesme sıvısı ile konvansiyonel soğutma, minimum miktarda yağlama (MQL), kriyojenik soğutma (sıvı azot veya sıvı karbondioksit), yüksek basınçlı soğutma (HPC) ve bitkisel esaslı kesme sıvıları gibi farklı soğutma ve yağlama tekniklerinin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Sürdürülebilirlik açısından mevcut soğutma/yağlama tekniklerinin geliştirilmesi ve yeni tekniklerin araştırılması çalışmaları artarak devam etmektedir.

Not: Kitap bölümü olarak hazırlanan bu derleme çalışması, yazarlardan Emin Özdemir'in *Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü ve Fonksiyonel Performansının Geliştirilmesi* konulu doktora tezinin literatür taraması ve kuramsal temeller bölümlerinden türetilmiştir.

KAYNAKÇA

- Akben, U. ve Erten, M. (2009, 2-3 Ekim). *Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi*. 1. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul.
- Altan Özbek, N., Çiçek, A., Gülesin, M. ve Özbek, O. (2017). AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 43-49.
- Belluco, W. and De Chiffre, L. (2004). Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 148(2), 171-176.
- Bennett, E. O. (1983). Water based cutting fluids and human health. *Tribology International*, 16, 13314, 45-60.
- Bijanzad, A. (2013). Experimental Study of Minimum Quantity Lubrication Effect on Compacted Graphite Iron Machining. M. Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- Blau, P., Busch, K., Dix, M., Hochmuth, C., Stoll, A. and Wertheim, R. (2015). Flushing strategies for high performance, efficient and environmentally friendly cutting. *Procedia CIRP*, 26, 361-366.
- Birova, A., Pavlovičova, A. and Cvengro, J. (1998). Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils. *Journal of Synthetic Lubrication*, 18:291.
- Boubekri, N. and Shaikh, V. (2012). Machining Using Minimum Quantity Lubrication: A Technology for Sustainability. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2:1.
- Busch, K., Hochmuth, C., Pause, B., Stoll, A. and Wertheim, R. (2016). Investigation of cooling and lubrication strategies for machining high-temperature alloys. *Procedia CIRP*, 41, 835-840.
- Byers, J. P. (2006). *Metalworking Fluids, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Callister, W. D. and Rethwisch D. G. (2014). *Application and Processing of Metal Alloys, In Material Science and Engineering, 9th Edition*. NY: John Wiley & Sons.
- Çakır, M. C. (2006). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Çakır, O. ve Kılıçkap, E. (2001, 2-3 Kasım). *Metallerin soğuk talaşlı işlenmesi*. Makine

Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, 279-283

- Çelik, E. ve Kıvak, T. (2016, 3-5 November). *17-4 PH paslanmaz çeliğin tormalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 214-221.
- Çetin, M. H., Özçelik, B., Kuram, E., Şimşek, B. T. ve Demirbaş, E. (2010, 11-12 Kasım). *AISI 304L çeliğin EP katkılı bitkisel esaslı kesme sıvıları kullanılarak tormalanmasında ilerleme hızının aşınma üstüne etkisi*. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 230-241.
- Çetin, M. H. ve Özçelik, B. (2011). AISI 304 çeliklerin tormalanmasında EP katkılı karma bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 581-589.
- Debnath, S., Reddy, M. M. and Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of cleaner production*, 83, 33-47.
- De Chiffre, L., Andreasen, J. L., Lagerberg, S. and Thesken, I. B. (2007). Performance testing of cryogenic CO₂ as cutting fluid in parting / grooving and threading austenitic stainless steel. *Annals of the CIRP*, 56(1), 101-104.
- De Chiffre, L. and Belluco, W. (2000). Comparison of methods for cutting fluid performance testing. *Annals of the CIRP*, 49(1), 57-60.
- Dilip Jerold, B. and Pradeep Kumar, M. (2012). Machining of AISI 316 stainless steel under carbon-di-oxide cooling. *Journal of Materials and Manufacturing Processes*, 27(10), 1059-1065.
- Duman, E. ve Kaynak Y. (2016, 3-5 November). *316L paslanmaz çelik malzemesinin kriyojenik talaşlı imalat sürecinde yüzey bütünlüğü analizi*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 253-265.
- Dureja, J. S., Singh, R., Singh, T., Singh, P. and Dogra, M. (2015). Performance evaluation of coated carbide tool in machining of stainless steel (AISI 202) under minimum quantity lubrication (MQL). *International Journal of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 2(2), 123-129.
- Elmunafi, M. H. S., Noordin, M. Y. and Kurniawan, D. (2015). Tool life of coated carbide cutting tool when turning hardened stainless steel under minimum quantity lubricant using castor oil. *Procedia Manufacturing*, 2, 563-567.
- Fox, N. J. and Stachowiak G. W. (2007). Vegetable Oil Based Lubricants, A Review of Oxidation. *Tribology International*, 40, 1035-1046.

- Gandarias, A., De Lacalle, L. N. L., Aizpitarte, X. and Lamikiz, A. (2008). Study of the performance of the turning and drilling of austenitic stainless steels using two coolant techniques. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 3(1-2), 1-17.
- Gharibi, A. and Kaynak Y. (2016, 12-15 July). *The effects of high-pressure coolant on progressive tool wear in machining stainless steel*. The 17th International Conference on Machine Design and Production, Bursa, 781-791.
- Gharibi, A. and Kaynak Y. (2016, 4-5 October). *Tool wear and surface quality in machining process of stainless steel: The effects of various coolant supply pressures*. 13th International Conference on High Speed Machining, Metz, France.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems (5th ed.)*. NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Habak, M. and Lebrun, J. L. (2011). An experimental study of the effect of high-pressure water jet assisted turning (HPWJAT) on the surface integrity. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(9), 661-669.
- Hong, S. Y. and Broomer, M. (2000). Economical and ecological cryogenic machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Clean Products and Processes*, 2, 157-166.
- Hong, S. Y., Irel, M., and Jeong, W. C. (2001). New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(15), 2245-2260.
- İlhan, M. (2014). *Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Devisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jawahir, I., Attia, H., Biermann, D., Duflou, J., Klocke, F. and Meyer, D. (2016). Cryogenic manufacturing processes. *CIRP Annals, Manufacturing Technology*, 65(2), 713-736.
- Kaçal, A. (2017, 2-4 November). *PMD 23 Çeliğin tornalanmasında % 0,15 Nano-MoS₂ Katkılı minimum miktarda yağlama (MMY) performansının incelenmesi*. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 340-351.
- Kalyan Kumar, K. V. B. S. and Choudhury, S. K. (2008). Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 203(1-3), 95-101.

- Karahan, M. (2010). *Ham soya yağından metal kesme sıvı eldesi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.
- Kaynak, Y., Gharibi, A., Taşcıoğlu, E., Kurt, M. ve Ay, M. (2017, 2-4 November). *316L paslanmaz çeliklerin kriyojenik talaşlı imalatında nozul konumlarının etkisi*. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 479-489.
- Klocke F., Döbbeler, B, Lung, S., Seelbach, T. and Jawahir, I. S. (2018). Analysis of surface integrity in machining of AISI 304 stainless steel under various cooling and cutting conditions. *Proceedings of The 21. International ESAFORM Conference on Material Forming, AIP Conference Proceedings 1960*, 070015, 1-6.
- Khan, A. A. and Ahmed, M. I. (2008). Improving tool life using cryogenic cooling. *Journal of Materials Processing Technology*, 196(1-3), 149-154.
- Kosa, T. and Ney, R. (1989). *Machining of Stainless Steels*. ASM Handbook, 16, 681-707.
- Kuram, E., Özçelik, B., Demirbaş, E. and Şık, E. (2010, 30 June – 2 July). Effects of the cutting fluid types and cutting parameters on surface roughness and thrust force. *Proceedings of The World Congress on Engineering*, II, 1-4
- Maranhão, C. and Davim, P. J. (2010). Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, 139-156.
- Maruyama, N., Mori, D., Hiromoto, S., Kanazawa, K. and Nakamura, M. (2011). Fatigue strength of 316L type stainless steel in simulated body fluids. *Corrosion Science*, 53(6), 2222-2227.
- M'Saoubi, R., Outeiro, J. C., Changeux, B., Lebrun, J. L. and Moraão Dias, A. (1999). Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 96(1-3), 225-233.
- Naves, V. T. G., Da Silva, R. and Da Silva, F. J. (2013). Evaluation of the effect of application of cutting fluid at high pressure on tool wear during turning operation of AISI 316 austenitic stainless steel. *Wear*, 302(1-2), 1201-1208.
- Nguyen, T. and Zhang, L. C. (2003). An assessment of the applicability of cold air and oil mist in surface grinding. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 224-230.
- Odabaş, C. (2004). *Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*. İstanbul: Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayını.

- Outeiro, J. C., Umbrello, D. and M'Saoubi, R. (2006). Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(14), 1786-1794.
- Outeiro, J. C., Pina, J. C., M'Saoubi, R., Pusavec, F. and Jawahir, I. S. (2008). Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult to machine materials. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57(1), 77-80.
- Özçatalbaş, Y. ve Baş, A. (2006). Effect of cooling by air spraying on cutting forces and tool life in turning. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(3), 451-455.
- Özçelik, B., Demirbaş, E., Kuram, E., Şık, E. and Tansel, İ. N. (2009, 2-3 Ekim). *Geliştirilen ayçiçeği ve kanola esaslı bitkisel soğutma yağlarının AISI 304 malzemenin delinmesindeki performansları*. 1. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 121-129.
- Özdemir, E. (2020). *Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü Ve Fonksiyonel Performansının Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Peckner, D. and Bernstein, I. M. (1977). *Handbook of Stainless Steels*. NY: McGraw-Hill Book Co.
- Priarone, P. C., Robiglio, M., Settineri, L. and Tebaldo, V. (2015). Effectiveness of minimizing cutting fluid use when turning difficult-to-cut alloys. *Procedia CIRP*, 29, 341-346.
- Raj, A., Wins, K. L. D. and Varadarajan A. S. (2016). *Evaluation of the performance during hard turning of OHNS steel with minimal cutting fluid application and its comparison with minimum quantity lubrication*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Bengaluru, Karnataka, India.
- Seco. (2015). *Katalog ve Teknik Rehber 2015, Tornalama*. Seco, İsveç.
- Society of Manufacturing Engineers, (1992). *Cutting and Grinding Fluids: Selection And Application*, Second edition, Michigan.
- Suzuki, S., (2002). Developments in Oil Supplying Systems for MQL Cutting. *Journal of Japanese Society of Tribologists*, 47, 538-543.
- Şık, E. (2009). *Bitkisel tabanlı yağlardan metal kesme sıvısı eldesi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.
- Stephenson, D. A. and Agapiou, J. S. (2016). *Metal Cutting Theory and Practice, Third*

Edition. NY: CRC press.

Trent, E.M. (1989). *Metal Cutting*. London: Butterworths Press.

U.S Department of Health and Human Services. (1998). *Occupational Exposure to Metal Working Fluid*. NIOSH Publication No. 98-102.

Uysal, A., Demiren F. ve Altan, A. (2015, 5-7 Kasım). *AISI 304 paslanmaz çeliğin nano grafen katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı ve MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde takım aşınması*. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 356-363.

Viktor, P. (2006). *Tribology of Metal Cutting*, Tribology and Interface Engineering Series, No.52, London.

Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J. W. And Wakabayash, T. (2004), *Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 53(2), 511-537.

Xavior, M. A. and Adithan, M. (2009). Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Material Processing Technology*, 209(2), 900-909.

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KURAMSAL TEMELLER VE İŞLENEBİLİRLİK

Emin ÖZDEMİR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendisli Fakültesi

emin.ozdemir@iuc.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-6517-9270

Abdulkadir GÜLLÜ

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

agullu@gazi.edu.tr

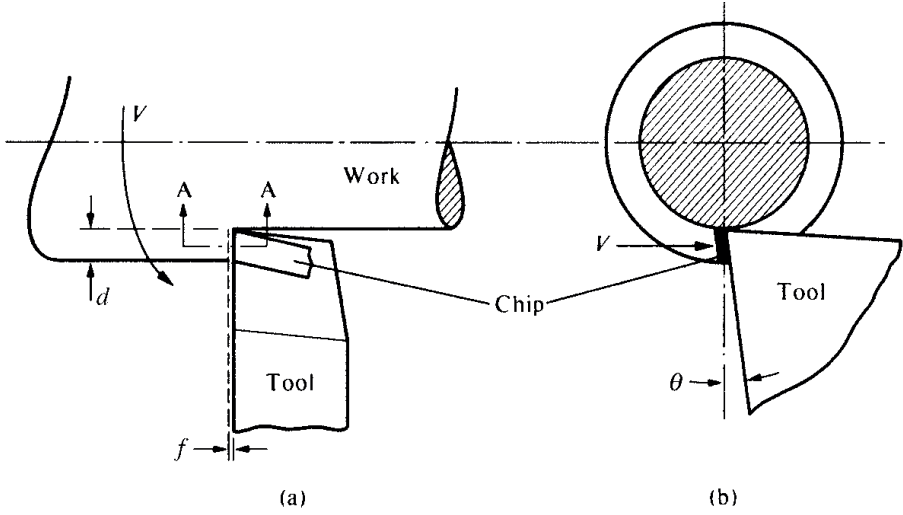
Orcid No:0000-0003-1088-4105

GİRİŞ

Metalik malzemelerin ve özellikle çelik alaşımların arzu edilen boyutlarına getirilmesinde yararlanılan imalat işlemlerinden birisinin de talaşlı imalat olduğu bildirilmiştir (Habak ve Lebrun, 2011; Maranhão ve Davim, 2010; M'Saoubi vd., 1999; Outeiro vd., 2006; Outeiro vd., 2008). Ayrıca talaşlı imalat, mekanik bileşenlerin üretiminde istenmeyen malzemeyi ortadan kaldırmak ve ürünlere nihai şeklini vermek için kullanılan en yaygın üretim süreçlerinden biridir (Altıntaş, 2000; Shaw, 1989). Talaşlı imalat teknolojisi, malzemeler, bilgisayarlar, sensörler ve aktüatörlerdeki gelişmelere paralel olarak ilerlemeye devam etmektedir. Konvansiyonel veya bilgisayarlı sayısal kontrollü (CNC) takım tezgahlarında gerçekleştirilen tormalama, delme, frezeleme, broşlama, baralama ve taşlama işlemleriyle iş parçası üzerindeki fazla malzeme kesilerek nihai ürüne dönüştürülür. Metal kesme işlemleri, takım tezgahına monte edilmiş kesici takım ile iş parçası arasında gerçekleşir. Takım tezgahının hareketi, CNC ünitesi tarafından kontrol edilir ve CNC'ye sayısal olarak kontrol edilen (NC) komutlar, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) sistemlerinde oluşturulur. Talaş kaldırma işleminin verimliliği ve doğruluğu, NC programlarının hazırlanma-

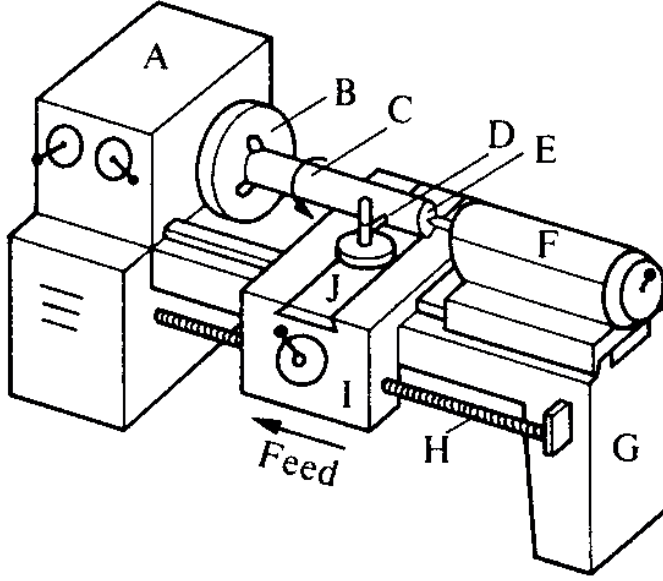
sına, işleme süreci parametrelerinin ve kesme koşullarının planlanmasına, kesici geometrisine, iş parçası ve kesici takım malzemelerine, takım tezgahı rijitliğine ve CNC ünitesinin performansına bağlıdır. Talaşlı imalat ve takım tezgahı teknolojisi ile uğraşan imalat mühendisleri, bu konuların her birine aşina olmalıdır. Bunları birbirine bağlamak ve işleme problemlerini çözmek için disiplinler arası bir şekilde uygulayabilmek de aynı derecede önemlidir (Altıntaş, 2000).

Çoğu mekanik parçanın nihai şekilleri, talaşlı imalat operasyonları ile elde edilir. Genellikle istenen şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip parçaları elde etmek için döküm, dövme ve haddelme gibi kütleli deformasyon işlemlerini bir dizi talaş kaldırma işlemi takip eder. Talaşlı imalat işlemleri iki ana kategori altında sınıflandırılabilir: kesme ve taşlama işlemleri. Kesme işlemleri, iş parçasından talaş kaldırarak malzeme çıkarmak için kullanılır. Akabinde uygulanan taşlama işlemi ise, iş parçasına iyi bir yüzey kalitesi ve hassas boyutlar sağlamak için kullanılır. En çok kullanılan kesme operasyonları; tornalama, frezeleme ve delme işlemleridir. Bunları, raybalama, baralama, broşlama (tığ çekme), azdırma ve form kesme gibi özel işlemler takip eder. Bununla birlikte, tüm metal kesme işlemleri aynı mekanik ilkeleri paylaşır, ancak geometrileri ve kinematikleri birbirinden farklı olabilir (Altıntaş, 2000). Bu bölümde, kesme mekaniğinin temellerine kısa bir giriş ve tornalama işlemlerinin mekaniğinin kapsamlı bir tartışması sunulmaktadır. Talaşlı imalat için, büyük gerinme, büyük gerinme hızı ve yüksek sıcaklıklar raporlanır (Sanchez vd., 2009). Talaş kaldırma sürecinde meydana gelen kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, kesici takım aşınması ve talaş oluşumu; malzemelerin işlenebilirlik kabiliyetini belirlerken, işlenen yüzey kalitesi ve iş parçası boyutları üzerinde doğrudan etkilidirler (Özdemir, 2020).



Şekil 1. Tek nokta torna işlemi. (a) Düzlem-üst görünüş (b) Yan görüş (Shaw, 1989)

Tornalama işlemi (Şekil 1), tek noktalı bir kesici takım ile istenmeyen malzemenin kaldırılarak silindirik bir yüzey oluşturulan talaş kaldırma işlemidir. Bu işlemin gerçekleştirildiği takım tezgahına torna tezgahıdır (Şekil 2). Operatör tarafından ayarlanan değişkenler, kesme hızı V (m/min), ilerleme hızı f (mm/rev) ve talaş derinliği d 'dir (mm). Talaş derinliği (d), genellikle ilerlemenin (f) en az beş katı olduğundan, talaşın üretilmesi iyi bir yaklaşımla düzlem gerinme ve dolayısı ile talaş genişliği deforme olmamış talaş genişliğine eşit kabul edilir (Shaw, 1989).



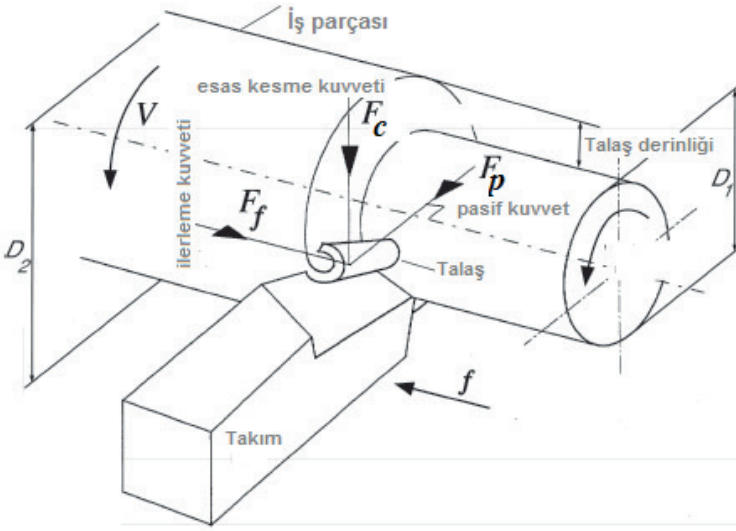
Şekil 2. Torna tezgahı; A:fener mili hız kutusu, B:ayna ve iş mili, C:iş parçası, D:kalemlik, E:iş mili eksenini, F: gezer punta, G:gövde, H:ana mil, I:araba, J:tabla (Shaw, 1989)

KESME KUVVETLERİ

Talaş kaldırma sürecinde meydana gelen kesme kuvvetleri; ısı oluşumu, kesici takım aşınması, işlenen yüzey kalitesi ve iş parçası boyutları üzerinde doğrudan etkilidir. Tornalama operasyonunda (eğik kesme modelinde) kesme kuvvetleri; Şekil 3’ de görüldüğü üzere, esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f), pasif (radyal) kuvvet (F_p) ve bileşke kuvvet (F) şeklinde ifade edilir (Şeker vd., 2002). Talaş kaldırma işlemi sürecinde kesici takım zamanla tedrici aşınmaya maruz kalır. Özellikle paslanmaz çelikler ve süper alaşımlar (Incoloy, Discoloy, Haynes, Nimonic, Inconel, Hastelloy, Waspaloy vb.) gibi işlenebilirliği zor malzemelerin işlenmesi esnasında kesme kuvvetlerinin yüksek olduğu ve bu durumun aşırı takım aşınmasına sebep olduğu bildirilmiştir. Talaş kaldırma için gerekli olan güç ile kesme kuvvetleri arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Kesme prosesinde har-

canan güç, üretimde en önemli maliyet faktörlerinden biri olan enerji sarfiyatını belirleyen unsurdur (Fedai ve Ünüvar; 2015, Kıvak ve Çetin, 2014).

Talaş kaldırma işlemi için gerekli olan güç (P_c); esas kesme kuvveti (F_c) ile kesme hızının (V) çarpımı sonucu bulunur. Esas kesme kuvvetinin büyüklüğü malzemenin özgül kesme direnci (k_c) faktörüne ilave olarak talaş derinliği (a_p) ve ilerleme (f) miktarına bağlıdır. Esas kesme kuvveti (F_c), talaş kaldırma işleminde harcanan gücü ve dolaylı olarak ortaya çıkan enerji maliyetini belirleyen en önemli unsurdur (Çakır, 2006).



Şekil 3. Tornalama prosesi ve kesme kuvvetlerinin geometrisi (Altuntaş, 2000)

Genelde talaş kaldırma işlemi için gerekli gücün %99'una karşılık gelen esas kesme kuvveti F_c ; kesme kuvvetlerinin en büyüğü olup kesme hızı yönünde etki etmektedir (Şekil 3). Esas kesme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadar olan ikinci büyüklükteki ilerleme kuvveti F_f ; kesici takımın ilerleme yönünde etki eder. Üçüncü ve en küçük kesme kuvveti olan pasif (radyal) kuvvet F_p ; ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadar olup, işlenen yüzeye dik etki etmektedir (Çakır, 2006; Trent, 1989).

Talaş kaldırma işleminde ölçülen kesme kuvvetinin üç bileşeni; radyal-pasif kuvvet ($F_y = F_p$), esas kesme kuvveti ($F_z = F_c$) ve ilerleme kuvveti ($F_x = F_f$) şeklindedir. Ölçülen bu üç kuvvet bileşeni yardımı ile bileşke kuvvet F_r , Eş. 1' de gösterilen formül vasıtası ile hesaplanır (Gharibi ve Kaynak, 2016).

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

Ayrıca ölçülen ilerleme kuvveti (F_p) ve esas kesme kuvveti (F_c) aşağıda verilen Eş. 2 ve Eş. 3 formülleri vasıtası ile kesici takımın talaş yüzeyindeki normal kuvvete (N) ve sürtünme kuvvetine (F) talaş açısı α dikkate alınarak dönüştürülebilir (Shaw, 1989; Gharibi ve Kaynak, 2016).

$$N = F_c \cos \alpha - F_f \sin \alpha \quad (2)$$

$$F = F_c \sin \alpha + F_f \cos \alpha \quad (3)$$

Böylece, kesici takımın talaş yüzeyindeki sürtünme katsayısı μ , Eş. 4 formülü ile elde hesaplanabilir (Shaw, 1989, Gharibi ve Kaynak, 2016).

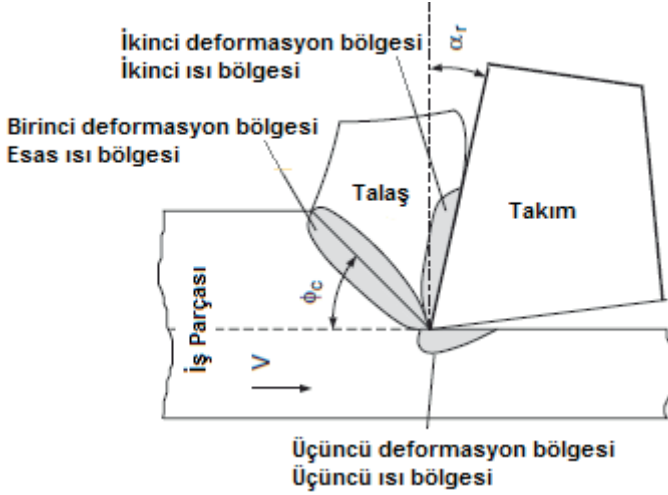
$$\mu = F / N \quad (4)$$

Kesme kuvvetleri, kesme performansının iyi anlaşılabilmesi için çok önemli bir parametredir. Üzerinden talaş kaldırılan iş parçası malzemesinin termal ve mekanik özellikleri, talaş kaldırma işleminde kullanılan soğutucular/yağlayıcılar, kullanılan kesici takımın özellikleri, kesici takımın gerek talaş ile gerekse iş parçası ile arasındaki temas ve tribolojik koşullar oluşacak kesme kuvvetlerinin büyüklüğünü etkiler (Kıtay vd., 2017; Kaynak vd., 2011).

Genel olarak, talaşlı imalatta kesme hızının artışı ile kesme kuvvetleri azalır. İşlenen malzemeye göre kesme kuvvetinin düşmesi değişiklik gösterebilir. İçeriğinde çok miktarda Cr ve Ni elementi bulunduran östenitik paslanmaz çeliklerin ve süper alaşımların işlenmesi sürecinde, diğer malzemelere nazaran daha fazla güce ve dolayısı ile enerji sarfiyatına ihtiyaç vardır. Bunun sebebi; bu malzemelerin kopma noktaları ve akma noktaları arasındaki mesafedir. Karbonlu çelikler ile kıyaslandığında bu mesafenin oldukça fazla olduğu anlaşılmaktadır (Korkut vd., 2004; Yeyen vd., 2009).

DEFORMASYON ve ISI OLUŞUMU

Talaş kaldırma işleminde kullanılan mekanik enerjinin tamamına yakını ısı enerjisine dönüşür. Bu sebeple talaşlı imalat işleminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktör ısı oluşumu ve kesme bölgesi sıcaklığıdır. Talaşlı imalatın kesme mekaniğinde, üç farklı deformasyon bölgesinde meydana gelen bu ısı, kesici takım, talaş ve iş parçası arasında paylaşılır (Şekil 4). Esas ısı bölgesi olan kayma düzlemi çevresinde (birinci deformasyon bölgesi) plastik deformasyon (malzemedeki iç sürtünmeler) sonucu, ikinci ısı bölgesi olan takım-talaş ara yüzünde (ikinci deformasyon bölgesi) takım ile talaş arasındaki sürtünme nedeniyle ve işlenmiş yüzey ile kesici kenar arasındaki sürtünme ve deformasyon etkisiyle ısı oluşur. Isı üretiminden kaynaklı sıcaklık artışı, takım aşınmasını, takım ömrünü ve malzemenin yüzey bütünlüğünü etkiler. Üretilen ısı ve sıcaklık, termal iletkenlik, termal difüzyon ve ısı transfer katsayısı dahil olmak üzere, proses parametrelerinin, iş parçası ve kesici takım malzemelerinin termo fiziksel özelliklerinin kullanımı ile bağlantılıdır (Özçatalbaş ve Baş, 2006; Grzesik ve Nieslony, 2004).



Şekil 4. Kesme bölgesinde deformasyon ve ısı oluşumu (Altıntaş, 2000)

Talaşlı imalat esnasında meydana gelen ısı, kesme kuvvetlerinde olduğu gibi üzerinden talaş kaldırılan iş parçası malzemesine göre değişir. Kesme bölgesindeki ısı oluşumunda çok önemli bir rolü olan kesme hızındaki artışla, kesme işlemi deformasyonu ve sürtünmesi için harcanan birim zamandaki enerji artar ve bu durum kesme bölgesindeki ısıyı ve dolayısı ile kesme bölgesi sıcaklığını yükseltir.

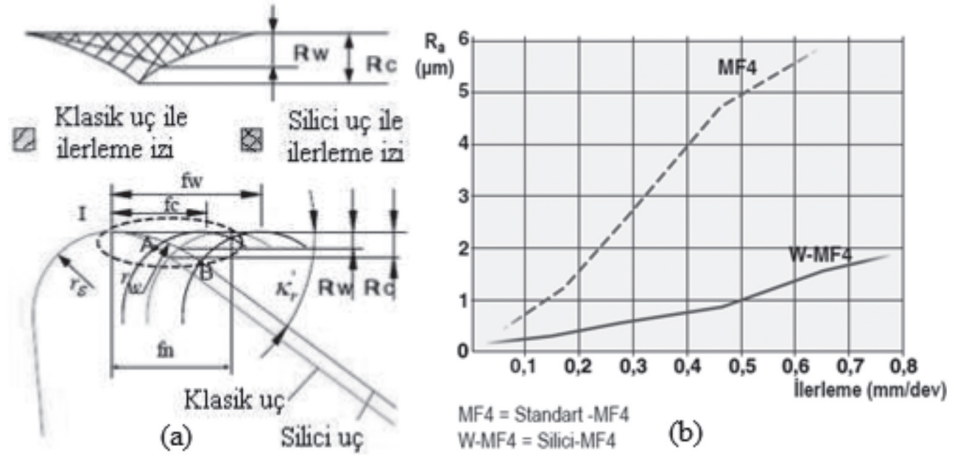
Kesici takım ömrünün kısılmasına neden olan yüksek sıcaklıklar, yüksek kesme hızlarının kullanımını engellemektedir. Diğer yandan ilerlemenin, kesme hızına kıyasla ısı oluşumuna etkisi daha düşüktür (Çakır, 2006; Zhang, 1991). Kesme bölgesindeki ısı oluşumu, büyük oranda kesici takım ile talaş arasındaki temas boyuna, iş parçası ile takım arasındaki sürtünmeye ve kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır. Oluşan ısının çoğunluğu kayma bölgesinde meydana gelirken, kesici takım ile talaş arasındaki temas boyu kesici performansını etkiler. Düşük kesme hızları, iş parçasına iletilen ısının artışına sebep olurken yüksek kesme hızları oluşan ısının büyük bir kısmının talaş ile uzaklaşmasını sağlayarak, takıma ve iş parçasına geçişini azaltır (Çakır, 2006).

KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ

Talaşlı imalat işlemlerinde artan verimlilik talepleri kesme parametrelerinin ve özellikle de ilerleme değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Yükselen ilerleme hızı değeri ile iş parası üzerinden birim zamanda kaldırılan talaş miktarı artarak verimliliğin yükselmesi sağlanır. Diğer yandan talaşlı imalat operasyonlarında işlenebilirliğin önemli bir ölçütü olan yüzey pürüzlülüğü ve kalitesi; ilerleme değeri ile kesici takım uç yarıçapının bir fonksiyonudur (Çakır, 2006). Eş. 5’de görüldüğü üzere, ilerlemedeki artış yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olurken, yüzey pürüzlülüğünün azalarak yüzey kalitesinin yükselmesini sağlayan takım uç yarıçapındaki artış aynı zamanda kesici takımın mekanik mukavemetini yükseltir (Çakır, 2006; Kıyak vd., 2016). Bu minvalde talaşlı imalatta verimliliği arttırmak için silici geometrisine sahip kesici takımlar kullanılmaktadır. Klasik geometriye sahip bir kesici takım ucu köşesinde sadece bir tane yarıçap geometrisi bulunurken, silici geometrisine sahip kesici takım ucu köşesinde birkaç yarıçapın bir araya gelmesi ile daha geniş bir kesici uç geometrisi oluşturulur (Şekil 5 a). Şekil 5 (b) de görüldüğü üzere, silici geometrisine sahip kesici takım ile yüksek ilerleme hızlarında düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilerek talaşlı imalatta gelişme ve verimlilik sağlanmıştır (Özdemir, 2020).

Silici geometrisi, takım ve iş parçası temas alanını genişleterek, daha yüksek termo mekanik yüklerin (kesme kuvvetleri ve sıcaklık) meydana gelmesine neden olur. Bu yüksek yükler yüksek basma kalıntı gerilmeler üretirler. Özetle, silici uç kullanımı, geleneksel kesici uçlara kıyasla daha üstün yüzey bütünlüğü ve daha yüksek verimliliğe yol açar (Guddat vd., 2011). Diğer yanda büyük kesici kenar

yarıçaplı takım kullanılarak yapılan işleme, kesme sıcaklığı artışı ve iş parçası ile kesici takım arasında yükselen yapışma etkilerinden dolayı yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Ayrıca büyük kesici kenar yarıçaplı takımlar ile kesme bölgesinde yükselen ısı, iş parçasında daha fazla çekme tipi kalıntı gerilme meydana getirme eğilimindedir. Fakat uygun soğutma kullanımı ile kesme bölgesindeki ısı azaltılarak, işlenmiş yüzey üzerinde büyük ve derin basma kalıntı gerilmeler meydana getirilebilir (Pu vd., 2012). Kesici kenar yarıçapındaki artış malzemenin sıkıştırılmasına ve daha derin plastik deformasyona neden olan kazıma etkisi meydana getirir (Klocke, 2018). Ayrıca artan kesici kenar yarıçapı daha kalın bir inceltmiş yüzey altı tabakaya yol açarken, daha büyük basma tipi kalıntı gerilmeler ve daha yüksek şiddete sahip bazal doku elde edilerek, metal alaşımlarının korozyon performansında artış sağlar (Pu vd., 2011).



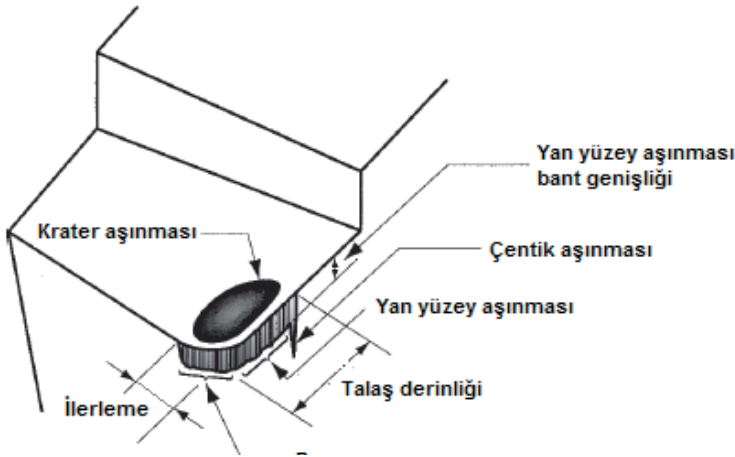
Şekil 5. Standart kesici uç ile silici geometrili kesici ucun karşılaştırılması; a) ilerleme izleri (Kiyak, 2016; Liu, 2008), b) R_a , ortalama yüzey pürüzlülüğü (Seco, 2015)

KESİCİ TAKIM AŞINMASI

Kesici takımdaki malzeme kaybından kaynaklanan ve takımın orijinal şekline göre meydana gelen farklılığa aşınma denir (Özçatalbaşı, 1996). Talaş kaldırma işlemi sürecinde, belirli bir süre kesme işlemi yerine getiren kesici takım, bir süre sonra kesici kenarında ve/veya komşu yüzeylerinde meydana gelen malzeme kaybından dolayı kesme kabiliyetini yavaş yavaş kaybeder. Kesme esnasında

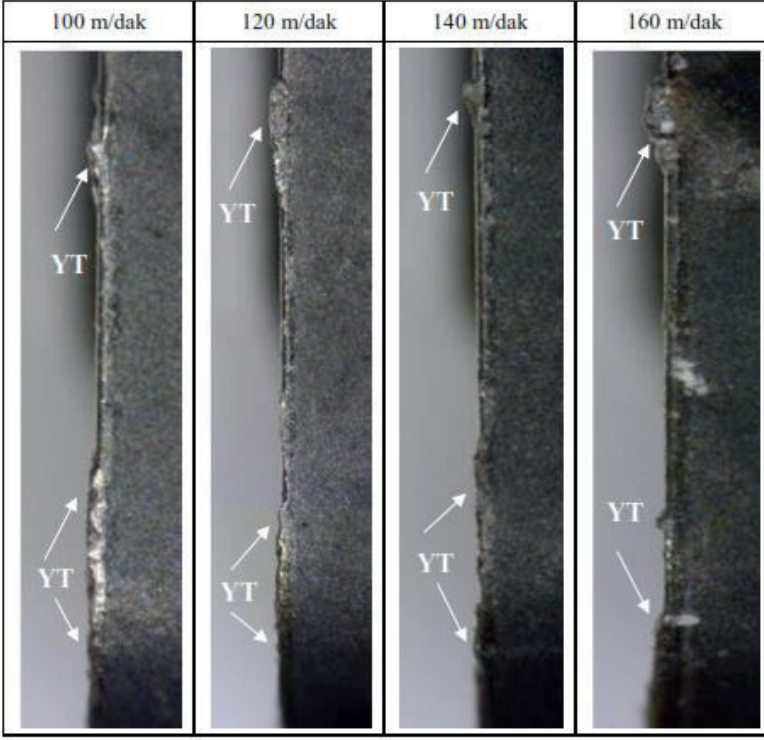
etkili olan büyük gerilmeler, kesme kuvvetleri, titreşimler, vuruntular, sürtünme ve yüksek ısı sonucunda kesici takımın ucunda aşınma veya kırılma şeklinde meydana gelen geometrik değişimler kesici takımın plastik deformasyona uğramasına neden olur (Kuş, 2013; Sarıkaya, 2014).

Aşınmaya sebep olan yük faktörleri, kesici takım ömrü ve kenar geometrisini değiştirmeye çalışır. Temel yük faktörleri; mekanik, termal (ısı), kimyasal ve aşındırıcı (abraziv) faktörlerdir. Talaş kaldırma esnasında kesici kenara etkiyen temel yük faktörleri sebebi ile talaş kaldırma işlemini etkileyen temel aşınma mekanizmaları; abraziv, difüzyon, oksidasyon, yorulma, adheziv (yapışma) mekanizmaları şeklinde sıralanabilir. Şekil 6' da görüldüğü üzere, aşınma mekanizmalarının etkisi ile kesici takımın maruz kaldığı başlıca aşınma tipleri; yan yüzey (serbest yüzey) aşınması, burun aşınması, krater aşınması, plastik deformasyon, çentik oluşumu (notch), termal çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, dökülme (chipping, kesici kenarda meydana gelen küçük kırılmalar sonucu parçacık kopması), kesici ucun kırılması ve yıgıntı talaş (BUE – Built Up Edge) oluşumudur (Çakır, 2006). Kesici takımın, işleme zamanına bağlı olarak ilerleyen takım aşınmaları (krater, yan yüzey ve burun) sonucunda kesme yeteneğini kaybeder. Kesici takım talaş yüzeyindeki talaş akışı sonucu oluşan içbükey bölge krater aşınması olarak adlandırılıp, aşınmanın büyüklüğü, bu bölgenin derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Kesici takım yan yüzeyi ile iş parçasının işlenen yüzeyi arasındaki sürtünme ile oluşan aşınma tipine ise yan yüzey aşınması denirken, kesicinin burun kısmındaki aşınma burun aşınması olarak adlandırılır (Özdemir, 2020).



Şekil 6. Kesici takımda oluşan aşınma tipleri (Groover, 2010)

Genel olarak, karbon çeliklerinin işlenmesi sürecinde kesici takımlarda tedrici yan yüzey ve krater aşınmaları görünür. Fakat özellikle östenitik paslanmaz çelikler gibi sünek malzemelerin işlenmesi esnasında kesici takımlarda genellikle ince talaş derinliği ve düşük ilerleme değerlerinde yan yüzey aşınması oluşur. Ayrıca yüksek ilerleme hızı veya büyük kesme derinliği değerlerinde uç kırılması ve çentik aşınması da görülür (Fedai ve Ünüvar, 2015). Kesici ucun talaş derinliği çizgisinde, eğik ve serbest yüzeylerinde aşırı derecede bölgesel hasarı ile belirlenen aşınma, çentik aşınması olarak adlandırılır. Diğer yandan yüksek kesme hızlarında meydana gelen aşırı ısının, kesici takımın sıcak sertliğini olumsuz etkileyerek, kesici takımda deformasyona neden olduğu bilinmektedir. Daha çok düşük veya orta seviye kesme hızı değerlerinde östenitik paslanmaz çelikler, alüminyum ve düşük karbonlu çelikler gibi sünek malzemelerin talaşlı imalat sürecinde, talaş ile kesici takım arasındaki sürtünmeden dolayı iş parçası malzemesinin kesici kenara ve talaş yüzeyine yapışması sonucu kesici kenarda talaş yığıntısı (talaşların basınç ile kaynaması) BUE meydana gelir. Kesici kenar gibi davranan BUE, kesici uçta deformasyon sertleşmesine maruz kalmış bir tabaka oluşumuna yol açar. Kesici kenara talaş yapışması ile zamanla büyüyen BUE, yine akan talaş ile kesici kenardan koparılarak uzaklaştırıldığında, takımın kesici kenarının ve talaş yüzeyinin aşınmasına neden olur. Bazen talaş ile uzaklaştırılmayan BUE parçacıkları işlenen yeni yüzeye yapışarak, yüzey kalitesini düşürür (Kalpakjian ve Schmid, 2010; Fedai ve Ünüvar, 2015; Sarıkaya, 2014; Altınkaya ve Güllü, 2008). Şekil 7' de görüldüğü üzere artan kesme hızıyla yığıntı talaş (BUE) oluşma eğiliminin azaldığı görülmektedir. Bu durum, kesme hızı ile birlikte sıcaklığın artması sonucu kesici takıma yapışan yığıntı talaşın, sertliğini ve dayanımını kaybederek takımdan uzaklaşması sonucu gerçekleşir (Altan Özbek vd., 2017).



Şekil 7. Kesme hızına bağlı olarak yığıntı talaştaki (BUE) değişim (Altan Özbek vd., 2017)

TALAŞ OLUŞUMU

Özellikle tornalama gibi sürekli talaş kaldırma işleminde, belirli kesme koşullarında kullanılan kesici takım geometrisi tarafından üretilen talaş tipinin ve akışının yönünü tahmin etmek, iş parçasının yüzey kalitesini ve kesici takım ömrü açısından son derece önemlidir (Özdemir, 2020).

Sürekli tornalama işleminde üretilen; şerit, karışık veya sarmal tipi talaşlar istenmeyen türlerdir (Şekil 8). Bu tip talaşların; işlenen yüzeye veya kesici takıma sarma ihtimalinde, otomatik talaş konveyörü ile tahliyesi mümkün değildir. İşlenen yüzeyin çizilmesi, kesici takımın kırılması ve çalışan güvenliği açısından, şerit, karışık ve sarmal şeklindeki talaş oluşumları, verimli bir talaşlı imalat işlemi için arzu edilmeyen talaş şekilleri olarak kategorize edilmiştir. Talaş şeklini etkileyen temel faktörler iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme sıvısı, tez-

gâhın dinamik özellikleri ve kesme koşullarıdır. Uzun talaşları kırmak için kesici takımın talaş yüzüne monte edilen veya kesici uçlarda bulunan talaş kırıcılar kullanılır. Talaş kırıcılar; talaşın doğal akış yönünü bozar ve talaşı iş parçasına veya kesici takıma doğru kıvrılmaya zorlayarak talaşın kırılmasına yol açan gerilmeleri oluşturur (Altıntaş, 2000).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
şerit talaş	karmaşık talaş	sarmal talaş	helisel talaş	uzun boru talaş	kısa boru talaş	spiral boru talaş	spiral talaş	uzun virgül talaş	kısa virgül talaş
elverişsiz			iyi				makul		

Şekil 8. Talaş tipleri (Altıntaş, 2000; Klocke, 2010)

Sünek malzemeler; yüksek kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve talaş derinliği değerlerinde işlendiğinde, meydana gelen talaş, iş parçasından sürekli ve akıcı olarak ayrılır. Kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü bakımından iyi olan bu durum, çalışanın güvenliği ve işlenen yüzeylerin çizilmesi ihtimali açısından kötü olduğundan talaşın düzgün bir şekilde kırılabilmesi önem arz etmektedir (Bakırcıoğlu vd., 2013; Altınkaya ve Güllü, 2008, Yılmaz vd., 2016).

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalat uygulamalarında yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. İşlenen parça kalitesi açısından en önemli kriterlerden biri olan işlenmiş yüzeylerin tribolojik özellikleri, birinci derecede yüzey pürüzlülüğünden

etkilenir (Tekaslan vd., 2008; Griffiths, 2001). Çünkü büyük pürüzlülük değerleri belirli noktalarda stres konsantrasyonunu indükleyerek özellikle yorulma yükü koşulları altında çatlak başlatmayı kolaylaştırır. Korozyonun önceden var olan yüzey kusurlarında başlamasının daha muhtemel olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, korozyon direnci gibi malzeme performansını arttırmada yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey kusurlarının azaltılması önemli rol oynar (Bertolini, 2009).

Yüzey pürüzlülüğü; kesme parametrelerine (ilerleme, kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve talaş derinliği) ve soğutma yağlama tekniğine bağlıdır (Tekaslan vd., 2008; Griffiths, 2001; Puertas Arbizu ve Luis Perez 2003). Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan en önemli kesme parametresinin ilerleme hızı olduğu belirtilirken, en az etkili olan kesme parametresinin ise kesme hızı olduğu belirtilmiştir. İlerleme hızı ve talaş derinliği değerlerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerinin yükseldiği, kesme hızının ise belli bir değere kadar yükselmesi ile yüzey pürüzlülük değerinin azalma eğilimine girdiği bildirilmiştir (Özek vd., 2006; Tekaslan vd., 2008; Kayır vd., 2013; Zeyveli ve Demir 2009). Yüzey pürüzlülüğü bileşenlerinden ortalama pürüzlülük değeri Ra ; teorik olarak aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanabilir (Yılmaz vd., 2016, Özel ve Karpat, 2005).

$$Ra = \frac{f^2}{18\sqrt{3} r} \quad (5)$$

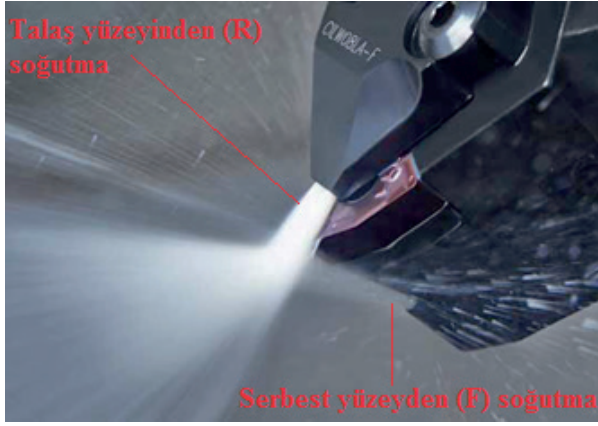
Eş. 5 incelenirse, ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) azaltılarak, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için ilerlemenin (f) düşürülmesi veya kesici uç yarıçapının (r) artırılması gerektiği görülmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün; kesici takım ile iş parçası özelliklerinin yanı sıra talaşlı imalat işlemi sırasında meydana gelen titreşim ve talaş oluşumu gibi unsurların yanında, Eş. 5’de yer almayan diğer kesme parametrelerinden etkilenmektedir (Yılmaz vd., 2016; Özel ve Karpat, 2005; Benardos ve Vosniakos, 2003).

SOĞUTMA ve YAĞLAMA YÖNTEMLERİ

Talaşlı imalatta, yüksek kesme sıcaklıklarının takım ömrü ve parça kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için kesme sıvısı kullanılır. Kesme sıvısının talaşlı imalattaki ana rolü, soğutma ve yağlama fonksiyonlarının yanı sıra talaşların taşınması, kesici takım aşınmasını önleme, korozyona karşı koruma, güç

azaltma, takım ömrünü uzatma, iş parçası kalitesini artırma, verimliliği yükseltme ve belli bir talaş tipinin oluşturulmasıdır (Akben ve Erten, 2009; Byers, 2006).

Kesme sıvısı, takım ile talaş ara yüzüne (kesici takım talaş yüzeyinden) veya doğrudan iş parçasına (kesici takım serbest yüzeyinden) olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır (Şekil 9). Kesici takımın talaş yüzeyinden uygulanan soğutma, takım-talaş ara yüzünde film tabakası oluşturarak sürtünmenin ve dolayısı ile takım aşınmasının azalmasını sağlar. Ayrıca sıcaklığını düşürerek gevrekleşen talaşın kırılabilme kabiliyeti artar (Hong vd., 2001). Kesici ucun serbest yüzeyinden uygulanan kesme sıvısı ise işlenen yüzeyin kalitesini geliştirir.



Şekil 9. Kesici takımdan soğutma sıvısı uygulaması (Seco, 2015)

Kesme sıvıları; soğutma, yağlama ve kesme bölgesinden talaşı uzaklaştırma işlevlerinden dolayı talaşlı imalat performansının artmasını sağlarlar. Kesme sıvılarının yağlama işlevi, kesici takım ile iş parçası ve kesici takım ile talaş arasındaki sürtünmenin azalmasını sağlar. Ayrıca takım ile talaş arasındaki kaynak benzeri malzeme yapışmasını önleyerek kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlar. Talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırarak, iş parçası yüzeyine ve kesici takıma zarar verebilecek talaş dolaşmalarını ve yeniden kesmeleri azaltır (Hong ve Broomer, 2000; Groover, 2010). Ancak kesme sıvıları, çalışan sağlığı, depolama ve elden çıkarma masraflarından dolayı maliyetlerin arttırmasına ve aynı zamanda sağlık ve çevre açısından ciddi tehlike yaratır (Raj vd., 2016; Kaçal, 2017]. Bu problemler nedeniyle, kesme sıvısı kullanımını azaltmak hatta önlemek için bazı alternatif yöntemler araştırılmıştır (Kaçal, 2017).

Özellikle talaşlı imalat sürecinde işlenmesi zor malzemelerin kesme performansını yükseltmenin yanında, yüksek kesme kuvvetleri, yüksek sıcaklık, hızlı takım aşınması ve düşük talaş kırılabilirliği problemlerini azaltmak amacı ile literatürde ve endüstride kesme sıvısı, minimum miktarda yağlama (MQL), yüksek basınçlı soğutma (HPC) ve kriyojenik soğutma gibi farklı soğutma ve yağlama teknikleri yaygın olarak tercih edilmektedir (Debnath vd., 2014; Duman ve Kaynak, 2016).

MQL (Minimum Miktarda Yağlama)

Talaşlı imalat işleminde kullanılan soğutma sıvısı veya kesme yağı miktarının kontrolü, tabiata ve insan sağlığına olan etkisinin yanında toplam üretim maliyeti açısından da önemlidir. Diğer yandan kullanılan kesme yağı veya soğutma sıvısı miktarını azaltırken, işlenen yüzey kalitesinin ve kesici takım ömrünün olumsuz etkilenmemesi gerekir. Son yıllarda geliştirilen ve kullanımı giderek yaygınlaşan minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemi bu problemlere cevap veren bir yöntem olarak görünmektedir (Çakır vd., 2013).

MQL yönteminde, çok küçük yağ damlacıklarının hava ile karışması sonucu, kesici takım ile iş parçası arasındaki yüzeyde ince bir yağ filmi oluşarak sürtünme ve ısınma minimum seviyelere indirgenir. MQL; özellikle talaşlı imalat işlemlerinde oluşan hızlı takım aşınması, yüksek sıcaklık ve düşük yüzey kalitesi gibi olumsuzlukları minimize etmek ve aynı zamanda çevreye duyarlı talaşlı imalat işlemi sağlamak amacı ile kullanılmaktadır (Priarone vd., 2015; Uysal vd., 2015; Kaçal 2017).

Genel olarak MQL tekniğinde yağlayıcı akış hızı 10-100 mL/h olup, geleneksel soğutma sıvılı kesmeye nazaran yirmi bin kat daha azdır (Autret ve Liang, 2003; Kuzu, 2013). Diğer yandan sağlık sorunlarına neden olmaması açısından püskürtülen sıvı yağın partikül ebatı 10 µm'den daha büyük olmalıdır (Thornburg ve Leith, 2000, Yıldırım vd., 2015). MQL ile talaşlı imalatın diğer bir avantajı ise talaş ve iş parçasının hemen hemen kuru kalması sonucu, talaş geri dönüşüm maliyetlerinin azalmasıdır (Kuzu vd., 2013; Itoigawa vd., 2006).

Kriyojenik Soğutma

Geleneksel kesme sıvılarının şirketlere ve çalışanlarına; pahalı çevresel ve sağlık yükümlülükleri getirdiği açıktır. Bu yüzden sıvı atık oluşturmayan, sağ-

liğa zararlı yan etkileri olmayan, yağ bazlı soğutuculara alternatif olacak karlı ve çevre dostu bir soğutucu arzu edilir (Hong ve Broomer, 2000). Bu minvalde tercih edilen kriyojenik soğutma metodu; kesme bölgesi sıcaklığını çok düşük değerlere düşürerek, işlenebilirlik performansını yükseltmek için kullanılan bir metottur (Duman ve Kaynak, 2016). Kesici takım ömrünü uzatmak amacıyla ilk kriyojenik soğutma uygulamalarında soğutma sıvısı olarak karbondioksit (CO_2) gazı kullanılırken, karbondioksitin kullanımında büyük hacimli tankların gerekliliği ve soğutucu kontrolünün problemliliği gibi sebeplerden dolayı azot gazı (N_2) kullanımı artmıştır (Özçatalbaş ve Baş, 2006; Çakır ve Kılıçkap, 2001). Talaş kaldırma işleminde kriyojenik soğutucu olarak genelde sıvı azot (LN_2) kullanılırken, son zamanlarda sıvı karbondioksitte (LCO_2) kriyojenik soğutucu olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sıvı karbon dioksit 57 bar basınçtaki tüplerde $-78,5$ °C sıcaklıkta depolanırken, sıvı azot -196 °C sıcaklıkta izole edilmiş tanklarda depolanmaktadır (Duman ve Kaynak, 2016; Jawahir vd., 2016; Busch vd., 2016; Blau vd., 2015).

Sıvı azot (LN_2) kullanılarak yapılan kriyojenik talaşlı imalat işlemi, geleneksel talaşlı imalata uygun bir alternatif olarak kabul edilebilir. 1 atm basınçta -196 °C'ye kadar düşük sıcaklığa sahip süper soğuk LN_2 iyi bir soğutucudur. Sıvı azot, kesme işlemi sürecinde ısı emildikten sonra, azot gazı olarak buharlaşıp havaya karışarak (havanın %78'i azottur), çevreye zararlı bir atık bırakmaz. Bu nedenle, doğal olarak geri dönüşüme uygun ve çevre dostu olarak kabul edilir (Hong ve Broomer 2000).

Kriyojenik talaşlı imalatta soğutucu, kesme sürecinde meydana gelen yüksek sıcaklığı minimuma düşürmek ve işlenen yüzey kalitesini yükseltmek amacı ile kesici takım ile talaş ara yüzüne veya doğrudan iş parçası yüzeyine olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır (Hong ve Zhao, 1999; Rotella vd., 2014). Uygulanan kriyojenik soğutucunun iş parçası ve kesici takım özelliklerini etkilemesi, takım-talaş ara yüzündeki sürtünme katsayısını azaltması sonucu talaşlı imalat performansı geliştirilir (Jawahir, 2011). Ayrıca kesici ucun talaş yüzeyinden uygulanan sıvı azot, talaş sıcaklığını hızlıca düşürmesi sonucu meydana gelen gevreklik nedeniyle talaşın kırılabilme kabiliyetini artırır. Talaş-takım temas alanı arasında oluşan sıvı film, kesici takıma malzeme yapışmasını azaltarak BUE yığıntı talaş oluşumunu hafifletir veya ortadan kaldırır. Ayrıca, kesme bölgesi sıcaklığını düşürerek kesici uç malzemesinin sertliğine pozitif katkı sağlayan kriyojenik soğutma kesici uçların aşınma davranışını geliştirerek takım ömrünü uzatır (Hong vd., 2001). Kesici ucun serbest yüzeyinden uygulanan sıvı azot, üretilen

parçaların yüzey bütünlüğüne fayda sağlayacaktır. Kriyojenik soğutmanın takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne sağladığı yararlı katkılara ek olarak, mikroyapı, mikrosertlik, yüzey dokusu, faz dönüşümü ve kalıntı gerilme gibi iş parçasının yüzey bütünlüğü özellikleri üzerine etkisinden dolayı medikal implantların servis performansı açısından kritik öneme sahiptir (Özdemir, 2020).

HPC (Yüksek Basınçlı Soğutma)

Kesme işleminde yüksek basınçlı soğutma sıvısı (HPC) uygulaması kesici takım aşınmasını güçlü bir şekilde etkileyerek daha uzun takım ömrü sağlayabilir. Basınçlı sıvının takım-iş parçası ve takım-talaş temas bölgesine daha iyi nüfuz etmesi sonucu daha iyi bir soğutma etkisi sağlaması ve temas alanlarının yağlanmasıyla takım aşınmasının azaltılması mümkündür (Özdemir, 2020).

İŞLENEBİLİRLİK

Nispeten daha sert bir kesici takım ile iş parçası malzemesinden talaş kaldırma işlemi olan talaşlı imalat sürecinde, değişik tipteki metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışları, metallerin işlenebilirliği olarak tanımlanabilir. İşlenebilirlik, talaş kaldırma sürecinde bir malzemenin kesici tarafından kolaylıkla kesilerek şekillendirilebilmesi olarak tanımlanabilir. Talaşlı imalat için, büyük gerinme, yüksek gerinme hızı ve yüksek sıcaklıklar raporlanır. İşlenebilirlik çalışmalarında, kesici takım ve işlenecek malzemeye göre değişen ve kesme prosesi çıktılarını (işleme zamanı, takım ömrü, kesme kuvvetleri, sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü vb.) en çok etkileyen unsurların başında kesme parametreleri ve koşulları gelir. Yapılan çalışmalar genellikle kesme parametrelerini ve koşullarını iyileştirmeye yöneliktir. Kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme oranı/hızı ve kesme derinliği gibi unsurlardan oluşurken kesme şartı veya koşulu operasyon esnasında kullanılan soğutma yağlama tipini belirtir. Uygun kesme parametrelerini ve şartını belirlemek için farklı kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve soğutma tiplerinin denenmesi gerekmektedir (Özdemir, 2020).

Talaşlı imalatta işlenebilirliğin zorlaşması imalatçılar açısından büyük bir problemdir. Arzu edilen yüzey kalitesi ve pürüzlülüğü, doğru seçilen kesme parametreleri ile sağlanmaktadır. Kesme parametrelerinin seçimi genel olarak tecrübeye göre veya kesici takım kataloglarındaki bilgiler ışığında yapılmaktadır. Buna

rağmen imalat resimlerinde belirtilen arzu edilen yüzey kalitesini sağlamak için kesme parametrelerinin tespit edilmesi oldukça zordur (Tekaslan vd., 2008).

Diğer yandan işleme verimliliğinde giderek artan talepler, yüksek kesme hızları ve ilerleme oranı/hızı değerlerinin kullanımını gerekli kılmaktadır. Yüksek kesme parametrelerinin doğurduğu yüksek kesme bölgesi sıcaklığı ve işlenen malzemenin kötü termal iletkenliği, yalnızca kesici takım ömrünü düşürmekle kalmaz, aynı zamanda işlenen yüzey kalitesini ve pürüzlülüğünü de olumsuz etkiler (Kaçal, 2017; Sharma vd., 2009; Dhar vd., 2007; Sarıkaya ve Güllü, 2014). Talaşlı imalat sürecinde, zor kesilebilen malzemelerin işlenmesi, düşük işlenebilirliklerinden dolayı verimlilik ve imalat maliyetleri açısından oldukça problemlidir (Kaçal, 2017, Karagüzel vd., 2015).

Östenitik paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı imalat işlemi sürecinde, kesme bölgesinde oluşan termal etkilerin ve plastik deformasyonun tetiklediği, östenitik mikroyapı içerisindeki martenzit oluşumu, bu çeliklerde yüksek pekleşme eğilimine sebep olmaktadır (Sanchez vd., 2009). Östenitik paslanmaz çelik malzemelerdeki yüksek pekleşme eğilimi, işlenebilirlik performansını negatif yönde etkileyen faktörlerdendir (Çiftçi, 2004; Jiang vd., 1997).

Yüksek pekleşme eğilimleri, sünek yapıları ve düşük ısıl iletkenlik değerleri sebebi ile östenitik paslanmaz çelikler, kesici takımlarda farklı aşınma mekanizmalarının ve sınıflarının ortaya çıkmasına ve hızlı bir şekilde ilerlemesine sebep olmaktadır (Çakır, 2006; Altan Özbek vd., 2017). Yüksek süneklik özelliğinden dolayı işleme sürecinde iş parçası malzemesi kesici takım yüzeyine kuvvetli bir şekilde yapışır ve kesici uçta geometrik değişime neden olur. İşleme operasyonu esnasında kesici takıma kaynak olan malzeme bir müddet sonra yapıştığı kenarla birlikte kırılarak kaba yüzey pürüzlülüğüne ve hızlı takım aşınmasına sebep olur (Trent, 1989; Selinder vd., 1998; Çiftçi, 2004).

Diğer yandan işlenen malzemenin kimyasal kompozisyonu da işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. AISI 316LVM paslanmaz çeliğin kimyasal bileşiminde yaklaşık %2,75 oranında molibden (Mo) olduğu bilinmektedir. Mo elementi çeliklerde sıcak sertliği ve aşınma dayanımını artırıcı etki yapar (Shaw, 1989; Çiftçi, 2005; Çakır, 2006; Çiftçi, 2006; Kalpakjian ve Schmid, 2010; Altan Özbek vd., 2017). Mo elementi 2610 °C (Savaşkan, 2007; Altan Özbek vd., 2017) değeri gibi yüksek ergime sıcaklığından dolayı refrakter bir malzeme olması sebebi ile çeliklere yüksek sıcak sertlik özelliği kazandırır. Ayrıca karbür yapıcı bir element olması sebebi ile daha iyi sertlik özelliği ve aşınma direnci sağlar. Talaşlı

imalatta bu tip malzeme özelliklerinin plastik deformasyonu zorlaştırdığı bilinmektedir. Talaşlı imalat işleminde meydana gelen yüksek plastik deformasyonun neden olduğu ısı kesme bölgesindeki sıcaklığı yükseltir. Bu sıcaklık artışının doğal sonucu olarak, iş parçası malzemesinin kesme bölgesinde dayanımı azalır ve dolayısı ile talaş kaldırmak için daha az kuvvet gereklidir. Deformasyon için gereken kuvvetteki bu azalma, yüksek Mo içeriğinden dolayı AISI 316LVM paslanmaz çeliklerde daha az olacağı için bu alaşımın işlenmesinde talaş kaldırmak için daha yüksek kuvvet gereklidir (Çiftçi, 2006).

SONUÇ

Talaşlı imalat, konvansiyonel veya CNC takım tezgahları, bilgisayar destekli tasarım ve imalat, kesici takımlar, metalik malzemeler ve alaşımları, soğutma ve yağlama teknikleri alanlarını içeren oldukça geniş bir konudur. Parça üretiminde zaman zaman talaşlı imalat işlemlerinden bir tanesi veya bir kaçının sıra ile uygulanması gerekebilir. Talaşlı imalat işlemlerinde karşılaşılan problemlerin çözümleri ve mevcut imalat işlemlerinin geliştirilmesi için akademik ve mühendislik deneyim gereklidir. Yukarıda anlatılan tüm konularda uzman olmak imkansız olsa da, bir imalat mühendisinin bir parçanın hassas ve ekonomik üretimi için mühendislik temellerine aşina olması gerekir. Konvansiyonel ve CNC takım tezgahlarının nasıl kullanılacağını ve programlanacağını bilen teknik elemanlar ve mühendisler, ayrıca takım tezgahlarının tasarım ve dahili çalışma ilkelerine aşina olmalıdırlar. Sürdürülebilir verimliliği sağlamak için talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan CNC takım tezgahlarına yapay zeka uygulamaları eklenmeye başlamıştır. Bu bağlamda talaş kaldırma sürecinde meydana gelen, kesme kuvvetleri, titreşimler, kesme bölgesi sıcaklığı, kesici takım aşınması ve kesme sesi, tezgaha monte edilen sensörler vasıtası ile ölçülür. Ölçülen bu veriler ışığında, sensör sinyalleri ile işleme durumunu ilişkilendiren matematiksel modeller oluşturulur. Bu matematiksel modeller vasıtası ile işleme sürecini izleyen ve oluşabilecek olumsuzlukları düzeltmek için CNC tezgaha komutlar gönderen gerçek zamanlı algoritmalar kodlanmıştır.

Not: Kitap bölümü olarak hazırlanan bu derleme çalışması, yazarlardan Emin Özdemir'in *Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çelikler*

rin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü ve Fonksiyonel Performansının Geleştirilmesi konulu doktora tezinin literatür taraması ve kuramsal temeller bölümlerinden türetilmiştir.

KAYNAKÇA

- Akben, U. ve Erten, M. (2009, 2-3 Ekim). *Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi*. 1. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul.
- Autret, R. and Liang, S. Y. (2003). *Minimum quantity lubrication in finish hard turning*. HNICEM, Philippines.
- Altan Özbek, N., Çiçek, A., Gülesin, M. ve Özbek, O. (2017). AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 43-49.
- Altınkaya E. ve Güllü A. (2008). AISI 316 Östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesme hızının ve takım kaplamasının takım aşınmasına etkileri. *Politeknik Dergisi*, 11(3), (243-247).
- Altıntaş, Y. (2000). *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibration and CNC Design*, USA: Cambridge University Press.
- Bakırcıoğlu, B., Duran, A., Yazman, Ş. ve Kuş, Ö. (2013, 7-9 Kasım). *AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü etkisinin araştırılması*. 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Kuşadası, 571-579.
- Benardos, P. G. and Vosniakos, G. –C. (2003). Predicting surface roughness in machining: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(8), 833-844.
- Bertolini, R., Bruschi, S. and Ghiotti, A. (2009). Enhancement of corrosion resistance to sterilization stages of a biomedical grade AISI 316L stainless steel by means of low temperature machining. *Materialstoday: Proceedings*, 7(1), 552-559.
- Blau, P., Busch, K., Dix, M., Hochmuth, C., Stoll, A. and Wertheim, R. (2015). Flushing strategies for high performance, efficient and environmentally friendly cutting. *Procedia CIRP*, 26, 361-366.
- Busch, K., Hochmuth, C., Pause, B., Stoll, A. and Wertheim, R. (2016). Investigation of cooling and lubrication strategies for machining high-temperature alloys. *Procedia*

- Byers, J. P. (2006). *Metalworking Fluids, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Çakır, M. C. (2006). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Çakır, O. ve Kılıçkap, E. (2001, 2-3 Kasım). *Metallerin soğuk talaşlı işlenmesi*. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, 279-283
- Çakır, A., Yağmur, S. ve Şeker, U. (2013, 7-9 Kasım). *Farklı şartlarda uygulanan minimum miktarda soğutma yönteminin AA7075 alüminyum alaşımının tornalanması sürecine olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi*. 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Kuşadası.
- Çiftçi, İ. (2004). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takım ile işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması. *Teknoloji Dergisi*, 7(3), 489-495.
- Çiftçi, İ. (2005). Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 205-209.
- Çiftçi İ. (2006). Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools. *Tribology International*, 39(6), 565-569.
- Debnath, S., Reddy, M. M. and Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of cleaner production*, 83, 33-47.
- Dhar, N. R. ve Islam, S. and Kamruzzaman, M. (2007). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4340 steel. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 20(2), 23-32.
- Duman, E. ve Kaynak Y. (2016, 3-5 November). *316L paslanmaz çelik malzemesinin kriyojenik talaşlı imalat sürecinde yüzey bütünlüğü analizi*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 253-265.
- Fedai, Y. ve Ünüvar, A. (2015, 5-7 Kasım). *316L östenitik paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkileri*. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 346-355.
- Gharibi, A. and Kaynak Y. (2016, 3-5 November). *The influence of liquid nitrogen and carbon dioxide cryogenic coolants on machining performance of hardened steel*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 177-191.
- Griffiths, B. J. (2001). *Manufacturing Surface Technology in: Surface Integrity and Fun-*

ctional Performance. London: Penton Press.

- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems (5th ed.)*. NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Grzesik, W. and Nieslony, P. (2004). Prediction of friction and heat flow in machining incorporating thermophysical properties of the coating – chip interface. *Wear*, 256(1-2), 108-117.
- Guddat J., M'Saoubi, R., Alm, P. and Meyer, D. (2011). Hard turning of AISI 52100 using PCBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity. *Procedia Engineering*, 19, 118-124.
- Habak, M. and Lebrun, J. L. (2011). An experimental study of the effect of high-pressure water jet assisted turning (HPWJAT) on the surface integrity. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(9), 661-669.
- Hong, S.Y. and Zhao, Z. (1999). Thermal aspects, material considerations and cooling strategies incryogenic machining. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1(2), 107-116.
- Hong, S. Y. and Broomer, M. (2000). Economical and ecological cryogenic machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Clean Products and Processes*, 2, 157-166.
- Hong, S. Y., Irel, M., and Jeong, W. C. (2001). New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(15), 2245-2260.
- Itoigawa, F., Childs, T. H. C., Nakamura, T. and Belluco, W. (2006). Effects and mechanisms in minimal quantity lubrication machining of an aluminum alloy. *Wear*, 260(3), (339-344).
- Jawahir, I., Attia, H., Biermann, D., Duflou, J., Klocke, F. and Meyer, D. (2016). Cryogenic manufacturing processes. *CIRP Annals, Manufacturing Technology*, 65(2), 713-736.
- Jawahir, I. S., Brinksmeier, E., M'Saoubi, R., Aspinwall, D. K., Outeiro, J.C., Meyer, D., Umbrello, D. and Jayala, A. D. (2011). Surface integrity in material removal processes: recent advances. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 60(2), 603-626.
- Jiang, L., Roos, A. and Liu, P. (1997). The influence of austenite grain size and its distribution on chip formation and tool life during machining of AISI 304L. *Metallurgical and Materials Transactions*, 28A, 2415-2422.

- Kaçal, A. (2017, 2-4 November). *PMD 23 Çeliğin tornalanmasında % 0,15 Nano-MoS₂ Katkılı minimum miktarda yağlama (MMY) performansının incelenmesi*. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 340-351.
- Kalpakistan, S. and Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. New York: Pearson Education.
- Karaguzel, U., Olgun, U., Uysal, E., Budak, E. and Bakkal, M. (2015). Increasing tool life in machining of difficult-to-cut materials using non conventional turning processes. *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 77, 1993-2004.
- Kayır, Y., Aslan, S. ve Aytürk, A. (2013). AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin taguchi yöntemi ile analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 363-372.
- Kaynak, Y., Karaca, H. and Jawahir, I. S. (2011, 23 June). *Cryogenic machining of NiTi shape memory alloy*. 6th International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, Ankara, 23-26.
- Kıtay, Ö., Kırmacıoğlu, K. E. ve Kaynak, Y. (2017, 2-4 November). *P20 takım çeliğinin karbondioksit yardımlı talaşlı imalat performansının değerlendirilmesi*. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 206-218.
- Kıvık T. ve Çetin Ş. (2014, 23-25 Ekim). *15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme kuvvetinin taguchi metodu ile optimizasyonu*. 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Bursa, 437-447.
- Kıvık, M., Çetin, M. ve Emiroğlu, U. (2016, 3-5 November). *Silici geometrilili kesici uçlarla tornalamada yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 288-296.
- Klocke, F. (2010). *Simulation in Manufacturing Technology: Lecture 8, Principles of Cutting*. Aachen: RWTH.
- Klocke F., Döbbeler, B, Lung, S., Seelbach, T. and Jawahir, I. S. (2018). Analysis of surface integrity in machining of AISI 304 stainless steel under various cooling and cutting conditions. *Proceedings of The 21. International ESAFORM Conference on Material Forming, AIP Conference Proceedings 1960*, 070015, 1-6.
- Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ. ve Şeker, U. (2004). Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design*, 25(4), 303-305.
- Kuş, A. (2013). *AISI 52100 Rulman Çeliğinin Tornalanmasında Uygun Kesici Takım ve*

- Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 20-24.
- Kuzu, A. T., Tülü, T., Baysal, G., Çelik, C. ve Bakkal, M. (2013, 7-9 Kasım). *CO₂-MQL sisteminin işlenebilirliğe etkisi*. 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Kuşadası.
- Liu, Z., Zhang, P., Guo, P. and Ai, X. (2008). Surface roughness in high feed turning with wiper insert. *Key Engineering Materials*, 375-376, 406-410.
- Maranhão, C. and Davim, P. J. (2010). Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, 139-156.
- M'Saoubi, R., Outeiro, J. C., Changeux, B., Lebrun, J. L. and Moraão Dias, A. (1999). Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 96(1-3), 225-233.
- Outeiro, J. C., Umbrello, D. and M'Saoubi, R. (2006). Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(14), 1786-1794.
- Outeiro, J. C., Pina, J. C., M'Saoubi, R., Pusavec, F. and Jawahir, I. S. (2008). Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult to machine materials. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57(1), 77-80.
- Özçatalbaş Y. (1996). *1050, 4140, 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-18.
- Özçatalbaş, Y. ve Baş, A. (2006). Effect of cooling by air spraying on cutting forces and tool life in turning. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(3), 451-455.
- Özdemir, E. (2020). *Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü Ve Fonksiyonel Performansının Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özek, C., Hasçalık, A., Çaydaş, U., Karaca, F. ve Ünal, E. (2006). Turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2, 117-121.
- Özel, T. and Karpaz, Y. (2005). Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4-5), 467-479.

- Priarone, P. C., Robiglio, M., Settineri, L. and Tebaldo, V. (2015). Effectiveness of minimizing cutting fluid use when turning difficult-to-cut alloys. *Procedia CIRP*, 29, 341-346.
- Pu, Z., Outeiro, J. C., Batista A. C., Dillon Jr., O. W., Puleo, D. A. and Jawahir, I. S. (2011). Surface integrity in dry and cryogenic machining of AZ31B Mg alloy with varying cutting edge radius tools. *Procedia Engineering*, 19, 282-287.
- Pu, Z., Outeiro, J. C., Batista, A. C., Dillon Jr, O.W., Puleo, D. A. and Jawahir, I.S. (2012). Enhanced surface integrity of AZ31B Mg alloy by cryogenic machining towards improved functional performance of machined components, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 56, 17-27.
- Puertas Arbizu, I. and Luis Perez, C. J. (2003). Surface roughness prediction by factorial desing of experiments in turning processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 390-396
- Raj, A., Wins, K. L. D. and Varadarajan A. S. (2016). *Evaluation of the performance during hard turning of OHNS steel with minimal cutting fluid application and its comparison with minimum quantity lubrication*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Bengaluru, Karnataka, India.
- Rotella, G., Dillon Jr., O., Umbrello, D., Settineri, L. and Jawahir, I. S. (2014). The effects of cooling conditions on surface integrity in machining of Ti6Al4V alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71, 47-55.
- Sanchez, M. A., Miguelez, H., Canteli, J. A. and Cantero, J. L. (2009, 7-11 September). *The influence of tool wear in surface integrity when machining austenitic stainless steel*. 9th International Conference on The Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading, Brussels, Belgium, 1823-1829.
- Sarıkaya, M. (2014). *Kobalt Esaslı Haynes 25 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 53-56.
- Sarıkaya, M. and Güllü, A. (2014). Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.
- Savaşkan, T. (2007). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. Trabzon: Derya Kitabevi
- Sharma, V. S., Dogra, M. and Suri, N. M. (2009). Cooling techniques for improved productivity in turning. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49(6), 435-453.
- Shaw, M. C. (1989). *Metal Cutting Principles*. Oxford: Oxford University Press.

Seco. (2015). *Katalog ve Teknik Rehber 2015, Tornalama*. Seco, İsveç.

Selinder, T. I., Sjostrand, M. E., Nordin, M., Larsson, M., Ostlund, A. and Hogmark, S. (1998). Performance of PVD TiN/TaN and TiN/TiNbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining. *Surface and Coating Technology*, 105(1-2), 51-55.

Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ. (2002). Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion. *Materials and Design*, 23(4), 355-360.

Tekaslan, Ö., Gerger, N. ve Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. *BAÜ FBE Dergisi*, 10(2), 3-12.

Thornburg J. and Leith D., (2000), “Size Distribution of Mist Generated During Metal Machining”, *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 15(8):618–628.

Trent, E.M. (1989). *Metal Cutting*. London: Butterworths Press.

Uysal, A., Demiren F. ve Altan, A. (2015, 5-7 Kasım). *AISI 304 paslanmaz çeliğin nano grafen katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı ve MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde takım aşınması*. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 356-363.

Yeyen, H. E., Korkut İ., Turgut Y. ve Çiftçi İ. (2009, 13-15 Mayıs). *AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye.

Yıldırım, Ç. V., Kıvak T. ve Erzincanlı, F. (2015, 5-7 Kasım). *Minimum miktarda yağlama tekniğinin delme ve taşlama operasyonlarındaki uygulamaları üzerine bir derleme*. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 247-263.

Yılmaz, B., Karabulut, Ş. ve Güllü, A., (2016, 3-5 November). *AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalanması esnasında kullanılan dinamik talaş kırıcının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin araştırılması*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 279-287.

Zeyveli, M. ve Demir, H. (2009). AISI 01 Soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından araştırılması. *Engineering Sciences*, 4(3), 323-331.

Zhang, J.H., “Theory and technique of precision cutting”, Pergamon Press, Oxford, 1-50 (1991).

6. Bölüm

P-MEDYAN TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI

Arş. Gör. Mustafa GÜLER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Bilimleri Bölümü

mustafaguler@istanbul.edu.tr

GİRİŞ

Tesis yeri seçimi problemi literatür de çok sık karşılaşılan ve önemli bir yeri olan problemlerden biridir. Tesis yeri seçim kararları tüm tedarik zinciri süreçlerini etkileyen ve lojistik maliyetlerinde belirleyici olan kararlardır. Bununla birlikte işletmelerin karlılıklarını uzun vadede etkileyen çok boyutlu ve önemli etmenlerdir. Dolayısıyla tedarik zinciri maliyetlerinin işletme giderleri içerisinde arttığı son yıllarda tesis yerinin seçimi çok daha önemli bir hale gelmiştir. Son yıllarda şebeke temelli tesis yeri seçimi problemi üzerine yapılan çalışmaların artmasıyla birlikte bu durum ülke içerisinde birden çok noktada faaliyet gösteren işletmelerin çoğalmasıyla doğrudan ilişkili olmaktadır. Bu yüzden yer seçimi ve atama modelleri olarak ifade edilen tesis yerlerinin belirlenmesi ve talep noktalarının atanması eskiye göre stratejik bir hale gelmiştir.

Tesis yeri seçimi problemi okullar, hastaneler, devlet daireleri gibi stratejik önem taşıyan kamu hizmet binaları için yapıldığı gibi, fabrikalar, mağazalar ve depolar gibi arzın ve talebin olduğu üretim ve tüketim noktalarının seçiminde de önemli bir yere sahiptir. Dahası tesis ağının stratejik şekilde seçilerek müşterilerin isteğini karşılamada, üretim ve işletme maliyetlerinin düşürülmesinde ve işletmenin karlılığını doğrudan etkilemede önemli bir yere sahiptir.

Tesis yeri seçim problemi tesislerin harita üzerindeki istenilen noktaya yerleştirilebildiği model olan sürekli yapıda ya da tesislerin sadece belirlenen şebeke yapısı üzerindeki noktalara yerleştirilebildiği ayrık yapıda olabilmektedir. Yer seçimi kararlarında iki tür maliyet etkin olmaktadır. Bunlar sabit ve değişken maliyetlerdir. Sabit maliyetler genellikle kuruluş yerleri ile ilgili değişmez maliyetlerdir. Burada değişken maliyetler ise doğrudan talep noktaları ile ilgili olup farklı talep yerleri düşünüldüğünde toplam maliyeti direkt etkileyen faktörlerdir. Bu yüzden hem sabit hem de değişken maliyetler optimal kuruluş kararlarının alınmasında oldukça etkilidir.

Yapacağımız çalışmada ki p-medyan problemi, gerçek hayatta yerleşim yerlerini noktalar olarak düşünüp aradaki yolların ise noktalar arasındaki bağlantıları ifade edeceği şeklinde mesafeyi minimize edecek p adet tesisin kurulmasını amaçlamaktadır. Çalışmanın 2. Bölümünde literatür de çalışılmış benzer p-medyan problemleri incelenmiş ve bu problemlere özgü geliştirilen yöntemlere yer verilmiştir. Çalışmanın 3. Bölümünde ele alınan problemle ilgili matematiksel model önerilmiş devam eden bölümde genetik algoritma ve uygulaması yapılmıştır. 5. Bölümde genetik algoritmanın p-medyan veri seti üzerinde ki uygulamalarına yer verilmiş ve son kısımda sonuçlar ve öneriler yapılmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Lojistik yönetimi literatür de oldukça sık bulunan ve özellikle son yıllarda bu alana olan ilginin artmasından dolayı sıkça çalışılan bir konudur. Lojistiğin temel amacı talep edilen ürün veya hizmetin en hızlı ve güvenilir şekilde müşteriye ulaştırılmasıdır. Bazen dağıtım merkezlerinin tek merkez üzerinden yürütülmesi ve artan talep miktarlarına yetişilmemesi nedeniyle firmalar müşteri kaybı yaşamakta dolayısıyla zarar etmektedirler. Bu yüzden zaman zaman firmalar ilave bir tesis, depo ihtiyacı duymaktadırlar (Daskin, 2008). Tesis yerleştirme ile ilgili yapılan çalışmalarda genel amaç ulaşım maliyetlerini minimize edecek tesis sayısının belirlenmesi ve talep noktalarının en yakın tesise atanması olarak ifade edilebilir (Caccetta ve Dзатор, 2005). Bir başka ifadeyle müşterinin talebinin yoğunluğuna göre müşteri ile en yakın tesisin bulunmasıdır. Depo yeri ve dağıtım yeri problemleri tesis yeri seçimi problemlerinin alt bir türü olmakla birlikte, bizim çalışmamız depo yeri ve dağıtım yerleri seçimi ile doğrudan ilişkili olduğu için literatür de çoğunlukla bu alanla ilgili çalışmalar incelenmiştir.

Tedarik zincirinin en önemli halkalarından bir tanesi de tesisin seçileceği alanın iktisadi ve siyasi özellikleridir. Yeni bir tesis açmadan önce uzun bir ön araştırma yapılması firmanın uzun vadede zarar etmemesi adına oldukça önemli bir konudur. Tesis yerleşim yerlerini etkileyen birçok faktör sayılabilir. Bunlardan bazıları şunlardır;

- a. Ulaşım İmkânları
- b. Arsa Fiyatları
- c. Pazara Yakınlık
- d. Su, Elektrik, Doğalgaz gibi temel kaynaklara kolay erişim
- e. Ham maddeye erişim
- f. Vergi ve İşçi ücretleri gibi temel maliyetler (Sule, 2001).

Tesis yerleştirme problemleri tedarik zinciri yönetiminde uzun vadeli stratejik çok önemli bir karardır. Özellikle müşteri odaklılığın ön planda tutulduğu firmalarda küresel rekabet açısından son derece önemlidir. Talep noktasına yakın olmak, sunulan hizmetin kalitesini, hızını olumlu yönde etkilemektedir. Bununla birlikte birçok maliyetin de önüne geçilmesi demektir. Bununla birlikte hizmet merkezinin birçok değişkenin göz önüne alınarak optimum şekilde tesis seçilmesi maliyeti azaltmakla kalmayıp kar oranını da yukarı yöne çekecektir. Aksi halde olumsuz bir durumda, yeni bir tesis açma ya da yanlış bir tesis yeri seçiminde birçok kuruluş maliyeti ve diğer maliyetler firmaya ek bir yük bindirecek firmanın ciddi zararlar etmesine sebep olacaktır (Daskin, 2008).

Ruslim ve Ghani (2005), ilk yardım tesislerinin yerleşimi ile ilgili çalışmalarında belirsizlik durumu göz önünde bulundurularak sınırlı sayıda ambulansların yerleştirilmesini ele almışlardır. Bu çalışmada belirli ve belirsiz talep koşulları olmak üzere iki çeşit senaryo oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, talep ağırlıklarının belirli olduğu durumda elde edilen p-medyan problem çözümünün talep ağırlıklarının belirsiz olduğu durumlardan farklı olduğuna ulaşılmıştır. Talep ağırlıklarının belirsizliği durumunda, elde edilen p-medyan problem çözümünün doğru olmayacağı değerlendirilmiştir.

Demiral M.F. (2018), P-medyan probleminin Genetik algoritma yöntemi optimizasyonu ile ilgili çalışmıştır. Literatürde oldukça sık bulunan sabit ve değişken maliyetli kuruluş yeri seçimi problemlerinden biri olan bu çalışmada amaç eldeki

maliyet verilerini karşılıklı olarak sunmaktır. Bu çalışmada ele alınan p-medyan problemi, talepler ile atandıkları lokasyon merkezleri arasındaki talepler arası ağırlıklı ortalama mesafeyi minimize edecek şekilde p adet tesisin kurulmasını amaçlamaktadır. Problemin geçmişi çok eski çalışmalara, Hâkimi (1964,1965)'e kadar gitmektedir. P- medyan problemi temelde kapasiteli ve kapasitesiz türleri olan klasik yer seçimi problemlerinden biridir. Uygulamalarda ve literatürde çok çalışılan diğer yer seçimi problemleri arasında p-merkez problemi, küme örtülme problemi, küme bölme ve paketleme problemleri ile kapasiteli-kapasitesiz tesis yerleşim problemleri görülmektedir.

Kim, J. ve Soh, S. (2012), Okul Otobüsü Ulaştırma Ağı Tasarımı: Wonkwang Üniversitesi Örneği. Wonkwang Üniversitesinde okuyan ve bölgede dağınık halde yerleşmiş olan öğrencileri okula taşıyan otobüsün ulaşım hattının düzenlenmesi ve yolculuk süresinin en aza indirilmesi amacıyla p-medyan optimizasyon modeli kullanılmıştır. Elde edilen veriler Excel ortamında modellenmiştir.

Fo ve Silva Mota (2012), sağlık tesislerinin yer seçim problemleri ile ilgili yaptıkları çalışmada Brezilya'da bir ilin sağlık tesis yerlerini optimum yapmak için dört farklı tesis yerleşim modeli kullanmışlardır. P-medyan, küme kapsama, maksimum kapsama ve p-merkez modelleriyle ifade edilen problem model sonuçlarının karşılaştırılması yoluyla analiz edilmiştir.

Smith (2003), tedarik zinciri analizinde elektronik tablo modeli oluşturulması adlı çalışmasında üç çeşit uygulamaya yer vermiştir. Bunlar, bir yemek üreticisi için doğrudan talep noktasına ulaştırma örneği, depo yeri belirlemek isteyen bir ecza firması, bir de büyük marketler zincirinin yeni açılacak bir marketi için dağıtım merkezi atama örneğidir. Tüm uygulama örnekleri elektronik tablo ile modellenerek analiz edilmiştir.

Ndiaye (2012), p-medyan problemi kullanılarak ortaokuldan liseye geçen öğrencilerin, ev ile okul arasındaki uzaklık ve öğrenci sayısı göz önünde bulundurulmak koşulu ile en uygun okula atama modeli oluşturup CPLEX çözücü yardımıyla çözüm alternatifleri sunmuşlardır.

MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada üzerinde durulan probleme özgü geliştirilen matematiksel model, kapasitesiz tesis yerleşim problemi modeli ile çok amaçlı p-medyan problemi

birleştirilerek elde edilmiştir. Aşağıda problemin çok amaçlı programlama modeli görülmektedir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad i,j..1,2,3.... n \quad (2)$$

İfadelerin Tanımı:

P= yerleştirilecek olan hizmet verecek tesis (medyan) sayısı

n= toplam talep noktası sayısı

wi= i noktasında ki talep

d_{ij} = i noktası ile j noktası arasındaki uzaklık

Eşitlik 1 de verilen amaç fonksiyonunda hizmet veren tesisler ile talep noktaları arasında oluşan toplam talep ağırlıklı uzaklığı minimize etmek amaçlanmaktadır. Eşitlik 2 ile her bir talep noktasının tüm taleplerinin sadece bir tesisten karşılanması kısıtları verilmiştir. Eşitlik 3 sadece açık olan tesislere talep noktası atanması şartını göstermektedir. Eşitlik 4'te açılacak olan tesis sayısının p adet olması kısıtı yer almaktadır (Lee ve Yang, 2009).

Burada hedefteki kurulacak her p adet tesis için toplam sabit maliyetler hesaplanmaktadır. Gerçek hayatta sabit maliyetlerin toplam talepten ve taleplerin konumlarından daha az önemli olduğu durumlarda p-medyan probleminin kullanılması doğru sonuca ulaşmada öncelik sağlayabilmektedir.

Önerilen Genetik Algoritma Uygulaması

Genetik algoritma doğal olaylardan esinlenerek ortaya çıkan sezgisel bir algoritmadır. Rastgele seçim, doğal değişim gibi kavramları kullanarak optimizasyon problemlerini çözmeye çalışır. Bu algoritmalar aynı zamanda çok çözümlü yapıları nedeniyle tercih edilmektedirler. Genetik algoritmanın yapısında öncelikle amaç fonksiyonu yardımıyla popülasyonun oluşturulması işlemi vardır. Bu işlemden sonra popülasyonda ki bireyler çaprazlama işlemi için bir araya getirilmektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra bireylere ani değişimlere sebep olacak mutasyon işlemi uygulanmaktadır. Daha sonra çevrimi devam ettirebilmek için popülasyonda ki bireylere yeniden fitness fonksiyonu yardımıyla tabi seleksiyon

işlemi uygulanmaktadır. Bu şekilde algoritma çözüme ulaşıncaya kadar devam ettirilmiş olur (Demirel, 2018).

Parametrelerin ve değerlerin problemde problemde değişmesine rağmen literatürde bununla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Çaprazlama işleminde popülasyonda ki bireylerin çaprazlama oranı genellikle 1'e yakın tutulmaktadır. Burada mutasyon oranı ise nispeten çok daha küçük bir değer alınır. Genel anlamıyla genetik algoritma temel prensipleri sayesinde birçok probleme uygulanabilirken, algoritmayı tasarlayan kişi bunu problemin yapısına göre özelleştirebilmektedir. Burada kullanıcıların tasarım kararları problemi önemli şekilde etkilemektedir. Kötü bir genetik kodlama problemi çözülemez hale getirebilmektedir. Burada genetik algoritmanın çözümünü etkileyen en önemli faktörler, popülasyonun büyüklüğü, çaprazlama yapılacak bireylerin seçimi, çaprazlama yöntemi, mutasyon yöntemi ve iterasyon sayısıdır (Alp vd., 2003).

Burada çözümde kullanılan genetik algoritma yapısı aşağıdaki gibidir.

- **Adım 1:** Başlangıç popülasyonu m adet tesise toplam n adet noktadan aynı sayıda atama yapılarak seçilir.
- **Adım 2:** Uygunluk fonksiyonu sayesinde seleksiyon işlemi uygulanır.
- **Adım 3:** 3 adet değiştirme işlemi uygulanır. Bunlar belirli olasılıklarla seçime tabi tutulan popülasyona uygulanan değişim operatörleridir. Birinci değişim, bir tesis yerinin herhangi bir talep noktasıyla değiştirilmesidir. İkinci değişim, tesis yerlerinin kendi içerisinde yer değiştirmesidir. Son değiştirme operatörü ise, talep noktalarının kendi arasında yer değiştirmesidir.
- **Adım 4:** Değiştirme operatörü uygulanan popülasyona tekrar seleksiyon işlemi uygulanmaktadır.
- **Adım 5:** Çaprazlama için ebeveyn bireyler seçilir ve çaprazlama işlemi yapılır.
- **Adım 6:** Mutasyon işlemi uygulanır.
- **Adım 7:** Eğer iterasyon sayısı maksimum iterasyon sayısından daha az ise Adım 2'ye gidilir. Aksi durumda devam edilir.
- **Adım 8:** Son ana kadar bulunmuş en iyi kromozom en uygun sonuç olarak değerlendirilir.

Çaprazlama Operatörü

Bu çalışmada tek nokta çaprazlama işlemi uygulamakla beraber, rastgele olarak üretilen kromozomlarda ki “k” adet gen birbirleriyle eşlenmektedir. Aşağıdaki örnekte k=3 alınmış olup baştan üç gen birbirleriyle yer değiştirmiştir.

Ebeveyn Bireyler

4	6	9	16	25
57	44	24	13	31

Yeni Çözümler

57	44	24	16	25
4	6	9	13	31

Şekil 1: Çaprazlama Operatörü

Mutasyon Operatörü

Bu çalışmada tek mutasyon işlemi uygulanmıştır. Burada rastgele üretilen kromozomlarda ki “k” adet gen mutasyona uğramaktadır. Aşağıdaki örnekte k=2 alınmıştır.

Normal Bireyler

4	6	9	16	25
---	---	---	----	----

Mutasyonlu Bireyler

6	16	4	9	25
---	----	---	---	----

Şekil 2: Mutasyon Operatörü için bir örnek

Burada önemli olan nokta daha öncede bahsedildiği üzere algoritmanın performansını gözlemlemek değil, kurgulanan modelin sabit ve değişken maliyetler üzerindeki etkisinin p-medyan veri seti üzerinde araştırılmasıdır.

Parametre değerleri için ayrıca bir hesaplama yapılmamıştır. Burada optimum değerler belirli olmadığı için çözümden popülasyon büyüklüğü 150, çaprazlama oranı 0.95, mutasyon oranı 0.01, İterasyon sayısı 20000 ve değiştirme operatör-

lerinin olasılık oranları sırasıyla 0.25, 0.15, 0.60 olarak alınmıştır. Problem bu parametre değerleri ile çözüldüğünde veri setinde $p=5$ için optimum değere ulaşamamaktadır.

UYGULAMA

Çalışmada önerilen genetik algoritma Matlab programında uygulanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde Literatürde Operation Research-Library kütüphanesinden alınan p-medyan veri setinin çözüm ve sonuçlarına yer verilmiştir. Burada sabit maliyetler her kuruluş için (100,1000) arasında rastgele olarak seçilmiştir.

Şekil 3: Problemin Çözüm Sonuçları

Problem	N (talep sayısı)	P (tesis sayısı)	Optimum	Sabit Maliyet	Değişken Maliyet	Toplam Maliyet
Pmed1	100	1	-	745	11500	15095
Pmed1	100	2	-	1100	14200	15300
Pmed1	100	3	-	4510	13250	17760
Pmed1	100	4	-	2652	10500	13152
Pmed1	100	5	5650	1945	17200	19145

Kaynak: Matlab Programlama Sonuçları

Şekil 3'den görüldüğü üzere minimum maliyet “pmed1” problemi için $p=4$ sayısına karşılık gelmektedir. Kurulacak optimum tesis sayısı “4” olup minimum maliyet “13152” olmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde yapılan birçok çalışmada kullanılan p-medyan problemi, depo ve tesis lokasyon problemlerinin optimizasyonunda kullanılmaya elverişlidir fakat değişken ve kısıt sayısının fazlalığı sebebiyle problemin matematiksel olarak çö-

züm süresinin çok fazla artması nedeniyle bu problem türünde genellikle sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kuruluş kararı verilirken p-medyan yer seçimi probleminin genetik algoritma uygulamasına yer verilmiştir. Bu modele göre p-medyan problemi değişken maliyetler gözetilerek optimal sonuçlar bulunmaktadır. Bunun içinde p-medyan problemine yönelik çok amaçlı programlama modeli önerilmektedir. Bunun sebebi ise organizasyonların yatırım kararlarının talep merkezli alındığı durumlarda çok amaçlı programlama modelinin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere yatırım kararlarının alınmasında talep odaklı bakış açısında değişken maliyetlerin daha etkili olduğu görülmektedir. Sabit maliyetler ise “p” tesis sayısının artmasıyla artış göstereceğinden optimal olmayan kuruluş kararlarının alınmasına yol açabilmektedir.

Bu çalışmada görüldüğü üzere, sabit ve değişken maliyetlerin amaç fonksiyonu önünde öncelikli olmasına göre nihai yatırım kararlarının alınmasında kritik olabileceği ortaya çıkmaktadır. Kurulan amaç fonksiyonları tesis ve talep sayısına göre modellendiğinde, birinci fonksiyonda değişken maliyetler, ikinci fonksiyonda ise yatırım maliyetleri yatırım kararında kritik bir rol oynamaktadır. Bu yönleriyle incelendiğinde uygulanan programlama modeli literatürde p-medyan problemi çözümüne alternatif teşkil etmektedir.

KAYNAKÇA

Alp, O., Erkut, E. ve Z.Drezner (2003). “An Efficient Genetic Algorithm for the P-Median Problem”, *Annals of Operations Research*, 122(1-4), 21-42.

Barutçuoğlu A.,D. Demirtaş, B.Dilan, R.Düzgün, M.Köksalan, S.Savaşaneril (2010). Bir Otomotiv Firması için Araç Sevkiyatı ve Dağıtım Merkezi Yer Seçimi Problemi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 21, 1, 4-16.

Bastı, M., (2012). P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 3(7): 47-75.

Caccetta, L.,& Dzator, M. (2005). Heuristic methods for locating emergency facilities. *In Proceeding of 16th international congress on modelling and simulation* (pp. 1744-

1750).

Church, R. L., & ReVelle, C. S. (1976). Theoretical and Computational Links between the p-Median, Location Set-covering, and the Maximal Covering Location Problem. *Geographical Analysis*, 8(4), 406-415.

Daskin, M. S. (1995). Network and discrete location: models, algorithms, and applications. *Wiley-Interscience*.

Daskin, M. S. (2008). What you should know about location modeling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(4), 283-294.

Hakimi, S. L. (1964). Optimization locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operations Research*, 12, 450-459.

Hakimi, S. L. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research*, 13(3), 462-475.

Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE transactions* 39(1), 41-55.

Ndiaye, F., Ndiaye, B.M., ve Ly, I., (2012). Application of the p-Median Problem in School Allocation. *American Journal of Operations Research*, 2, 253-259.

Demiral, M. F., (2018). P-medyan Probleminin Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimizasyonu: Kuramsal Bir Araştırma.

Ozcakar, N., Bastı, M. (2012). P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı. *Journal of the School of Business Administration, Istanbul University*, 41(2), 241-257.

Sule, D. R. (2001). *Logistics of facility location and allocation*. CRC Press.

Smith, Gary. (2003), "Using Integrated Spreadsheet Modeling for Supply Chain Analysis," *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 8, No. 4, pp. 285-290.

Teitz MB, Bart, P. (1968). Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. *European Journal Operation Research* 16(5):955-961.

Uludağ, A. S. Erol, İ., (2008). Tedarik zinciri ağ tasarımı ve bir uygulama.

Wang, L., Zhang, Y., & Feng, J. (2005). On the Euclidean distance of images. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 27(8), 1334-1339.

7. Bölüm

ELEKTROKİMYASAL KAPASİTÖR UYGULAMALARI İÇİN YENİLENEBİLİR BİYOKÜTLE KAYNAKLI KARBON UYGULAMALARI VE BİTKİSEL ÇÖZÜMLER

Ekrem BÖLÜKBAŞI

*Dr. Öğr. Üyesi, Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu,
Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Amasya, Türkiye*

ekrem.bolukbasi@amasya.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-3828-1226>

Mustafa Sami ATA

*Dr. Öğr. Üyesi, Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye*

mustafa.ata@amasya.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-0944-4276>

GİRİŞ

Artan insan nüfusu ve sosyal ekonominin gelişmesi, artan enerji tüketimini gerektirmektedir. Fosil yakıta dayalı enerji eldesi, küresel iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve hava, su, toprak kirliliği de dâhil olmak üzere çevre üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahiptir. Bu nedenle, fosil yakıt tüketimini azaltmak ve düşük maliyetli, bol, çevre dostu, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetmek için muazzam çabalar sarf edilmektedir (Feng vd., 2020, Senthil & Lee, 2021).

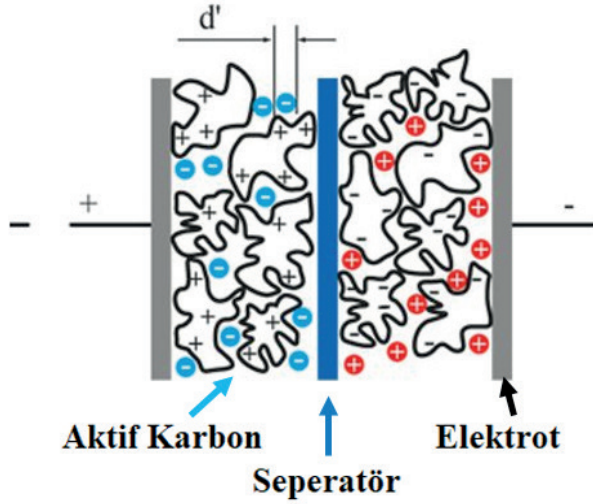
Enerji iki ana kategoriye ayrılır. Birincisi; kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen enerjiden oluşurken, ikincisi; jeotermal, güneş, rüzgâr, gelgit ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji ile ilgilidir. Bununla birlikte, güneş, rüzgâr, je-

otermal ve gelgit enerjilerine dayalı yenilenebilir enerjinin uzun süreli kullanımı bölgesel, kesintili ve kararsız özelliklerinden dolayı büyük ölçekte uygulanması/ kullanımı zor olan kaynaklardır. Sonuç olarak verimli enerji dönüştürme ve depolama teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. En kullanışlı elektrokimyasal enerji depolama cihazları, şarj edilebilir pillere ve elektrokimyasal kapasitörlere (EK'ler) dayanmaktadır. Lityum iyon piller gibi şarj edilebilen piller, faradaik reaksiyonlar yoluyla enerji depolar. Bu cihazlar, uzun süreden beri cep telefonu, dizüstü bilgisayar ve elektrikli araçlar gibi günlük cihazlarımıza elektrik gücü sağlamakta. Şarj edilebilir piller genellikle yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak yine de düşük güç yoğunluğundan dolayı muzdariptir. Karşılaştırıldığında, EK'ler yüksek güç yoğunluğuna ve uzun çevrim ömrüne sahiptir, ancak pillerle kıyaslandığında hala düşük enerji yoğunluğu ile sınırlıdır (Wang vd., 2019; Liu vd., 2020a; Muduli vd., 2020; Luo vd., 2021).

Yük depolama mekanizmalarına ve cihaz özelliklerine bağlı olarak, EK'ler üç kategoride sınıflandırılabilir:

- (i) elektrikli çift katmanlı kapasitörler (EÇKK'ler),
- (ii) psödokapasitörler,
- (iii) asimetrik kapasitörler (Wang vd., 2012; Liu vd., 2020b; Luo vd., 2021).

Sözde kapasitörler (psödokapasitörler), elektrik yükünü yüzey kontrollü faradaik reaksiyonlar aracılığıyla depolar. Psödokapasitif malzemeler genellikle elektrot yüzeyinde veya yüzeye yakın hızlı ve yüksek oranda tersinir redoks/interkalasyon reaksiyonlarını tetikler (Wang vd., 2012, Cao vd., 2020, Pan vd., 2020). Asimetrik kapasitörler iki grupta sınıflandırılabilir, hazırlanan cihaz iki kapasitif elektrottan oluşabildiği gibi hibrit kapasitör de olabilir. Hibrit kapasitörler pil tipi kapasitörler gibi, bir elektrotun pil tipi faradaik işlem yoluyla elektrik yükünü depoladığı, diğer elektrotun ise kapasitif mekanizmaya dayalı olarak elektrik yükünü depoladığı bir cihaz olarak tanımlanır (Fu vd., 2018). Genel olarak, hibrit kapasitörler, yüksek EÇKK'lerin güç yoğunluğu ve psödokapasitörlerin yüksek enerji yoğunluğu, olağanüstü kapsamlı performanslarını sağlar. Bununla birlikte, bu tür cihazların döngü kararlılığının daha da güçlendirilmesi gerekmektedir (Shu vd., 2018) (Şekil-1).



Şekil 1. Genel bir süperkapasitörün şeması

Karşılaştırıldığında, EÇKK'ler, elektrikli çift katmanı (EÇK) oluşturmak için elektrot/elektrolit arayüzündeki elektrolitten katyonları ve anyonları tersinir olarak adsorbe ederek/desorbe ederek elektrostatik etkileşim yoluyla enerji depolar. Elektrot malzemeleri açısından, psödokapasitörler veya kısmi asimetrik kapasitörler, daha yüksek spesifik kapasitans sağlayan psödokapasitif malzemeler olabilirken, EÇKK'ler için daha iyi döngü kararlılığı ve hız performansı sergileyen esas olarak karbon bazlı malzemelerdir. Gözenekli karbonlar gibi karbon bazlı malzemeler, çeşitli avantajları sayesinde çok dikkat çekmiştir. Aktif karbon, karbon nanotüpler, gözenekli karbon nanofiberler ve grafen gibi gözenekli karbonlar, ayarlanabilir gözenekli yapı, mükemmel elektrik iletkenliği ve üstün fizikokimyasal kararlılık olan yüksek spesifik yüzey alanları nedeniyle geniş çapta kullanımı/uygulaması vardır (Xiong vd., 2018, Wang vd., 2019, Waribam vd., 2020; Luo vd., 2021).

Karbon bazlı elektrot malzemeler; sadece EK'ler ve hibrit kapasitörler için mükemmel adaylar olmakla kalmaz, bunun yanı sıra psödokapasitörlerin aktif malzemelerini desteklemede önemli bir rolü oynar. Alternatif olarak, biyokütle kaynaklı karbonlar (BKK'ler), sürdürülebilirlik, yenilenebilirlik, doğal kaynakları bol ve düşük maliyet gibi birçok özellik nedeniyle EK'ler için mükemmel malzemelerdir. Bu bölümde, farklı biyokütle öncülerinden BKK'lerin hazırlanmasındaki son gelişmelerle ilgili bilgi verilmektedir. EK'lerin elektrokimyasal özelliklerinin, morfoloji, spesifik yüzey alanı, gözenek yapısı, heteroatom dopin-

gi, grafitizasyon derecesi ve avantaj/dezavantajları dahil olmak üzere BKK'lerin özelliklerinden ve uygulamalarından ayrıntılı olarak bahsedilmektedir.

1. EÇKK'LERDE ŞARJ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

EÇKK'lerin yük depolaması ilk olarak Hermann von Helmholtz tarafından tanımlanmıştır. Bu yol, her iki elektrot üzerinde eşzamanlı olarak ilerleyen belirli voltaj altında elektrot ve elektrolit arasındaki arayüzde iyonların elektrostatik adsorpsiyonu yoluyla gerçekleşir. Gouy-Chapman modelinde, iyonların (anyonlar ve katyonlar) homojen olmayan dağılımı, termal dalgalanma tarafından yönlendirilen çözücü moleküllerinin difüzyon ve dipol hareketi nedeniyle gerçekleşir. Yüksek konsantrasyonlu elektrolit çözeltilerini dikkate almak için Stern, kompakt katman ve difüzyon katmanı olmak üzere iki iyon dağılımı bölgesi tanımlamıştır. Bununla birlikte, Stern modeli, iyon etkileşiminin etkilerini göz ardı ettiği için yüksek uygulanan voltajlarda, yüksek konsantrasyonlu elektrolitlerde veya iyonik sıvılarda sınırlamalardan muzdariptir. Daha sonra Kornyshev ve diğerleri, iyonik sıvılardaki EÇK yapısını çözücü içeren elektrolitlerden farklı olarak ele alarak Landau-Ginzburg tipi süreklilik teorisini geliştirdiler. İyonik sıvılarda, katyonları ve anyonları taramak için çözücü moleküllerinin olmaması, güçlü iyon etkileşimlerine yol açmaktaydı. Bu nedenle, EÇK daha düşük potansiyeller (0,26 V) altında bir aşırı tarama etkisi yaratan ancak farklı iyonik etkileşim derecelerine atfedilen daha büyük polarizasyon potansiyelleri (2,6 V) altında kalabalıklaşma etkisini göstermektedir (Yang vd., 2019).

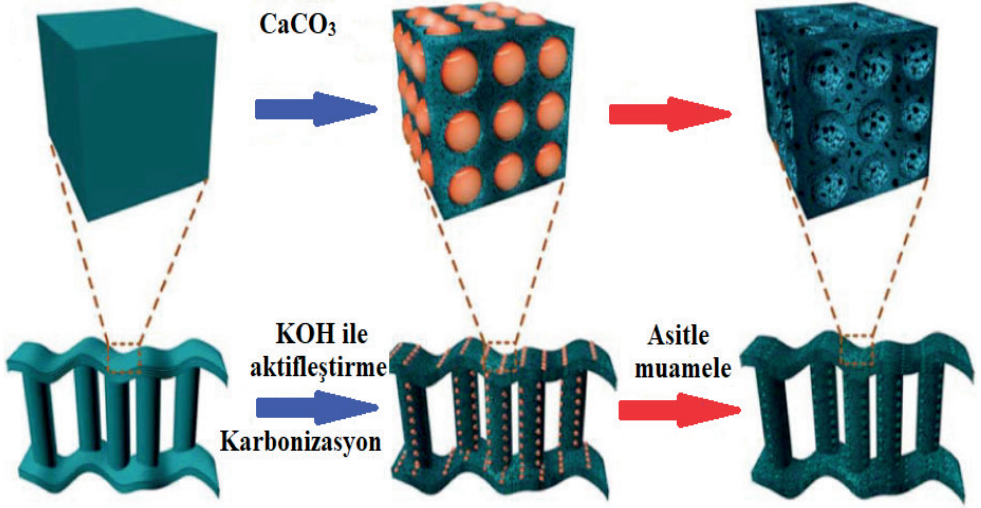
Klasik EÇK teorisi, EÇKK'lerin spesifik kapasitansı ile elektrotun spesifik yüzey alanı arasındaki orantılılığı belirtir. Ancak bu gözenekli karbon için farklı olabilir. Çünkü gözenek yapısı, iyonlar çözülüp mikro gözeneklerde depolanabileceğinden spesifik kapasitans ile yakından ilişkilidir. Başka bir deyişle, klasik iki boyutlu (2B) düzlemsel EÇK modeli, üç boyutlu (3B) gözenekli karbonun yük depolama mekanizmasını açıklayamaz. Çünkü 2B model, yüzey eğriliğini ve gözenekli etkilerini dikkate almaz. Yapılan araştırmalarda, 1 nm'den küçük gözenek boyutu için kapasitansın hızla artacağı, özellikle gözenek boyutu sulu elektrolitlerde 0,7 nm'ye ve organik elektrolitlerde 0,8 nm'ye düştüğünde optimum kapasitansın elde edileceği bildirilmiştir. Bu nedenle, gözenek boyutu ve gözenek boyutu dağılımı, spesifik yüzey alanının yanı sıra kapasitansı da etkileyebilir. Örneğin, gözenek boyutu 2 nm'den büyük olduğunda, yükseltilmiş spesifik yüzey alanı $2000\sim 2500 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'e ulaşsa da, karbon malzemelerin spesifik

kapasitansının sadece $100\text{--}150 \text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$ olduğu tahmin edilmektedir. Bu tür spesifik kapasitans değeri, daha küçük gözenek boyutuna sahip aktif karbonun ($200 \text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$) ortalama değerinden çok daha düşük görünmektedir. Öte yandan, çözünmüş etkiler göz önüne alınırsa, çözünmüş iyonlar, elektrik polarizasyonlarının etkisi altında mikrogözeneklerde çözünmemiş olarak sıkışıp kalmak üzere mezogözeneklere yayılabilir (Wang vd., 2020).

Uygun gözenek boyutu dağılımlarının yanı sıra, gözenek şekli de elektrokimyasal performansları etkiler. Gözenekli karbonlar, endohedral gözenekler (silindirik, yarık ve küresel) ve karbon nanoparçacıkları (karbon nanotüpler, karbon soğanları) arasındaki ekzohedral gözenekler gibi çeşitli şekillerde gözeneklere sahiptir. Bazı çalışmalar, iyonların hızlı adsorpsiyonu ve taşınması için düzlemsel gözeneklerin olumlu yönünü önerirken, diğer taraftan düzensiz veya kavisli gözenek mimarileri iyon dağıtımını engeller. Örneğin, Cl^- ve ClO_4^- karbon moleküler elekte absorbe edilebilirken, SO_4^{2-} absorbe edilemez. Benzer şekilde iyonların uzaysal geometrisi ve boyutu, gözeneklerdeki iyon eleme etkisinden dolayı adsorpsiyon sürecini etkileyebilmektedir. (Yu vd., 2019; Luo vd., 2021).

2. ELEKTROKİMYASAL KAPASİTÖRLERDE BİYOKÜTLE KAYNAKLI KARBON UYGULAMALARI

Gözenekli karbon malzemeler, yüksek özgül yüzey alanları, bol gözenekli yapıları, üstün fizikokimyasal kararlılıkları ve olağanüstü elektriksel iletkenlikleri nedeniyle EK'ler için mükemmel adaylardır. Ancak geleneksel karbon malzemelerinin doğal dezavantajları vardır. Örneğin, karbon nanotüpler olağanüstü elektriksel iletkenlikleri sayesinde üstün hız yeteneği sergiler, ancak iç yüzey alanının yetersiz kullanımı orta düzeyde spesifik kapasitansa yol açabilir. Grafen, EÇKK'ler için umut verici elektrot malzemesini oluşturan 2D karbon mono tabakalarından elde edilmiştir. Bununla birlikte, tek tek tabakaların yeniden istiflenmesi her zaman geri dönüşü olmayan aglomerasyon oluşturur ve böylece spesifik yüzey alanını azaltır. Şimdiye kadar karbon nanotüpler ve grafen için önemli ilerleme kaydedilmiş olsa da, büyük ölçekli enerji depolama uygulamalarının gereksinimlerini karşılamak hala zordur. Bu nedenle, EK'ler için düşük maliyetli, yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu elektrot malzemelerinin hazırlanması oldukça önemlidir (Yang vd., 2019) (Şekil-2).



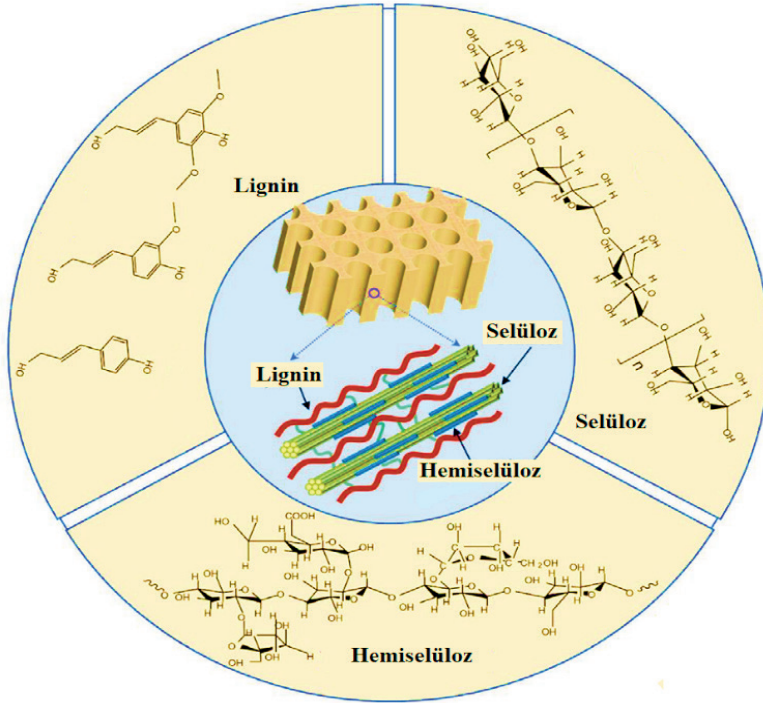
Şekil 2. 3D hiyerarşik gözenekli karbon malzemelerinin hazırlanma süreci şematik gösterimi (Guo vd., 2020'den değiştirilerek)

Biyokütle; bolluğu, sürdürülebilirliği, yenilenebilirliği, düşük maliyetiyle çevre ve insan sağlığına toksik olmaması nedeniyle gözenekli karbon malzemelerin en popüler öncüsüdür. Ayrıca, biyokütle, yüksek spesifik yüzey alanı ve büyük gözenek hacmi ile aktifleştirilmiş gözenekli karbonun hazırlanması için faydalı olan benzersiz mikro/nano yapıya ve düzenli iç gözeneklere sahiptir. Özellikle, doğal olarak zengin gözenek yapılarından ve hizalanmış mikro kanallardan oluşan doğal olarak düzenlenmiş gözenekli yapı, hindistan cevizi kabukları ve doğal ağaçlar gibi bir çok biyokütle de bulunur. Aktivatörün yüksek spesifik yüzeye sahip gözenekli karbonu kolayca hazırlaması için yeterli difüzyon kanallarını sağlamaktadır (Zhang vd., 2019).

Ayrıca, BKK'ler, rastgele yönlendirilmiş nano dokuları ve grafitmikrokristalin düzensiz istiflemeleri sayesinde petrol kok kömürü ve kömür asfalt bazlı karbondan çok farklıdır. Bu yüzden çok sayıda boşluk ve kusur sağlar. Bu özellikler sonraki aktivasyon süreçlerine fayda sağlamalı ve büyük miktarlarda gözenek yapıları oluşturmalıdır. Ayrıca, BKK'lerin sert karbon yapısı, yüksek güç ve voltaj koşulları altında yumuşak karbon ile karşılaştırıldığında nispeten kararlıdır. Biyokütle çeşitliliği, küresel, lifli, tabaka benzeri ve iskelet yapıları BKK'lerin oluşumuna yol açar.

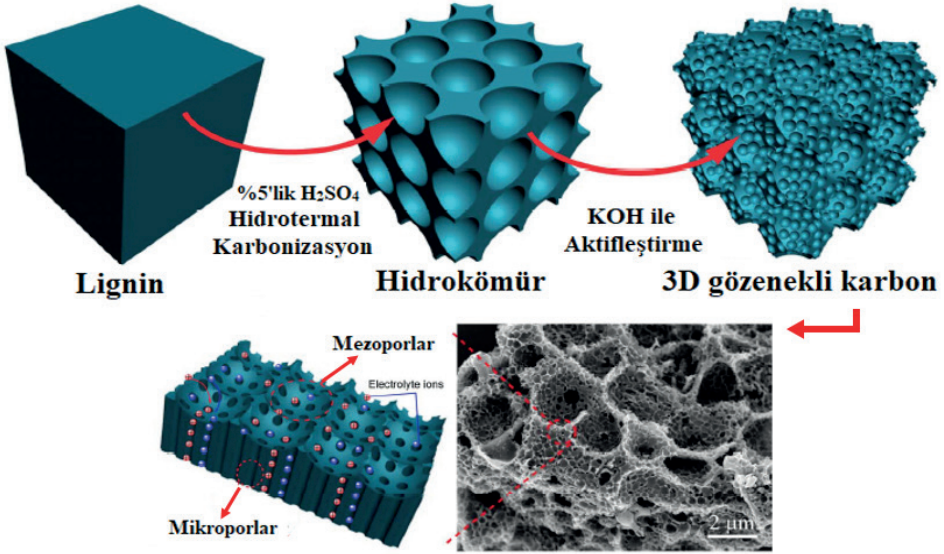
Biyokütle, özellikle lignoselülozik biyokütle, esas olarak selüloz, hemiselüloz

ve ligninden oluşur (Şekil 3). Kimyasal olarak C, H ve O'dan oluşur ve kısmi N, S ve P varlığı ile Fe ve Ca eser miktarda bulunur. Lignoselülozun bileşenleri güçlü bir şekilde iç içe geçmiştir ve kovalent ya da kovalent olmayan kuvvetler tarafından tutulur. Selüloz, β -glikosidik bağlarla bağlanmış β -D-glukopiranoz birimlerinden oluşan bir homopolimerdir ve %40-%50 lignoselülozik biyokütleyi oluşturur. Hemiselüloz, dallanma ve amorf özelliklerin yanı sıra düşük derecede polimerizasyon ile %25-%35 biyokütleyi oluşturur. Böylece hemiselüloz, termal koşullar altında kolayca ayrışır.



Şekil 3. Lignin, selüloz ve hemiselüloz bazlı lignoselülozik biyokütle eldesi (Luo vd., 2021'den değiştirilerek)

Lignin aynı zamanda lignoselülozik biyokütlenin ve %15-20 biyokütleden oluşan amorf polimerin önemli bir bileşenidir. Ayrıca lignin, p-kumaril alkol, koniferil alkol ve sinapil alkolden oluşan aromatik işlevsellik açısından zengindir. Biyokütle ve yan ürünleri, hindistancevizi kabukları, buğday samanı, lotus yaprakları, atık kemikler ve maya dâhil olmak üzere BKK'lerin yenilenebilir ve sürdürülebilir öncülleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Lyu vd., 2019; Luo vd., 2021) (Şekil-4).



Şekil 4. Lignin bazlı 3D hiyerarşik gözenekli karbon malzemelerin hazırlanma sürecinin şematik gösterimi (Guo vd., 2020'den değiştirilerek)

3. BKK'LERİN HAZIRLANMASI

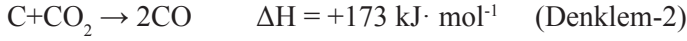
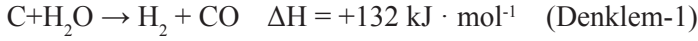
Çoğu biyokütle hammaddesi, istenmeyen safsızlıkları, düşük spesifik yüzey alanları ve az gelişmiş gözenekli yapıları nedeniyle EK'lerde doğrudan elektrot malzemeleri olarak kullanılamaz. Bu nedenle, BKK'lerin yüzey kimyasını ve morfolojisini düzenlemenin yanı sıra spesifik yüzey alanını ve gözenekliliği arttırmak için piroliz, hidrotermal ve aktivasyon gibi çeşitli sentez yöntemleri kullanılmaktadır. Bunun nedeni, biyokütle öncüllerinin içsel yapılarına ve sentez yöntemlerine yüksek oranda dayanan BKK'lerin elektrokimyasal performansları ve morfolojileri ile ilgilidir. Şekil 5'de çeşitli biyokütle hammaddelerinden BKK'lerin hazırlanma süreçlerinin şeması gösterilmektedir. Ayrıca çeşitli biyokütle hammaddeleri ve aktivatörleri kullanılarak farklı yöntemlerle sentezlenen bazı BKK örnekleri de Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 5. BKK'lerin hazırlanma sürecinde kullanılan bazı bitkisel kaynaklar ve elde etme şeması (Luo vd., 2021'den değiştirilerek)

Karbonizasyon esas olarak piroliz ve hidrotermal karbonizasyonu içerir. Biyokütle, oksijen yokluğunda yüksek sıcaklıklarda termokimyasal ayrışma ile piroliz sırasında kademeli olarak biyokarbona dönüşür. Yüksek sıcaklıkta piroliz karbonizasyonunun yanı sıra, hidrotermal karbonizasyon ayrıca biyokütle öncülerinin kapalı alan içinde nispeten daha düşük sıcaklıklarda (180~250 °C) ve doymuş basınçta (2~10 MPa) hidrokarbonlara dönüştürülmesine izin veren termokimyasal bir işlemdir. Hidrotermal proses genellikle dehidrasyon, polimerizasyon ve karbonizasyon içerir. Bu işlem sırasında, aromatik polimerin çapraz bağları, organik fonksiyonel gruplar, yüzey gözenekliliği ve nihai bileşenler gibi hidrokarbonların kimyasal yapısı, sıcaklık, süre, ikamet, madde konsantrasyonu ve mevcudiyet gibi hidrotermal karbonizasyon parametreleri ile uyarlanabilir katalizörlerden oluşmaktadır (Cazetta vd., 2011).

Mükemmel özelliklere sahip BKK'ler genellikle piroliz veya hidrotermal karbonizasyondan daha fazlasını gerektirir. Örnekler, fiziksel aktivasyon, kimyasal aktivasyon, fizikokimyasal aktivasyon, mikrodalga destekli aktivasyon ve şablon destekli aktivasyon gibi belirgin gözenek yapılarının oluşturulmasına izin veren aktivasyon işlemlerini içerir. Fiziksel aktivasyon; BKK'leri hazırlamak için aktifleştirici ajanlar olarak su buharını ve CO₂'yi kullanır. Yaygın hazırlama işlemi, gözenekli BKK'ler oluşturmak için karbon ve H₂O (Denklem-1) veya CO₂ (Denklem-2) arasındaki kimyasal reaksiyonu kullanarak, 300~800 °C'de karbonizasyonu ve ardından 700~1000 °C'de aktivasyonu içerir.



Aktivasyon süreci, kontrollü aktif karbon atomunun yanmasını ve uçucu maddelerin ortadan kaldırılmasını amaçlar. BKK'lerin kalitesi, diğerlerinin yanı sıra aktivasyon sıcaklığı, aktivasyon süresi, gaz akış hızı ve katalizörlerin varlığı gibi reaksiyon parametrelerine büyük ölçüde bağlıdır. Karbonizasyon ve aktivasyon parametrelerine ek olarak, farklı biyokütle malzemeleri ayrıca yüksek spesifik yüzey alanları ve iyi gelişmiş gözeneklere sahip BKK'ler elde etmek için uygun aktivatörler gerektirir. Bunun nedeni, farklı biyokütle malzemelerinin değişken yapıları ve bileşimleri ile ilgilidir. Örneğin, 738,74 m²·g⁻¹ spesifik yüzey alanına ve 0,37 cm³·g⁻¹ gözenek hacmine sahip **söğütten** BKK, 800 °C'de CO₂ aktivasyonu ile elde edilebilmektedir. Benzer şekilde, 441,12 m²·g⁻¹ spesifik yüzey alanına ve 0,33 cm³·g⁻¹ gözenek hacmine sahip **hasırotu** bitkisinden elde edilen BKK, 800 °C'de CO₂ aktivasyonu ile hazırlanabilir.

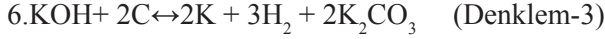
CO₂ aktivasyonunun yanı sıra su buharı, düşük maliyeti, temizliği ve yüksek güvenliği nedeniyle özellikle endüstride etkili bir aktivatör olarak yaygın sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yolla oluşturulan örnekler arasında, 956 m²·g⁻¹'e ulaşan özgül yüzey alanı ve %37.1'lik mezogözenek oranı ile 850 °C'de su buharı aktivasyonu yoluyla çam fıstığı kabuğundan elde edilen BKK yer alır (Yang vd., 2019).

Tablo 1. Çeşitli Biyokütle Hammaddeleri ve Aktivatörler Kullanılarak Farklı Yöntemlerle Sentezlenen Bazı BKK Örnekleri (Luo vd., 2021)

Karbonizasyon	Aktivasyon	Kullanılan Bazı Aktivatörler	Biyokütle Hammadde Örnekleri
Pirroliz Karbonizasyonu	Fiziksel ve Kimyasal Aktivasyon	KOH K ₂ FeO ₄ NaOH ZnCl ₂ ZnO H ₃ PO ₄ CH ₃ COOK KOH/HNO ₃ Li ₂ CO ₃ ZnCl ₂ /KCl	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yonca çiçeği, ➤ Buğday samanı, ➤ Bambu, ➤ Çam talaşı, ➤ Pirinç kabuğu, ➤ Sarımsak kabuğu, ➤ Bezelye, Gül, ➤ Lotus, Çay atığı, ➤ Artık pirinç, ➤ Fıstık kabuğu, ➤ Çam kozalağı, ➤ Ceviz kabuğu, ➤ Hindistan cevizi kabuğu...

Bununla birlikte, fiziksel aktivasyonla $2000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'in üzerinde yüksek özgül yüzey alanına sahip BKK'ler hala zordur. Alternatif olarak, iyi gelişmiş mikro gözeneklere ve ultra yüksek spesifik yüzey alanlarına sahip BKK'leri hazırlamak için çoğunlukla kimyasal aktivasyon kullanılır. Bunun için KOH, NaOH, ZnCl₂, HNO₃ ve H₃PO₄ dahil olmak üzere çeşitli kimyasal aktivatörler kullanılır. Bunlar arasında KOH, spesifik yüzey alanını arttırmak için en iyi aktivasyon etkisini göstermiş, dolayısıyla en yaygın kullanılan aktivatör olmuştur. Sert veya yumuşak karbon bazlı hemen hemen tüm karbon öncüleri, daha yüksek aktivasyon sıcaklığında ($>750 \text{ }^\circ\text{C}$, Denklemler-3 ve 5) KOH ve karbon arasındaki reaksiyon

sırasında aşırı KOH aşındırma etkisi ile aktive edilebilir. Bu işlem sırasında K^+ , aktivasyon işlemi sırasında genişlemek veya yeni gözenekler oluşturmak için karbon iskeletinin büyük kısmına yayılır.



Çeşitli biyokütle türleri, kimyasal aktivasyondan sonra farklı spesifik yüzey alanı ve gözenek hacmi sergilemektedir. Örneğin, KOH aktivasyonu ile **çam talaşından** elde edilen BKK, $2330.89 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'e kadar yüksek spesifik yüzey alanına ve $1.914 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik büyük gözenek hacmine sahiptir. Hidrotermal karbonizasyon ve KOH aktivasyonu ile **tütün yapraklarından** elde edilen BKK, $2115 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik geniş bir spesifik yüzey alanına ve $1,22 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik gözenek hacmine sahiptir. **Bambu** ($2221.1 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ve **pirinç kabuğu** ($2804 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) gibi diğer BKK'ler, KOH aktivasyonundan sonra yüksek spesifik yüzey alanları ile karakterize edilmektedir. NaOH aktivasyonunun sahip olduğu KOH ile karşılaştırıldığında, daha az korozyon, daha düşük ağırlıklı doz ve düşük maliyet açısından avantajı göze çarpmaktadır. NaOH ayrıca gözenekli karbonun hazırlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de NaOH aktivasyonu ile **buğday kepeğinden** elde edilen BKK, önemli spesifik yüzey alanı ($2543 \pm 89 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ve büyük toplam gözenek hacmi ($1.684 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) göstermiştir. **Hindistan cevizi** kabuğundan elde edilen BKK ayrıca NaOH aktivasyonundan sonra geniş spesifik yüzey alanına ($2825 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ve üstün toplam gözenek hacmine ($1.498 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) sahiptir. KOH ve NaOH ile karşılaştırıldığında, $ZnCl_2$ daha hafif bir aktivatördür, yani BKK'leri hazırlamak için daha düşük aktivasyon sıcaklığı gereklidir. Aktivasyon mekanizması muhtemelen piroliz sırasında H ve O'nun zengin mikro gözenekli yapılar oluşturmak üzere H_2O formunda biyokütleden salındığı katalitik dihidroksilasyon ve dehidrasyona dayanmaktadır. Bu arada, $ZnCl_2$, aktivasyon işlemi sırasında karbon birikimi için bir çerçeve sağlar. Asitle yıkamanın sonraki adımında, $ZnCl_2$ ek gözeneklilik sağlamak için karbon iskeletinin boşluklarını bırakacaktır. Bu bağlamda, **çam kozalağından** elde edilen ve $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 saat boyunca $ZnCl_2$ aktivasyonu ile muamele edilen BKK, $2771 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik yüksek spesifik yüzey alanı ve $1.22 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik büyük mezopor hacme ulaşmıştır. Benzer şekilde, **iğde** meyvesinden elde edilen BKK, 1 saat boyunca $450 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de $ZnCl_2$ aktivasyonundan sonra $1719 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ spesifik yüzey alanı ve $1.193 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ toplam gözenek hacmi gösterir

(Sun vd., 2019; Luo vd., 2021).

Fizikokimyasal aktivasyon yardımcı aktivasyon ve mikrodalga yardımcı aktivasyon gibi diğer aktivasyon yöntemleri de BKK'lerin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Yüksek spesifik yüzey alanına ve iyi gelişmiş gözeneklere sahip BKK'lerin hazırlanması için kimyasal aktivasyonun avantajlarına rağmen, yöntemin geniş uygulamalarını sınırlayan çevre kirliliği ve ekipman korozyonu dezavantajları arasındadır. Bu nedenle, sorunların çözülmesi için ekonomik, verimli, basit ve güvenli aktivasyon yollarının geliştirilmesi gerekmektedir. Kendi kendine aktivasyon, ek aktivatörler olmadan biyokütleli BKK'ye dönüştürebilir. Çünkü doğal inorganik tuzlara veya diğer metal iyonlarına (K, Na, Fe ve Ca gibi) sahip biyokütle, karbonize öncüleri aşındırabilir veya karbonizasyon sırasında yayılan gazlarla (CO_2 , H_2O ve H_2) reaksiyona girebilir. Bu kendi kendine aktivasyon yöntemi; **hindistan cevizi kabuğu**, **badem çekirdeği**, **ceviz kabuğu** ve çam talaşından BKK'ler hazırlamak için uygulanmıştır (Sun vd., 2019, Luo vd., 2021).

4. ELEKTROKİMYASAL SÜPERKAPASİTÖRLERDE BKK'LERİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

EK'lerin elektrokimyasal performansları; gözenek yapısı, spesifik yüzey alanı, heteroatom dopingi, grafitizasyon derecesi ve morfolojileri dahil olmak üzere BKK elektrot malzemelerinin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. BKK'lerin elektrokimyasal performansları, grafen, karbon nanofiberler/nano tüpler, geçiş metal oksitleri veya hidroksitler ve iletken polimerler gibi diğer malzemelerle bir araya getirilerek daha da geliştirilebilir.

4.1 Gözenek Yapısı ve Spesifik Yüzey Alanı

Gözenekli karbonlar gibi karbon bazlı malzemeler, çeşitli avantajları sayesinde dikkat çekmiştir. Aktif karbon, karbon nanotüpler, gözenekli karbon nanofiberler ve grafen gibi gözenekli karbonlar, yükseltilmiş spesifik yüzey alanları, ayarlanabilir gözenekli yapıları, mükemmel elektriksel iletkenlikleri ve üstün fizikokimyasalları nedeniyle geniş çapta araştırılmakta ve kullanılmaktadır. Örneğin, düzenli lamelli yapıya sahip **karaçam** odunu talaşından elde edilen BKK'ler, sıvılaştırma ve yerinde tetraetoksisilanın (silika bazlı şablon) katkılanması ve ardından 900 °C'de karbonizasyon ile üretilebilmektedir. Nitrojen katkılı **greyfurt** mezokarp-

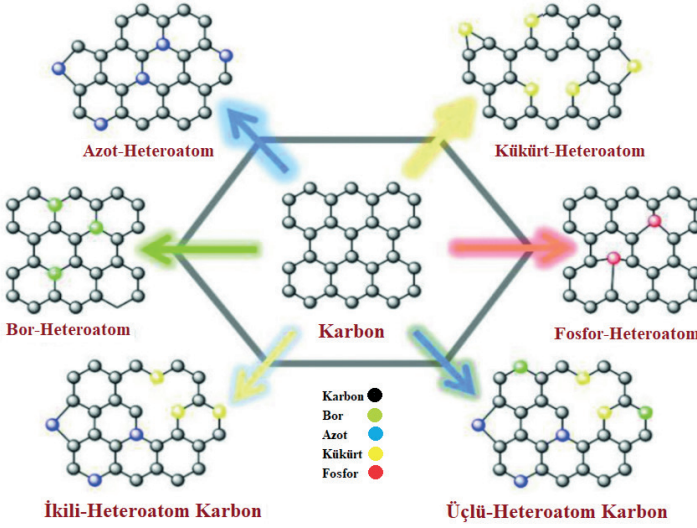
larından elde edilen BTK'ler, birbirine bağlı tabaka benzeri bir yapı elde etmek için tek aşamalı, eşzamanlı karbonizasyon aktivasyonu ve üre nitrojen katkılama işlemi ile oluşturulabilir. **Fıstık** tohum kabuklarından elde edilen BKK'ler, trietanolamin interkalasyonu ve ardından 4 nm kalınlığında grafen benzeri yapı oluşturmak için eş zamanlı termal pul dökülme ve piroliz yoluyla oluşturulur. **Hindistan cevizi** kabuğundan elde edilen BKK'ler, eşzamanlı aktivasyon/grafitleştirme stratejisi ile sentezlenmektedir (Yang vd., 2019, Luo vd., 2021).

Bahsedildiği üzere KOH aktivasyonu ile **çam talaşından** elde edilen BTK, $2330.89 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'e kadar yüksek spesifik yüzey alanına ve $1.914 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik büyük gözenek hacmine sahiptir. Hidrotermal karbonizasyon ile **tütün yapraklarından** elde edilen BKK ve KOH aktivasyonu, $2115 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik geniş bir spesifik yüzey alanına ve $1,22 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik gözenek hacmine sahiptir. $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de NaOH aktivasyonu ile **buğday kepeğinden** elde edilen BTK, önemli spesifik yüzey alanı ($2543 \pm 89 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ve büyük toplam gözenek hacmi ($1.684 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) göstermiştir. **Hindistan cevizi** kabuğundan elde edilen BTK ayrıca NaOH aktivasyonundan sonra geniş spesifik yüzey alanına ($2825 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ve üstün toplam gözenek hacmine ($1.498 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) sahiptir. **Çam kozalağından** elde edilen ve $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 saat boyunca ZnCl_2 aktivasyonu ile muamele edilen BKK, $2771 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik yüksek spesifik yüzey alanı ve $1.22 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'lik büyük mezogözenek hacmi sergiler (Sun vd., 2019, Luo vd., 2021).

Sonuç olarak; elde edilen BKK'ler, mükemmel kapasitans tutma, iyi döngü kararlılığı, yüksek enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu ile karakterize edilmektedir. Bu özellikler yüksek spesifik kapasitans, mükemmel hız performansı ve iyi çevrim kararlılığı anlamına gelmektedir.

4.2 Heteroatom Katkılama

Oksijen, azot, **kükürt, fosfor ve demir** gibi elementler tarafından yapılan heteroatomlar, elektrik iletkenliğini artırabilir, yüzey **ıslanabilirliğini** değiştirebilir, kapasitans sağlayabilir, yük transferini hızlandırabilir ve BKK'lerde elektrot/elektrolit arayüz reaksiyonlarını kolaylaştırabilir. BKK'lere heteroatomların dahil edilmesi, genellikle elektron kabul eden veya veren özelliklerin yanı sıra yapılarını da değiştirir, böylece elektrokimyasal performansları etkilenir (**Şekil-6**).



Şekil 6. *Biyokütle kaynaklı karbonların elde edilmesinde kullanılan heteroatom katkılanması*

Karaağaç tohumlarından elde edilen BKK, olağanüstü oksijen içeriğine (%32.95) sahiptir. Oksijen açısından zengin, gözenekli bir yapı göstererek yalancı kapasiteye katkıda bulunur ve yüzeyi güçlendirir. Nitrojen katkılı **ginkgo** yaprağından elde edilen BKK ve N türlerinin ultra yüksek oranı (%86,5), bozulmamış **ginkgo** yaprağından elde edilen BKK'lerden ve nitrojen katkılı olmadan KOH ile aktive edilenlerden daha iyi spesifik kapasitans göstermiştir. Ayrıca, BKK'lerin mükemmel yapısal kararlılığı ve uygun gözenekli mimarisi, şarj/deşarj sırasında geçiş metal oksitleri veya hidroksitleri tarafından indüklenen hacim genişlemesini tamponlar. Bu nedenle, geçiş metali oksitleri veya hidroksitlerinin BKK'lerle kombinasyonu, elektrokimyasal performansları iyileştirebilmektedir.

Oksijen veya nitrojen katkılı BKK'lere benzer şekilde, diğer elementlerin kükürt, flor ve fosfor ile beraber katkılanması elektrokimyasal performansları iyileştirebilir. Kükürt, redoks reaksiyonları için elektroaktif bölgeler olarak hizmet etmek ve ıslanabilirliği iyileştirmek için yüzeyini değiştirmek üzere karbon iskeletine gömülebilen elektronca zengin reaktif bir elementtir. Ayrıca, kükürt dopingi elektrik iletkenliğini artırabilir. Çünkü kükürt atomlarının p-orbitalindeki yalnız elektron çifti, konjuge karbon iskeletleri boyunca elektron delokalizasyonu oluşturmak için grafit sp² hibridizasyonunun π -orbitaliyle örtüşmektedir (Sun vd., 2019, Luo vd., 2021).

Öte yandan, flor fonksiyonel grupları bol miktarda C-F bağları sağlayabilir ve BKK'lerin yapısını değiştirebilir. Böylece BKK'lerin elektrokimyasal performanslarını etkiler. Azot gibi, fosfor da aynı sayıda değerlik elektronu ve kimyasal özellik göstermektedir. Bununla birlikte, fosforun çapı, karbonunkinden çok daha büyüktür, bu da fosfor dopingini karbon çerçevesinin yerel yapısal bozulması ve daha aktif bölgelerin oluşturulması için daha faydalı hale getirir. Karşılaştırıldığında fosfor, redoks reaksiyonlarını ve gelişmiş kapasitansı indüklemek için yararlı olan yalnız bir çift elektrona sahiptir.

Heteroatom kodlaması, heteroatomlar arasındaki sinerjik etki nedeniyle BKK'lerin elektrokimyasal özelliklerini de artırır. Heteroatom katkılı BKK'lerin hazırlanmasına benzer şekilde, heteroatom kodlanmış BKK'ler genellikle biyokütle öncülleri ve heteroatom içeren katkı maddeleri arasındaki karmaşık etkileşimlerle elde edilir. Bu aynı zamanda şarap palmyesi çiçeğinden türetilen S-katkılı karbon ile kükürt katkı maddesi olarak tiyoüre, **ipekböceği** ile birlikte elde edilen N/P ile kodlanmış gözenekli karbon, fosfor katkı maddesi olarak fitik asit ile bakteriyel selülozdan türetilen N gibi heteroatom içeren biyokütlenin pirolyzi ile elde edilebilir (Luo vd., 2021, Senthil & Lee, 2021).

4.3 Grafitizasyon Derecesi

Grafitizasyon; 3000 dereceye çıkan genellikle indüksiyon fırınlarında malzemenin kristalize olmasa da planar bir şekilde ardışık bağlar kurmasını sağlama işlemidir (Luo vd., 2021).

Yüksek grafitizasyon derecesi, mükemmel elektriksel iletkenliğin yanı sıra elektrot malzemelerinin iç direncini ve hızlandırılmış yük transferini azaltarak güç yoğunluğunu ve hız performansını iyileştirir. Yüksek sıcaklık işlemi genellikle ısıtma işlemi sırasında sp² karbon atomlarını artırarak yüksek grafitizasyon dereceli karbon malzemeleri elde etmek için kullanılır. Bununla birlikte, aşırı ısıtma işlem sıcaklıkları, gözenek çökmesi nedeniyle genellikle spesifik yüzey alanını ve gözenek hacmini azaltır. Bu, BKK'lerin elektrokimyasal performanslarını ciddi şekilde etkileyen yüzey fonksiyonel gruplarını azaltır. Bu nedenle optimum elektrokimyasal performansı elde etmek için grafitleşme derecesi, spesifik yüzey alanı, gözenek hacmi ve yüzey fonksiyonel grupları arasında denge sağlanmalıdır.

Biyokütle için hidrotermal ile yüksek grafitleşme dereceleri kolaylıkla elde edilebilir. Örneğin, şeftali meyvesinin ekstraktları, önemli bir grafitizasyon dere-

cesi (ID/IG=0.65) elde etmek için dehidrasyon, polimerizasyon, karbonizasyon, aromatzasyon ve pasivasyon işlemlerini içeren fito-bileşenlerin (karbonhidratlar, organik asitler ve diyet lifi) hidrotermal karbonizasyonu ile kolaylıkla grafitizasyon karbonuna dönüştürülebilir.

Örneğin, **bambu** bitkisinin tek adımlı karbonizasyonu ve grafitizasyonu, grafitizasyon katalizörü K_2FeO_4 'ün 800 °C'de eklenmesiyle gerçekleştirilebilir. Aktivatör (K türleri) ve grafitizasyon katalizörü (Fe türleri) olarak bambu kömürünü gözenekli grafitizasyon BKK'ye dönüştürmek için kullanılır. Ortaya çıkan BKK; $1732 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'e ulaşan spesifik yüzey alanına ve ayrıca $4,7 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 'lik yüksek elektrik iletkenliğine sahip gözenekli yapıyı göstermektedir (Yang vd., 2019, Luo vd., 2021).

Hindistan cevizi kabukları, 900 °C'de K_2CO_3 varlığında kolayca gözenekli grafen benzeri karbon tabakalarına dönüştürülebilir. Elde edilen biyokarbon, $1506.19 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'e ulaşan spesifik yüzey alanı ve $32.14 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ kadar yüksek elektrik iletkenliği gösterir (Luo vd., 2021).

Ek olarak, yapı ve bileşimdeki farklılıklar, biyokütlenin karbonizasyon ve aktivasyon süreçleri yoluyla kolayca yüksek grafitleşme dereceli biyokarbona dönüşmesine izin verir. Bununla ilgili olarak, **viburnum (onondaga)** bitkisi'nin yaprakları, düşük sıcaklıkta karbonizasyon (500 °C) ve KOH aktivasyonu (600 °C) ile yüksek grafitleşme derecesine (ID/IG = 0.73) gözenekli karbona dönüşebilmektedir.

4.4 Topolojik Kusurlar

Boşluklar ve kenarlar gibi topolojik kusurları olan kusurlu karbon malzemeler, gelişmiş kapasitans ve elektrokimyasal performanslar için daha fazla iyonu adsorbe etmek için aktif siteler olarak kullanılabilir. Bu nedenle, EK'lerde uygulanan karbon malzemeleri, gelişmiş elektroaktif alanlar için orta düzeyde yapısal kusurların yanı sıra, gelişmiş spesifik kapasitans değerleri sağlamak için teşvik edilmiş iyon adsorpsiyonu, interkalasyon ve difüzyon gerektirir (Zhang vd., 2019, Luo vd., 2021).

BKK'lerde kusurları ortaya çıkarmak için şimdiye kadar çok sayıda strateji kullanılmıştır. Heteroatomların dopingi ve ardından çıkarılması, kusurlu BKK'ler oluşturmanın etkili bir yoludur. Bu bağlamda, **fındık** kabuklarından kusurlu BKK, sıralı hidrotermal işlem/karbonizasyon/azot doping/azot uzaklaştırma stratejisi ile elde edilebilir. Azot atomlarının uzaklaştırılmasından sonra, elektrokimyasal reak-

siyonlar için aktif bölgeler olarak hizmet etmek üzere karbon iskeletinde kusurlar yaratılır. Örneğin, **kimyon** yaprakları 850 °C'de NaHCO₃ aktivasyonu ile 1184.4 m²·g⁻¹'e kadar ulaşan spesifik yüzey alanları ve orta düzeyde yapısal kusurlar (ID/IG = 0.72) vermek üzere kusurlu karbon nano tabakalarına dönüşebilmektedir (Luo vd., 2021).

Lotus bitkisi yapraklarından mezopor bakımından zengin kusurlu BKK, iki aşamalı aktivasyon yaklaşımı ile elde edilebilir. İlk adım; karbon iskeletine belirli miktarlarda nitrojen eklemek için HNO₃ aktivasyonundan oluşurken, ikinci adım; nitrojen atomlarının çıkarılmasını teşvik etmek ve bazı kusurlar/gözenekler oluşturmak için KOH aktivasyonuna bağlıdır. Sonuç olarak, Lotus yapraklarından iki aşamalı aktifleştirilmiş BKK ile 478 F·g⁻¹'e kadar ulaşan üstün spesifik kapasitans elde edilir. Burada izlenen yol aynı zamanda karbondaki kusurlar oluşturarak iyonlar için ek aktif bölgeler ve iletim kanalları sağlar (Luo vd., 2021).

4.5 Morfoloji

Karbon malzemelerin morfolojisi, BKK elde etme uygulamalarını önemli ölçüde etkiler. Doğal biyokütle; küresel, lifli, tübüler, tabaka benzeri ve hiyerarşik iskelet yapısı dâhil olmak üzere birçok farklı yapıya sahip BKK'lere dönüştürülebilen çeşitli morfolojiler gösterir.

4.5.1 Küresel BKK'ler

Küresel BKK'ler, şeker kaynakları (glukoz, sakaroz ve ksiloz) gibi biyokütle türevlerinden doğrudan biyokütlesel değil, hidrotermal işleme dolaylı yoldan kolayca elde edilebilir. Örneğin, nitrojen katkılı glukoz ve glukozaminden küresel BKK, glukozamin amino gruplarının glukozamin ve glukoz arasında kendi kendine birleşmeyi tetikleyerek küresel morfolojiye sahip, yüksek spesifik kapasitans ve uzun çevrim kararlılığı sağlayan BKK'lar oluşturmaktadır. **Soya fasulyesi** atıklarından elde edilen gözenekli içi boş BKK'ler, hidrotermal karbonizasyon ve ardından farklı atmosferler altında yüksek sıcaklıkta işleme tabi tutularak hazırlanabilir. Ar atmosferinde, ısıl işleminden sonra ortalama 398±10 nm boyutunda ve ortalama kabuk kalınlığı 40 nm olan BKK'ler elde edilir. Atık **patates kabuğu** gibi mikro ölçekli küresel yapılara sahip uygun biyokütle, öncülerin morfolojisini korumak için piroliz yoluyla küresel BKK'lere de dönüştürülebilir (Fu vd., 2018; Yu vd., 2019; Luo vd., 2021).

4.5.2 Lifli/boru BKK'ler

Benzersiz morfolojiye sahip lifli veya boru şeklindeki BKK'ler, aktif elektrot malzemeleri, iletken katkı maddeleri ve diğer maddeler için destek substratları olarak hizmet edebilir. Piroliz, elektroçirime (elektrospinning), ultrasonikasyon ve hidrotermal dahil olmak üzere lifli BKK'leri hazırlamak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bununla ilgili olarak, **kenevir samanından** lifli BKK, poliakrilonitril destekli elektroçirime ve ardından KOH aktivasyonu ile elde edilebilir. **Talaştan** lifli BKK, karbon nanoliflerin büyümesini etkin bir şekilde katalize edebilen önceden yüklenmiş Fe^{3+} 'ün pirolizi yoluyla elde edilebilir (Luo vd., 2021).

Hindistan cevizi lifleri, kolayca içi boş boru şeklindeki BKK'lere dönüştürülebilen, doğal, içi boş boru şeklinde yapıya sahiptir. Ayrıca lifli veya boru şeklindeki BKK'lerin yapısal avantajları, daha iyi elektrokimyasal performanslar sağlamak için psödokapasitif malzemeleri destekleyebilir. Bu bağlamda, iletken matris olarak **pamuk** saplarından elde edilen lifli BKK'ler, Ni-Al katmanlı çift hidroksit nano tabakalarının toplanmasını önleyebilir ve kompozitin iletkenliğini artırabilir. Sonuç olarak, kompozit, Ni-Al katmanlı çift hidroksit nano tabakalarından belirgin şekilde üstün olan mükemmel elektrokimyasal performanslar gösterir (Zhang vd., 2019; Luo vd., 2021).

Kapok ağacı fiber/NiO kompozitinden içi boş borular BKK'ler, 400 °C'de karbonizasyon ile hidrotermal yöntemle oluşturulabilir. Kapok ağacı lifi, $Ni(OH)_2$ 'nin kapok lifinin karbonizasyonu ile birlikte NiO'ya dönüştüğü kapok lifi yüzeyinde $Ni(OH)_2$ 'nin büyümesi için hem karbon kaynağı hem de şablon görevi görür. Bu arada, kapok lifinin içi boş boru şeklindeki yapısı, içi boş boru şeklindeki BKK'ler/NiO kompozitinin hazırlanma işlemi sırasında korunur.

4.5.3 Levhamsı BKK'ler

Ultra ince kalınlığa ve büyük yanal boyuta sahip karbon levhalar, benzersiz katmanlı yapıya, olağandışı fizikokimyasal ve elektriksel performans ve ayrıca iyon adsorpsiyonu/desorpsiyonu için bol miktarda erişilebilir elektrokimyasal olarak aktif bölgelere sahiptir. Özellikle, gözenekli karbon levhalar ek spesifik yüzey alanları, düşük dirençli yollar ve kısaltılmış iyon difüzyon mesafeleri sağlayabilir.

Biyokütle, şablon, ısıl işlem ve karbonizasyon-aktivasyon yöntemleriyle BKK tabakalarına dönüştürülebilir. Örneğin, **karaçam ağacı** talaşından elde edilen BKK'ler, sıvılaştırma ve yerinde tetraetoksisilanın (silika bazlı şablon) katkılanması ve ardından 900 °C'de karbonizasyon ile üretilebilir. Nitrojen katkılı **grey-**

furt kabuğu mezokarplarından elde edilen BKK'ler, birbirine bağlı tabaka benzeri bir yapı elde etmek için tek aşamalı eşzamanlı karbonizasyon CaCl_2 aktivasyonu ve üre nitrojen katkılama işlemi ile oluşturulabilir (Luo vd., 2021).

Ceviz kabuklarından elde edilen BKK'ler, karbonizasyon ve KOH aktivasyonu ile YP-80F ticari gözenekli karbondan (720 'ye $93 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$) daha yüksek spesifik kapasitans ve mükemmel hız performansının yanında daha üstün elektrik iletkenlikleri ile hazırlanır. **Patlıcandan** elde edilen tabaka benzeri yapıya sahip BKK'ler, gözenekli tabaka benzeri yapı ve kısa iyon difüzyon yolları sağladığından mükemmel hız kapasitesi oluşturmak için tek adımlı karbonizasyon ile hazırlanabilmektedir (Waribam vd., 2020; Luo vd., 2021).

4.5.4 Hiyerarşik BKK'ler

Gözenek yapısında açıklandığı gibi hiyerarşik gözenekli yapıya sahip BKK'ler, yapısal bağlantı ve yüksek spesifik yüzey alanı nedeniyle yük transferini artırarak, iyon taşıma mesafesini kısaltabilir ve iç direnci azaltabilir. Bu nedenle, hiyerarşik gözenekli yapılar genellikle yüksek iyon ve elektron iletkenliği göstererek mükemmel elektrokimyasal performanslar sağlar (Luo vd., 2021).

Hindistan cevizi kabuğu, **selvi** kabuğu ve **pirinç** kabuğu gibi hiyerarşik gözenekli yapıya sahip çok sayıda BKK rapor edilmiştir. **Greyfurt** kabuğundan elde edilen BKK'ler, hiyerarşik ve birbirine bağlı petek benzeri yapıyı gösterir. Ayrıca daha iyi spesifik kapasitans ve mükemmel döngü kararlılığına yol açar. skabuğu lifinden elde edilen BKK'ler, ağırlıkça %15.61'lik yüksek oksijen içeriğine sahip hiyerarşik gözenekli bir yapı sergiler, bu da mükemmel elektrokimyasal performans sağlar (Luo vd., 2021).

Benzer şekilde, **hindistan cevizi** kabuğu atıklarından elde edilen hiyerarşik gözenekli BKK'ler, $3003 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 'lik yüksek spesifik yüzey alanı, $2.04 \text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ 'lik büyük gözenek hacmi ve mükemmel elektrokimyasal performanslarla sonuçlanan uygun gözenekli yapıya sahiptir.

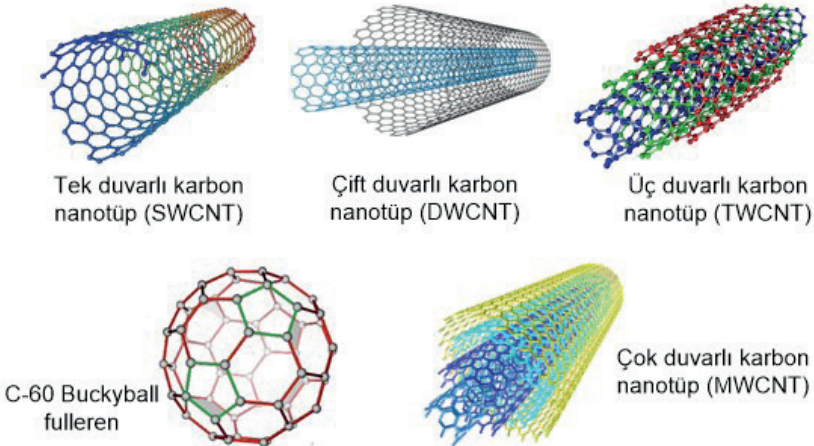
Özetle; farklı morfolojilere sahip BKK'ler farklı elektrokimyasal performanslara yol açabilir. Bu nedenle, kontrol edilebilir morfolojilere sahip BKK'lerin geliştirilmesi, elektrokimyasal özelliklerin iyileştirilmesi için oldukça önemlidir.

4.6 Elektrokimyasal Süperkapasitörler İçin BKK Kompozitleri

4.6.1 Grafen veya karbon nanotüp kompozitleri içeren BKK'ler

Grafen ve karbon nanofiberler/nanotüpler genellikle geniş spesifik yüzey alanı, yüksek elektrik iletkenliği ve iyi esneklik açısından mükemmel fizikokimyasal özellikler sergiler. Bu nedenle, BKK'lerdeki grafen veya karbon nanofiberler/nanotüpler elektrokimyasal kapasitans değerlerini iyileştirebilir.

Grafen, 2B yapısı nedeniyle aktif malzemeleri yüklemek için yeterli alan sağlayabilir, bu da geniş spesifik yüzey alanlarına ve yüksek elektrik iletkenliğine yol açar. Örneğin, öğütülmüş **kahveden** elde edilen BKK'lerin azaltılmış grafen oksit (PAC-rGO) ile kombinasyonu, gelişmiş elektrokimyasal performanslara yol açar. Bunun nedeni, kahve telvesi parçacıklarından BKK'ler arasında 3B birbirine bağlı iletken ağ oluşturan kahve telvelerinden BKK'lere indirgenmiş grafen oksitin dahil edilmesiyle ilgilidir. Bu da hızlı iyon difüzyonu ve yük transferi sağlayarak iyonların erişilebilir yüzey alanını artırır ve kahve telvesinden BKK'lerin spesifik kapasitesini belirgin bir şekilde geliştirir. Bunun yanında, **hindistan cevizi** kabuğundan elde edilen BKK'lerdeki grafen, elektrokimyasal performansları artırır. Çünkü grafen parçacıklarını destekleyerek şarj/deşarj süreçleri sırasında hacim genişlemesini sınırlayabilir ve sonuç olarak grafen elektrokimyasal performanslarını artırır (Cao vd., 2020; Luo vd., 2021).



Şekil 7. Çeşitli karbon nanotüplerine tipik örnekler (Beşergil, 2022)

Karbon nanofiberler/nanotüpler ayrıca BKK'lerin elektrokimyasal performanslarını da iyileştirmektedir. Örneğin, **talaştan** elde edilen BKK'ler, FeCl_3 ile önceden yüklenmiş talaşın hızlı pirolizi ile nanoliflere/mezoporöz karbon kompozitine dönüşür. FeCl_3 , selüloz ve hemiselülozun, kimyasal buhar biriktirme işlemine benzer şekilde karbon nanofiberleri büyötmek için oluşan Fe türleri üzerinde birikebilen küçük moleküllu hidrokarbonlara ayrışmasını teşvik edebilir. Hem Fe hem de Cl türlerinin varlığı, karbon nanoliflerin büyümesini etkili bir şekilde katalize edebilir ve manyetik nanolifler/mezoporöz karbon kompozitleri oluşturabilir. Bu nedenle, nanofiber yapıların varlığı, iyonların difüzyonunu ve elektronların karbon parçacıkları arasında taşınmasını etkin bir şekilde kolaylaştırabilir (Luo vd., 2021).

Karbon nanofiberlerle karşılaştırıldığında, karbon nanotüpler daha yüksek spesifik yüzey alanlarına ve iyonlar için daha fazla difüzyon kanalına sahiptir. Karbon nanotüpler genellikle hidrotermal sentez sırasında BKK'lerin morfolojik ve dokusal özelliklerini etkiler. Böylelikle nihai elektrokimyasal özellikleri etkiler. Örneğin, karbon nanotüpler, **glikozun** kolay hidrotermal işlemleriyle elde edilen BKK'lerin morfolojisini ve elektrokimyasal performanslarını etkiler. Karbon nanotüplerin farklı içeriklerinin eklenmesi, glikozdan BKK'lerin çeşitli morfolojileri ve fizikokimyasal özellikleri ile sonuçlanır (Luo vd., 2021).

Özetle, karbon nanotüpler, EK'lerde kullanıldığında BKK'lerin elektrokimyasal özelliklerini glikozdan büyük ölçüde geliştirmektedir.

4.6.2 Psödokapasitif malzeme kompozitleri ile BKK'ler

Karbon malzemelerle karşılaştırıldığında, MnO_2 , Fe_2O_3 , NiO , Co_3O_4 ve Ni(OH)_2 gibi tipik geçiş metali oksitlerine veya hidroksitlerine dayanan psödokapasitif malzemeler daha yüksek kapasiteye ve üstün redoks aktivitesine sahiptir. Malzemelerin redoks reaktivitesi esas olarak geçiş metallerinin çok değerlikli karakterlerinden kaynaklanır. Bununla birlikte daha düşük spesifik yüzey alanı, düşük içsel elektriksel iletkenlik ve yüksek akım yoğunluğu döngüsü altında ciddi yapısal çökme, yük transfer sürecini yavaşlatır ve yetersiz döngü kararlılığına yol açar (Luo vd., 2021).

BKK'ler, geçiş metal oksitleri veya hidroksitleri biriktirmek ve ayrıca aglomerasyonu azaltmak için bol miktarda alan sunabilmektedir. Bu arada BKK'lerin üstün elektriksel iletkenliği, yük transferini hızlandırarak hız performansını ve güç yoğunluğunu iyileştirebilir. Ayrıca BKK'lerin mükemmel yapısal kararlılığı

ve uygun gözenekli mimarisi, şarj/deşarj sırasında geçiş metal oksitleri veya hidroksitleri tarafından indüklenen hacim genişlemesini tamponlayabilir. Bu nedenle, geçiş metali oksitleri veya hidroksitlerinin BKK'lerle kombinasyonu, elektrokimyasal performansları iyileştirebilir (Luo vd., 2021).

MnO_2 , $1370 F \cdot g^{-1}$ 'lik yüksek teorik özgül kapasiteye sahip temsili psödokapasitif malzemedir. MnO_2 'nin yük depolama mekanizması, esas olarak, alkali katyonların ve protonun eklenmesi/çıkartılması ve adsorpsiyon/desorpsiyon sırasındaki yüzey reaksiyon süreçlerinden kaynaklanır.

Fe_2O_3 , Co_3O_4 , NiO ve $Ni(OH)_2$ gibi diğer psödokapasitif malzemeler de kapasitans performanslarını artırmak için BKK'ler ile birleşebilir. Daha da önemlisi, özel yapılara sahip BKK'ler, nanoyapılı NiO'yu desteklemek ve tüm avantajlarından yararlanmak için substrat olarak kullanılabilir. BKK ve Fe_2O_3 arasındaki hiyerarşik gözenekli yapı ve sinerjik etki, mükemmel çevrim performansı ile birlikte BKK ve Fe_2O_3 'ten daha yüksek spesifik kapasiteli BKK/ Fe_2O_3 verir. **Trabzon hurması** meyvesinden Fe_3O_4 ile elde edilen BKK, EK'lerin elektrot malzemeleri olarak kullanılmıştır (Feng vd., 2020; Luo vd., 2021).

Diğer popüler psödokapasitif malzemeler arasında **polianilin** (PANI), **polipirol** (PPy) ve **politiofen** (PTP) gibi iletken polimerler bulunur. Bu malzemelerin kapasitans performanslarını iyileştirdiği düşünülmektedir. Bununla birlikte iletken polimerler, şarj/deşarj döngüsü sırasında sınırlı iyon difüzyonu, hacim küçülmesi ve genişlemeye atfedilen düşük hız performansına ve düşük döngü stabilitesine sahiptir (Pan vd., 2020; Luo vd., 2021).

Özetle; psödokapasitif malzemeler, sinerjik etkilerden dolayı BKK'lerin elektrokimyasal performansını iyileştirebilir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Biyokütle Kaynaklı Karbonlar'ın; doğal kaynaklardan elde edilmesi, düşük maliyet, çevre dostu, sürdürülebilirlik, yenilenebilirlik, ayarlanabilir gözenek yapısı ve mükemmel fizikokimyasal stabilite nedeniyle enerji depolama alanlarında umut verici elektrot malzemeleridir.

Spesifik yüzey alanı, gözenek yapısı ve yüzey kimyasının ayarlanması ile BKK'lerin rasyonel tasarımı ve hazırlanması, EK'lerde uygulama için önemli özelliklerdendir.

Heteroatomların kendi kendine dopingi, grafitizasyon derecesi ve morfolojileri de BKK'lerin özelliklerini ciddi şekilde etkilemektedir. Bu nedenle BKK'lerin gelecekteki gelişimi, ilerlemesi ve tasarlanmasında dikkate alınmalıdır.

Grafen, karbon nanofiberler/nanotüpler, geçiş metali oksitler veya hidroksitler ve iletken polimerler gibi diğer malzemelerle birleşen BKK'ler, elektrokimyasal performansı daha da değiştirmek için dikkate alınabilir.

Örneğin, uygun gözenek boyutu ve homojen gözenek boyutu dağılımları ile yüksek spesifik yüzey alanına sahip BKK'ler, deniz suyunu tuzdan arındırma, su arıtma ve yağ/su ayırmada kullanım için de faydalıdır. Bu malzemeler ayrıca elektrokataliz uygulamaları için metal bazlı katalizörleri destekleyen katalizörler veya substratlar olarak da işlev görür.

Ek olarak, heteroatom modifikasyonlu BKK'ler; aktif bölgeler ve ara katman aralığı gibi değiştirilmiş yüzey özelliklerine sahip olabilirler. Bu özellikleri sayesinde BKK'ler, Li^+/Na^+ iyon piller/kapasitörler gibi gelişmiş enerji depolama sistem ve cihazlarının üretilmesinde kullanılabilirler.

Sonuç olarak, Biyokütle Kaynaklı Karbonlar (BKK'ler); sürdürülebilirlik, yenilenebilirlik, bol doğal kaynaklar ve düşük maliyet gibi birçok özellik nedeniyle Elektrokimyasal Kapasitörlerde'ler için mükemmel malzemelerdir. Bu nedenle, EK'ler için düşük maliyetli, yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu elektrot malzemelerinin hazırlanmasında geleceğin temiz enerji kaynaklarını oluşturacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu bölümün hazırlanmasında teknik ve yazınsal desteklerinden dolayı; Tuçe TÜRKMEN'e teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Beşergil, B. (2022). Çeşitli karbon nanotüplere tipik örnekler. <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/karbon-nanotup-carbon-nanotube.html>. Erişim Tarihi:26.07.2022
- Cao, Q., Zhu, M., Chen, J., Song, Y., Li, Y. and Zhou, J. (2020). Novel lignincellulose-based carbon nanofibers as high-performance supercapacitors. *ACS Appl Mater Interfaces*, 12(1):1210-1221.
- Cazetta, A.L., Vargas, A.M.M. and Nogami, E.M. (2011). NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chem Eng J.*, 174(1):117-125.
- Feng, Y., Tao, L., Zheng, Z., Huang, H. and Lin, F. (2020) Upgrading agricultural biomass for sustainable energy storage: Bioprocessing, electrochemistry, mechanism. *Energy Storage Mater*, 31:274-309.
- Fu, W.B., Zhao, E.B., Ren, X.L., Magasinski, A. and Yushin, G. (2018). Hierarchical fabric decorated with carbon nanowire/metal oxide nanocomposites for 1.6 V wearable aqueous supercapacitors. *Adv Energy Mater*, 8(18):1703454.
- Guo, N., Zhang, S., Wang, L., & Jia, D. (2020). Application of plant-based porous carbon for supercapacitors. *Acta Physico-Chimica Sinica*, 36(2).
- Liu, J., Xu, R. and Yan, C. (2020a). In situ regulated solid electrolyte interphase via reactive separators for highly efficient lithium metal batteries. *Energy Storage Mater.*, 30:27-33.
- Liu, J., Yuan, H. and Tao, X. (2020b). Recent progress on biomass-derived ecomaterials toward advanced rechargeable lithium batteries. *EcoMat*, 2(1):1-16.
- Luo, X., Chen, S., Hu, T., Chen, Y. and Li, F. (2021). Renewable biomass-derived carbons for electrochemical capacitor applications. *SusMat*, 1(2), 211-240.
- Lyu, L., Seong, K.D. and Ko, D. (2019). Recent development of biomassderived carbons and composites as electrode materials for supercapacitors. *Mater Chem Front*, 3(12):2543-2570.
- Muduli, S., Naresh, V. and Martha, S.K. (2020). Boron, nitrogen-doped porous carbon derived from biowaste orange peel as negative electrode material for lead-carbon hybrid ultracapacitors. *J Electrochem Soc*, 167(9):090512.
- Pan, B.L., Wang, Y.Q., Li, H.B., Yi, W. and Pan, Y.Z. (2020). Preparation and electrosorption desalination performance of peanut shellbased activated carbon and MoS₂. *Int J*

- Senthil, C. and Lee C.W. (2021). Biomass-derived biochar materials as sustainable energy sources for electrochemical energy storage devices. *Renewable Sustainable Energy Rev*, 137:110464.
- Shu, Y., Zhang, F., Wang, F. and Wang, H. (2018). Catalytic reduction of NO by biomass-derived activated carbon supported metals. *Chin J Chem Eng*, 26(10):2077-2083.
- Sun, Q., Jiang, T., Z, G. and Shi, J. (2019). Porous carbon material based on biomass prepared by MgO template method and ZnCl₂ activation method as electrode for high performance supercapacitor. *Int J Electrochem Sci*, 14(1):1-14.
- Wang, D.W., Xu, L., Nai, J.W., Bai, X.X. and Sun, T. (2019). Morphologycontrollable synthesis of nanocarbons and their application in advanced symmetric supercapacitor in ionic liquid electrolyte. *Appl Surf Sci*, 473:1014-1023.
- Wang, G., Zhang, L. and Zhang, J. (2012). A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors. *Chem Soc Rev*, 41(2):797-828.
- Wang, J.S., Zhang, X., Li, Z., Ma, Y.Q. and Ma, L. (2020). Recent progress of biomass-derived carbon materials for supercapacitors. *J Power Sources*, 451:227794.
- Wang, Z.Q., Yun, S.N. and Wang, X.D. (2019). Aloe peel-derived honeycomb-like bio-based carbon with controllable morphology and its superior electrochemical properties for new energy devices. *Ceram Int*, 45(4):4208-4218.
- Waribam, P., Ngo, S.D. and Tran, T.T.V. (2020). Waste biomass valorization through production of xylose-based porous carbon microspheres for supercapacitor applications. *Waste Manage (Oxford)*. 105:492-500.
- Xiong, S.X., Zhang, X.K. and Chu, J. (2018). Hydrothermal synthesis of porous sugarcane bagasse carbon/MnO₂ nanocomposite for supercapacitor application. *J Electron Mater*, 47(11):6575-6582.
- Yang, N., Lin, X.Q., Lu, Q.F., Jin, Y.Q. and Yang, H.J. (2019). Polyaniline-modified renewable biocarbon composites as an efficient hybrid electrode for supercapacitors. *Ionics*, 25(11):5459-5472.
- Yang, S., Zhao, F. and Li, X. (2019). Electrode structural changes and their effects on capacitance performance during preparation and charge-discharge processes. *J Energy Storage*, 24:100799.
- Yu, D., Zheng, X., Chen, M. and Dong, X. (2019). Large-scale synthesis of Ni(OH)₂/

peach gum derived carbon nanosheet composites with high energy and power density for battery-type supercapacitor. *J Colloid Interface Sci*, 557:608-616.

Zhang, X.F., Li, H. and Zhang, W. (2019). In-situ growth of polypyrrole onto bamboo cellulose-derived compressible carbon aerogels for high performance supercapacitors. *Electrochim Acta*, 301:55-62.

Dr. Öğr. Üyesi Ekrem BÖLÜKBAŞI:

1985 Kayseri doğumlu olan Dr. BÖLÜKBAŞI; ilk ve orta öğretiminden sonra 2009 yılında Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümünü bitirdi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Biyoteknoloji alanında yüksek lisans (2013) ve doktorasını (2018) tamamladı. Biyoteknoloji, Moleküler Biyoloji, Bitki Biyoteknolojisi ve Kutup (Antarktika) Araştırmaları gibi konularda çalışmaları bulunmakla beraber, aktif olarak Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Halen; Amasya Üniversitesi, Biyoloji, Biyoteknoloji Anabilim Dalları ile Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü ve Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda Doktor Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sami ATA:

1986 Ankara doğumlu olan Dr. ATA; ilk ve orta öğretimini Ankara'da devam ettikten sonra 2008 yılında Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2009 yılında açılan YLSY bursunu kazanarak Kanada'nın Hamilton şehrinde bulunan McMaster Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans (2012) ve doktora (2017) eğitimini tamamladı. Çalışma konuları arasında kompozit malzemeler, süperkapasitörler, metal oksitler ve karbon bazlı malzemeler bulunmaktadır. Halen; Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Doktor Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

8. Bölüm

TEKNOLOJİ ÇAĞININ EN ÖNEMLİ SAVUNMA SİSTEMİ: SİBER GÜVENLİK

Dr. Öğr. Üyesi Faruk AYATA

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
ORCID: 0000-0003-2403-3192,
farukayata@yyu.edu.tr*

Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir SEYYARER

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
ORCID: 0000-0002-8981-0266,
eseyyarer@yyu.edu.tr*

GİRİŞ

Günümüz dünyasının vazgeçilmezi olarak bilinen bilgisayarlar ilk önceleri haberleşme, şifreleme ve şifre çözme amacıyla ortaya çıkmıştır ve zamanla gelişmiştir. 1960 yılında ABD savunma bakanlığı tarafından ARPANET'in ortaya çıkarılmasıyla internet kavramı doğmuştur. İnternet, milyarlarca bilgisayarın ve ağın belirli kurallar çerçevesinde birbirine bağlandığı ve iletişim halinde olduğu bir ağıdır (Clarke, 2010). İnternetin kullanıcılar arasında kurduğu bağ (bilgi alış-verişi, haberleşme vb.) yaygınlaşmasını hızlandırmıştır ve kısa sürede kamuda, özel sektörde ve kişisel kullanımda hayatın bir parçası haline gelmiştir. Bu yaygınlaşma her ne kadar sınırsız bir özgürlük gibi görünse de bilişim sistemlerinin kötüye kullanılmasıyla bir suç işleme platformuna dönüşmüştür (Aslay, 2017). Şöyle ki, her hangi bir fiziksel temasa gerek kalmadan hırsızlık, dolandırıcılık gibi suçlar çok kolay bir hale gelmiştir. Bu sebeple uygun güvenlik önlemlerinin alınması ve bu alana daha fazla yatırımın yapılması kaçınılmaz olmuştur.

Bu çalışmada siber saldırının ve siber güvenliğin ne olduğu, neden siber güvenliği ihtiyaç olduğu, devletlerin ve iş dünyasının siber güvenlik alanında aldığı

tedbirler ve yaptığı yatırımlar istatistiksel karşılaştırmalarla anlatılmaktadır.

1. SİBER SALDIRI

Siber, kelime olarak bilgisayar ağlarına ya da internete ait olan, insanların etkileşim içinde oldukları sanal ortam anlamlarına gelmektedir (Aslay, 2017). Siber saldırı, hedef olarak seçilen kurumun, kişinin, devletin vb. bilgi, iletişim ve alt-yapı gibi kaynaklarına izinsiz planlı olarak yapılan saldırı olarak tanımlanmaktadır. Dünya genelinde günde yaklaşık 2.250 adet saldırı gerçekleşmektedir. Sadece 2021 yılı içerisinde toplamda 62.508.710 adet saldırı tespit edilmiştir. Tablo 1’de en çok saldırı alan 10 ülke ve saldırı sayıları gösterilmiştir (Thinktech, 2022).

Tablo 1. En sık saldırı alan 10 ülke ve saldırı sayıları.

Ülke	Saldırı Sayısı
İrlanda	9.879.869
Çin	5.637.605
Rusya	5.411.738
Hindistan	4.409.692
ABD	4.231.259
Vietnam	4.192.544
Hollanda	2.577.396
Panama	1.843.546
Türkiye	1.757.910
Brezilya	1.562.455

Siber saldırılarda saldırgan amacına ulaşmak için birçok farklı yöntem kullanabilmektedir. 2021 yılı siber istihbarat merkezi analistlerinin yapmış olduğu analizler doğrultusunda siber saldırılarda kullanılan en popüler yöntemler şunlardır (Anonim a, 2022);

- DoS ve DDoS Saldırıları
- MitM Saldırıları

- Oltalama Saldırısı
- Drive-by Download Saldırıları
- Parola Bruteforce Saldırıları
- SQL injection Saldırıları
- XSS Saldırıları

Kişilerin ya da ülkelerin gerçekleştirdikleri siber saldırıda amaç veri çalmak ya da veriyi ele geçiren saldırganın misilleme yapmak olabilmektedir. Siber saldırının vereceği hasarın boyutu, saldırganın alanındaki uzmanlığına bağlıdır. Saldırgan yukarıdaki yöntemleri kullanarak hedef sisteme ulaşmaya çalışacaktır. Hedef sistemde bulunan en küçük bir açık saldırganın sisteme girmesini ve amacına ulaşmasını kolaylaştıracaktır. 2021 yılı saldırıları analiz edildiğinde başarılı sızma girişimlerinin nedenleri şunlardır (Anonim a,2022);

- Zayıf ve çalıntı giriş bilgileri
- Arka kapılar
- Uygulama güvenlik açıkları
- sosyal mühendislik
- Gereğinden fazla izin tanımlanması
- İçeriden gelen tehditler
- Yanlış yapılandırma ve kullanıcı hatası

İncelemeler sonucunda veri ihlallerinin çoğunlukla zayıf ve sızdırılmış kullanıcı bilgilerinden kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu tarz kullanıcı bilgilerinin Deep Web gibi farklı platformlarda satışa çıkartıldığı bilinmektedir. Ayrıca saldırganlar farklı uygulama yazılımları ile hedef sistemlere erişim sağlayıp, bu erişim iznini üçüncü şahıslara para karşılığında verdiği de bilinmektedir.

Tablo 2 ve 3’de görüldüğü üzere kullanılan zayıf parola ve kullanıcı adı bilgisi nedeniyle saldırganın hedef sisteme erişmesi çok da zor olmamaktadır.

Tablo 2. Uzaktan erişilebilen sistemler üzerinde en çok denenen kullanıcı adları ve deneme sayıları

Denenen Kullanıcı Adı	Deneme Sayısı
root	1.479.367
admin	490.731
test	192.554
user	149.946
(empty)	145.289
101	88.376
administrator	62.672
support	48.467
operatör	32.355
nproc	24.831

Tablo 3. Uzaktan erişilebilen sistemler üzerinde en çok denenen parolalar ve deneme sayıları

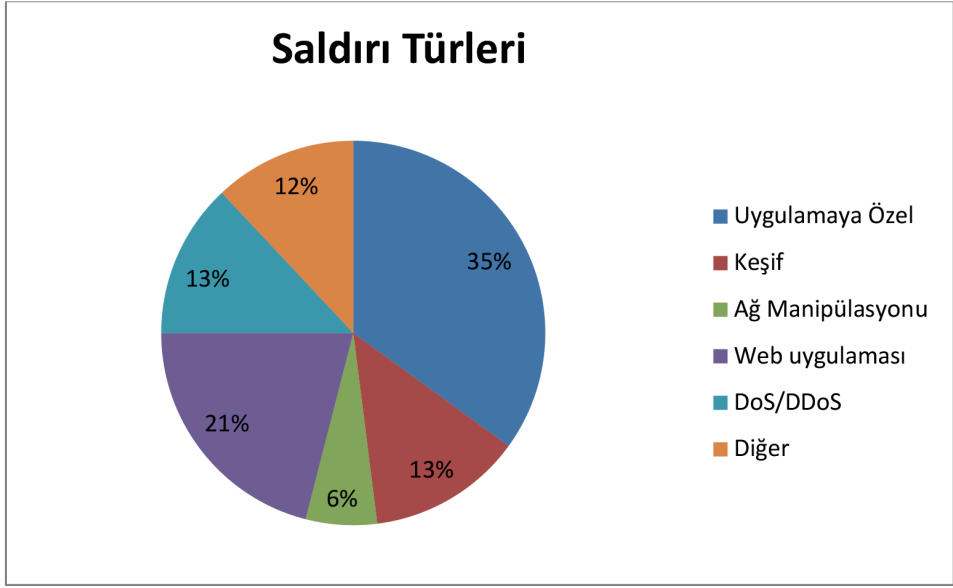
Denenen Kullanıcı Adı	Deneme Sayısı
Admin	390.144
1234	311.676
(empty)	181.901
Test	173.723
123456	109.786
123	102.071
101	87.819
User	83.532
Support	43.979

2021 yılı Thinktech verilerine göre siber saldırılarda hedef alınan sektörlerin başında Teknoloji sektörü yer almaktadır. Tablo 4’de Küresel saldırıların sektör adları ve yapılan saldırıların yüzdesi görülmektedir.

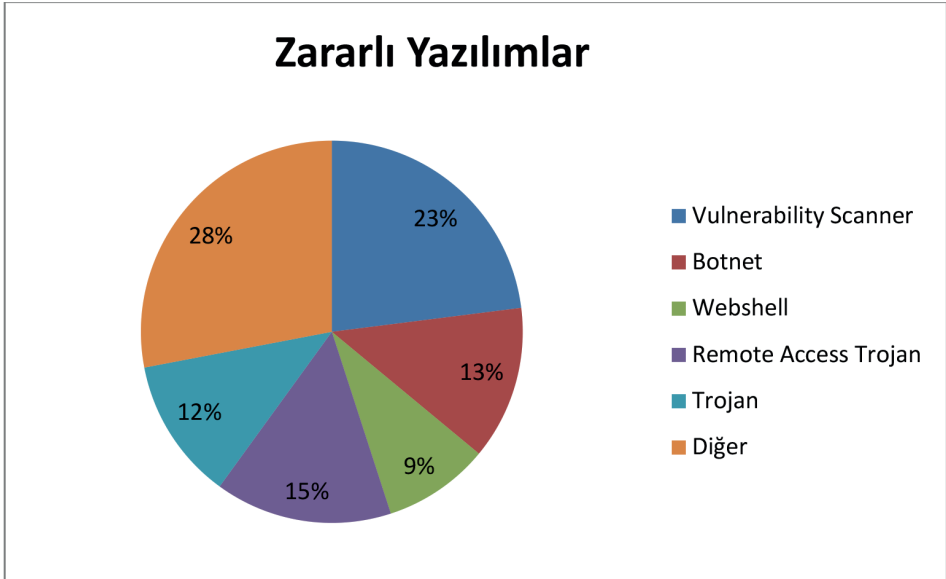
Tablo 4. Siber saldırılarda hedef alınan sektörler ve saldırı türleri yüzdesi

Küresel Saldırıların Sektör ve Yüzdesi		Sektöre Yönelik Saldırıları ve Yüzdesi	
Sektör Adı	Yüzdesi	Saldırı Türü	Yüzdesi
Teknoloji	25	Uygulamaya Özel	31
		DoS/DDoS	25
		Ağ Manipülasyonu	13
Devlet	16	Uygulamaya Özel	44
		DoS/DDoS	15
		Ağ Manipülasyonu	14
Finans	15	Uygulamaya Özel	35
		DoS/DDoS	31
		Ağ Manipülasyonu	14
Ticari ve Profesyonel Hedefler	12	Uygulamaya Özel	47
		DoS/DDoS	18
		Ağ Manipülasyonu	15
Eğitim	9	Uygulamaya Özel	54
		DoS/DDoS	20
		Ağ Manipülasyonu	9

Tablo 4’te belirtilen sektörlerde yapılan saldırılarda birçok farklı yöntem ve bu yöntemlerle birlikte bir çok farklı zararlı yazılım türü kullanılmaktadır. Thinktech verilerine göre en çok kullanılan saldırı türleri Şekil 1’de ve en çok kullanılan zararlı yazılımlar da Şekil 2’de gösterilmektedir (Thinktech, 2022).



Şekil 1. En çok kullanılan saldırı türleri.



Şekil 2. En çok kullanılan zararlı yazılım türleri.

2. SİBER GÜVENLİK

Siber güvenlik deyince birçok insanın aklına, sosyal medya hesap bilgilerini, banka hesap bilgilerini veya eposta bilgilerini çalmaya çalışan bir saldırgan görüntüsü oluşmaktadır. Hâlbuki siber güvenlik, çoğu insanın henüz önemini kavrayamadığı; kişisel bir durum olmaktan çıkıp ulusal hatta uluslararası öneme sahip, bireyleri ve toplumu sanal dünyanın zararlı etkilerinden korumayı amaçlayan bir güvenlik sistemidir (Hekim ve Başbüyük, 2013; İrdem ve Çobanoğlu, 2021; Yılmaz, 2022).

Tüm dünyada gelişen bilişim teknolojileri ile siber güvenlik, şirketler hatta ülkeler için süreklilik arz eden bir kavram haline gelmektedir. Mobilleşmenin, IoT cihazlarının ve yapay zekâ uygulamalarının hızla artması bu teknolojilerin güvenliğinin sağlanması noktasında büyük adımların atılması kaçınılmaz olmuştur. Gartner tarafından yapılan araştırmaya göre 2022 yılında şirketlerin siber güvenlik harcamalarının 133.7 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca dünya genelinde şirketlerin yalnızca %5'inin tam anlamıyla korunma prosedürlerini uyguladığı görülmektedir (Yılmaz, 2022).

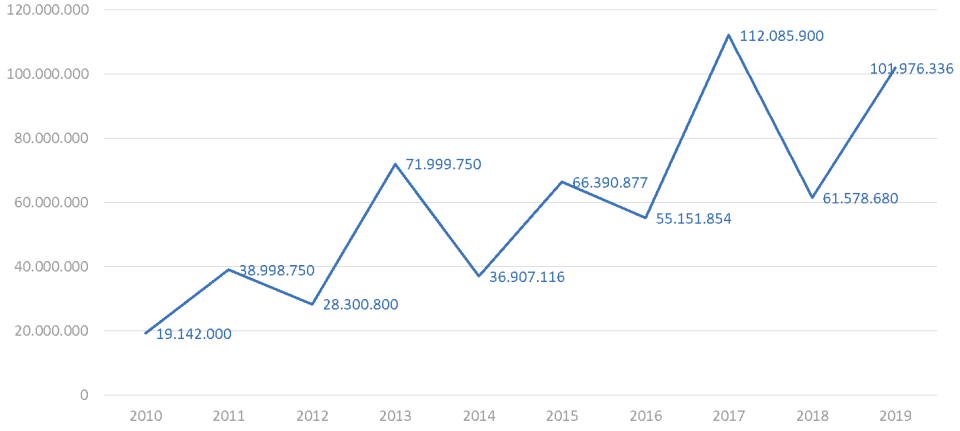
Şirketlerin ve kurumların bilgilerini, kaynaklarını ve çıkarlarını koruma pahasına gerçekleştirecekleri siber güvenlik prosedürleri, siber güvenlik alanındaki işsizlik oranını da %0'a indireceği Forbes'in öngörülleri içerisindedir. Siber güvenlik istatistiklerine göre 2016-2019 yılları arasında şirketlerin siber güvenlik uzmanlarına olan ihtiyacı yaklaşık %700 artmıştır, bu açığın kapatılması noktasında özel şirketlerden hizmet alımı yapılmaktadır.

Forbes'in tahminine göre 2022 yılının sonuna kadar büyük global şirketlerin neredeyse tamamında siber güvenlik uzmanı pozisyonlarının artacağı beklenmektedir. Bu gelişmeler tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de geriden ama hızlı adımlarla ilerlemektedir.

Türkiye'de siber güvenlik adımlarının hızla atılmasındaki en büyük etken Bakanlar Kurulu'nun 2012 yılında "Ulusal Siber Güvenlik Çalışmalarının Yürütülmesi, Yönetilmesi ve Koordinasyonuna ilişkin Kararı"

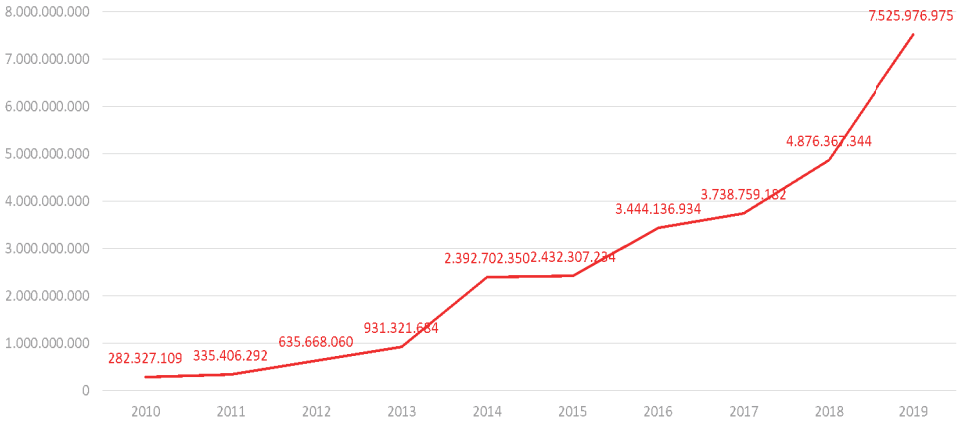
aldığı karar olmuştur. Bu karar ile, “kamu kurum ve kuruluşlarınca bilgi teknolojileri üzerinden sağlanan her türlü hizmet, işlem ve veri ile bunların sunumunda yer alan sistemlerin güvenliğinin sağlanmasına ve gizliliğinin korunmasına yönelik tedbirlerin alınması ve bilgi ve iletişim teknolojilerine ilişkin kritik altyapıların işletiminde yer alan gerçek ve tüzel kişilerce uyulması gerekli usul ve esasların düzenlenmesidir.” amaç ve kapsam belirlenmiştir (Resmi Gazete, 2012). Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi tarafından kurulan Siber Güvenlik Dairesi Başkanlığı, ulusal siber güvenliğin ve bilgi güvenliğinin sağlanması adına birçok projeye destek sunmaktadır. Ayrıca Teknopark İstanbul’un da işbirliğiyle siber güvenlik temalı kuluçka merkezinin kurulması için ilk adımlar atılmıştır (Torun, 2022). Havelsan verilerine göre, 2019 yılında Türkiye’nin siber güvenlik alanına sadece 120 milyon dolar harcarken bu miktarın 2025 yılına kadar yaklaşık 260 milyon dolara ulaşması beklenmektedir. Türkiye’nin dünyada siber saldırılardan en çok etkilenen 5.ülke olduğu gerçeği ele alındığında siber güvenlik konusunda çok ciddi adımların atılmasının kaçınılmaz ve daha da önemlisi mecburi olduğunu görebiliyoruz.

Türkiye’de siber güvenlik alanında çalışma yapan şirketlere yapılan yatırım düzeyleri incelendiğinde (Şekil 3) 10 yıl içinde büyük bir değişim olduğu görülmektedir. Dünya ölçeği (Şekil 4) ile kıyaslandığında ise yatırım miktarının çok az olduğu dikkati çekmektedir.



Şekil 3. Türkiye’de siber güvenlik alanında şirketlere yapılan yatırımlar (Yılmaz, 2022)

Crunchbase verilerine göre dünyada siber güvenlik alanında çalışan şirketlere yapılan yatırım miktarları son 10 yılda büyük bir artış göstermiştir. Şekil 4’de görüldüğü üzere yatırımlar 2017 yılı ile birlikte büyük bir ivme kazanmıştır.



Şekil 4. Siber güvenlik alanında yapılan yatırımlar (Yılmaz, 2022)

Markets and Markets'in 2020 yılı raporuna göre siber güvenlik alanında yapılan yatırımın büyüklüğü 170 milyon dolardı. Aynı yıl TÜBİSAD'ın raporunda ise bu rakam 173 milyar doları göstermektedir. Siber güvenlik pazarının yıllık yaklaşık %8 oranında büyüdüğü göz önüne alındığında 2022 yılında yapılan yatırımın 240 milyar doları aşması beklenmektedir. Berkshire Hathaway alt şirketi Business Wire şirketinin tahmini ise 2025 yılına kadar siber güvenlik alanında yapılan yatırımların 363 milyar doları bulacağı yönündedir. Yatırımların bu denli artmasının sebepleri arasında Covid 19 pandemisi sonrasında birçok şirketin uzaktan çalışma modelini benimsemesidir. İş gücünün dijital platformlara kayması siber güvenlik ihtiyacını büyük miktarda arttırmaktadır (Anonim b, 2022).

SONUÇ

Bilişim teknolojilerinin ve internetin hızla gelişmesi her ne kadar sınırsız özgürlük gibi görünse de bilişim dünyasına neredeyse aynı hızda virüsler, zafiyetler, saldırılar, bilgi hırsızlıkları, patent ihlalleri, hizmet aksatmaları gibi kavramları ekledi. Bu kavramlar birçok şirkete, kuruma ve ülkeye zarar vermiştir ve bu nedenle önlem almak kaçınılmaz olmuştur.

Siber saldırı çeşitlerinin bu denli fazla olduğu bir dönemde bireysel anlamda önlem almak giderek zorlaşmaktadır. Bu bağlamda oluşabilecek siber saldırılara karşı devlet, kurum ve bireylerin birlikte hareket ederek insanların bu alanda bilinç düzeylerinin artırılması gerekmektedir.

Birçok ülke hazırladığı eylem planları ile alt yapılarını korumayı, teknolojik gelişmeleri yakından takip etmeyi ve siber güvenlik alanında farkındalığı arttırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda milyarlarca dolarlık yatırım yapmaktan kaçınmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Anonim a, (2022). Must-Know Cybersecurity Statistics for 2021, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.cyber-observer.com/cyber-news-29-statistics-for-2021-cyber-observer/>. [Erişildi: 15.03.2022].
- Anonim b, (2022). Global Siber Güvenlik Pazarı, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.yapikredikobi.com.tr/isimi-yonetiyorum/haberler-ve-makaleler/makaleler/global-siber-guvenlik-pazarı-200-milyar-dolara-gidiyor>. [Erişildi: 15.04.2022].
- Aslay, F., (2017). *Siber Saldırı Yöntemleri ve Türkiye'nin Siber Güvenlik Mevcut Durum Analizi*”, International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, vol.1, 1, ss:24-28.
- Clarke, R. A. ve Knake, R.K., (2010). *Cyber War-The Next Threat to National Security and What to Do About It*, New York: HarperCollins Publishers, 74-85, 2010.
- Hekim, H, ve Başbüyük, O., (2013). *Siber suçlar ve Türkiye'nin siber güvenlik politikaları*. Uluslararası Güvenlik ve Terörizm Dergisi, 4(2), 135 - 158.
- İrdem, İ. ve Çobanoğlu, S., (2021). *Yapay Zekânın İç Güvenlik Yönetimi Üzerine Yansımaları: Siber Güvenlik*. Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi, 3 (2) , 175-202.
- Resmi Gazete, (2012). Ulusal Siber Güvenlik Çalışmalarının Yürütülmesi, Yönetilmesi ve Koordinasyonuna İlişkin Karar. 01 Ağustos 2019 tarihinde <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/10/20121020-18-1.pdf> adresinden ulaşıldı.
- Thinktech, 2022. Araştırma ve Yayınlar, [Çevrimiçi]. Available: <https://thinktech.com.tr/tr/arastirma-ve-yayinlar>. [Erişildi: 10.04.2022].
- Torun, N. ve Torun, T. (2022). *Kötü Amaçlı Yazılımların E-Ticaret İçerisinde Siber Güvenlik Açısından İncelenmesi*. Sakarya İktisat Dergisi, 11(1), ss:1-16.
- Yılmaz, M., (2022). Dünyada Ve Türkiye’de Siber Güvenlik Gerçekleri-1: İstatistikler, Analizler, Öngörüler. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.cubeincubation.com/blog/dunyada-ve-turkiyede-siber-guvenlik-gercekleri-1-istatistikler-analizler-ongoruler>. [Erişildi: 15.03.2022].

9. Bölüm

AKILLI FABRİKA TASARIMI İÇİN YOL HARİTASI OLUŞTURMA VE STRATEJİ ÖNCELİKLENDİRME İÇİN BİR KARAR MODELİ ÖRNEĞİ

Övünç GÜVERCİN

*Mess, Ferko Signature, Büyükdere Cad. No. 175 Kat: 14 34394 İstanbul,
ovunguvercin@outlook.com*

İhsan KAYA

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
ihkaya@yildiz.edu.tr*

1.GİRİŞ

İnternet teknolojilerinin ve altyapısının gelişimiyle ortaya çıkan yeni iş modelleri üretim verimliliğini artırarak hızlı, düşük hatalı, yüksek kaliteli, düşük maliyetli bir üretim yapısı gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu yeni nesil üretim teknolojileri üretimdeki esnekliği arttırarak dördüncü sanayi devrimi için koşulları oluşturmuştur. Kuruluşların Endüstri 4.0 kavramının getirdiği üretim çağına geçebilmesi çok fazla unsurun gelişimine bağlı olarak ilerler. Akıllı fabrikalar bu unsurların en önemlilerinden biridir. Endüstri 4.0, akıllı siber fiziksel sistemler kullanarak akıllı fabrikalar inşa etmek vizyonunu taşır (Thames ve Schaefer, 2016). Endüstri 4.0'ın sosyoekonomik potansiyeli ve vizyonu aşağıdaki gibi özetlenebilir (Kagermann, 2013) ve bu vizyonun en önemli uygulamalarından biri akıllı fabrikalardır.

- Bireysel müşteri ihtiyaçlarına karşılık verebilmek,
- Esnek sistemler yaratmak,

- Optimize karar almak,
- Kaynak verimliliği ve etkinliğini sağlamak,
- Yeni hizmetlerle birlikte değer fırsatları yaratmak,
- İşyerindeki demografik değişime karşılık verebilmek,
- Çalışma hayatı ve özel hayat arasındaki dengeyi elde etmek

Nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti, siber fiziksel sistemler gibi kavramlar Endüstri 4.0'ın ana öğelerini oluştururken bu unsurların bir araya getirilmesiyle de akıllı fabrikalar doğmuştur (Bartodziej, 2017). Birçok farklı nitelendirmeye nesnelerin fabrikası, karanlık fabrika, çok mekanlı fabrika, eş zamanlı fabrika olarak da isimlendirilen ve sadece sanayicilerin değil akademisyenlerin de ilgi gösterdiği akıllı fabrika kavramının keskin bir tanımı bulunmuyor. Ancak tüm tariflerin bir araya getirilmesiyle akıllı fabrika kavramını otomasyon, yazılım, donanım, mekanik altyapı gibi teknolojik gelişmelere adapte ve yeniden yapılandırılabilen üretim süreçleri sayesinde, oluşması muhtemel tüm problemleri dinamik, esnek ve hızlı biçimde çözebilen fabrika olarak tanımlamak mümkündür (Radziwona, 2014).

Tüm birimleriyle birbirlerine entegre ve küresel endüstriyel ağa bağlı üretim yapan fabrikalar, en az elle müdahale gerektirecek makine ve cihazlara sahip akıllı ve kısmen bağımsız bir şekilde hareket edecektir (Monostori, 2014). Mevcut merkezi fabrikalar 2. sanayi devrimiyle birlikte ağırlık kazanıp verimliliği arttırmak adına önemli bir işlev görmüştür. Fakat günümüzün değişen ve yenilenen koşulları, teknolojik evrime bağlı olarak tüm ihtiyaçları ve müşteri beklentilerini değiştirmiştir. Bu değişim rekabetçi piyasa koşullarında hızlı cevap verilmesi elzem dinamikleri yaratmıştır. Değişen ihtiyaç ve üretim algısına hızlı yanıt verebilmek adına mevcut merkezi fabrika devrinin yerini akıllı fabrika tasarımlarına bırakacağı aşıkardır.

Akıllı fabrikaların tasarımı için önem çerçevesinin oluşturulması ve geçiş aşamalarının belirlenmesi belirsizlik ve karmaşa içermektedir. Akıllı fabrika bileşenlerinin keskin çizgilerle birbirinden ayrılmamış oluşu ve teknolojik altyapının tamamen hayata geçmemesinden kaynaklı olarak tam manasıyla akıllı fabrika olarak adlandırılacak bir uygulamanın bulunmaması süreç için insan yargılarını ve tahminlerini önemli kılmaktadır. Kapsam çerçevesinin oluşturulması ve kriterlerin önem ağırlığının belirlenebilmesi için deterministik yaklaşımlar bu şartlarda kullanılamayacağından bulanık bir ortamda insan değerlendirmelerini

karar sürecine katan çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanımı mümkün görünmektedir. Literatür incelemesi sonucunda akıllı fabrika dönüşümlerinde stratejilerin önceliklendirilmesi ve yol haritası oluşturulmasına ilişkin çalışmaya rastlanmamıştır. Şirketlerin özellikle bu dönüşümle ilgili zorlukları henüz hiç deneyimlemedikleri veya henüz yeni yeni yaşamaya başladığı bu süreçte bir gelecek tahmini yaparak kendi hedefleriyle eşleşen bir plan kurgulamaları kısıtlı kaynak içerisinde en doğru yatırımı yapmalarını sağlayacaktır. Bu nedenden dolayı çalışma kapsamında bu probleme çözüm getirebilmek adına bir karar modeli önerisi sunulmuştur.

Akıllı fabrika unsurlarının önem derecesini belirlemek, dönüşüm zorluklarını sınıflandırmak, uygunluk düzeyine karar vermek oldukça zordur. Zira, buradaki kriterleri değerlendirmek belirsiz, karmaşık ve insan yargılarını içeren süreçleri içerecektir. Görüşüne başvurulmuş uzmanların önem verdiği kriterler ve bu kriterler arasında da farklı bağımlılıklar bulunacaktır. Bu nedenle akıllı fabrika için yol haritası ve stratejik önceliklendirmelerin yapılması bulanık yaklaşımlı bir çok kriterli karar verme problemi olarak değerlendirilebilir. Buradan hareketle literatür taramasında belirsizlik koşullarında çok kriterli karar verme metodları kullanılarak yapılmış stratejik önceliklendirme çalışmaları incelenmiştir.

Bu çalışma, akıllı fabrika tasarımı için stratejik önceliklendirme ve yol haritasını oluşturma problemini bulanık ortamda bir karar verme modeli ile çözmeyi amaçlamıştır. Çalışmada kullanılacak metodoloji pisagor bulanık mantık ve çok kriterli karar verme tekniklerinin entegrasyonunu içermektedir. Hesap ve kullanım kolaylığı, esnek yapısı ve karmaşık modellerde iyi sonuçlar vermesi nedeniyle çok kriterli karar verme teknikleri tercih edilmiştir. Aynı zamanda akıllı fabrika gibi belirsizlikleri içeren koşullarda verimli sonuç vermesi beklenen pisagor bulanık mantık kullanılmıştır. Literatür taraması, uzman görüşleri ve Delphi yaklaşımıyla öncelikle akıllı fabrika strateji önceliklendirme ve yol haritasında kullanılacak olan kriter alt kriterler ve stratejiler belirlenmiştir. Oluşturulan bu kriterler arası ilişki durumu oldukça önemlidir. Zira bu durum hiyerarşi oluşturma sürecini etkileyecektir. DEMATEL yöntemi kriterler arası bu ilişkinin olup olmadığını incelemek için kullanılmıştır. İlişkinin olmadığı durumda Pisagor Bulanık AHP, olması durumunda ise Pisagor Bulanık ANP kullanımı mümkün olacaktır.

Ardından Pisagor Bulanık TOPSIS ile stratejiler söz konusu kriterlere göre önceliklendirilmiştir. Nihayetinde çıkan sonuçlar duyarlılık analiziyle test edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstri 4.0 ve akıllı fabrika kavramı son yıllarda araştırmacıların dikkatini çeken bir konu olmakla beraber çalışmalar çoğunlukla kavramsal tanımlama, kapsam çerçevesi, teknolojik bileşenler, olgunluk düzeylerinin belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Literatür taraması yapıldığında belirsizlik koşullarında yapılan stratejik önceliklendirme çalışmaları mevcut olsa da akıllı fabrika tasarımına ilişkin strateji önceliklendirme ve yol haritası oluşturma açısından herhangi bir çalışma olmadığı görülmüştür.

Belirsizlik koşullarında stratejik önceliklendirme yapılan çalışmalar incelendiğinde, Goh ve ark. (2007) simülasyon modelini, Klein ve ark. (2009) sezgisel optimizasyon modelinin kullanımını önerdikleri görülmektedir. Li ve Li (2009) belirsiz uzman sistemleri için AHP ve simülasyon ile belirsizlik altında strateji oluşturma durumunu ele alırken, Kaya ve Kahraman (2011) ile daha sonra Paksoy ve ark. (2012) bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini, Beloglazov ve ark. ise (2012) stokastik seçim modelini strateji önceliklendirme amacıyla uygulamıştır.

Literatürde görüldüğü gibi belirsizlik ortamlarında stratejik önceliklendirme adına stokastik, sezgisel, simülasyon, bulanık çok kriterli karar verme modelleri önerilmiştir. Özellikle 2010'lu yıllardan itibaren belirsizlik koşullarındaki strateji belirleme problemlerine öneri olarak bulanık çok kriterli karar verme metotları sunulmuştur. Literatürde bugüne kadar endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm sürecinde strateji önceliklendirme ve yol haritası oluşturma adına kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden bazıları bulanık koşullar esas alınarak gerçekleştirilmiş olup konu edindiğimiz problemle bu çalışmalar daha çok örtüşmektedir.

M.Erdoğan ve ark. (2018), Endüstri 4.0'a geçişte en iyi strateji seçimini gerçekleştirmek için Bulanık AHP-VIKOR yöntemini kullanmıştır. Akcan (2018) çalışmasında Endüstri 4.0 olgunluk boyutlarının önceliklendirilmesi konusunu ele almış ve TOPSIS tekniğinden faydalanmıştır. Apilioğulları (2019), dijital dönüşüm yol haritasını oluşturmak için DEMATEL'I kullanırken Eren (2019) Endüstri 4.0 stratejilerinin değerlendirilmesinde ANP ve TOPSIS entegrasyonunu tercih etmiştir. Yalçınar'ın 2020 yılındaki çalışmasında Endüstri 4.0'a geçişte sektör sıralamasında TOPSIS kullanılırken Kaya'nın (2020) çalışmasında Endüstri 4.0 için bir yol haritası oluşturma problemi sezgisel bulanık çok kriterli karar verme yöntemleriyle incelenmiştir.

3. METODOLOJİ

Akıllı fabrika tasarımında strateji önceliklendirme ve yol haritası oluşturmak amacıyla önerilen modelde pisagor bulanık küme ile DEMATEL, ANP, TOPSIS entegrasyonu kullanılmaktadır. Gerçek hayat problemlerinin belirsiz ve yargı içeren yapısı bu problemlerin çözümünde ÇKKV yöntemlerini yetersiz kılmıştır. Bu sorunu aşabilmek adına belirsizlikleri modelleyebilen yapılarla ÇKKV yöntemleri entegre edilmiştir. Bunun en önemli örneği bulanık yöntemlerle genişletilen ÇKKV teknikleri olmuştur. (Büyüközkan, 2017) Fakat özellikle bulanık mantığın önemli bir elementi olan dilsel ifadelerden ve verilerin yetersizliği başta olmak üzere belirsizliğin iyi derecelendirilememesi klasik bulanık kümelerin etkili sonuç vermesini zorlaştırmaktadır.

Bu nedenle belirsizlik koşullarının daha iyi derecelendirilebildiği, üye olma ve üye olmama durumlarını ayrı olarak ele alabilen, kapsayıcılığı yüksek pisagor bulanık kümelerle ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanılmasına yönelik geliştirmeler sağlanmıştır. (Peng, 2016) ÇKKV yöntemleri PBK ile kullanıldığında hassas ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilir.

Kriterlerin belirlenmesi literatür taraması ve DELPHI yaklaşımları kullanılırken ve kriterler arasındaki ilişkinin tayininde DEMATEL tekniği önerilmektedir. Kriterler arası ilişkinin olup olmamasına göre kriter ağırlıklandırılmalarında kullanılacak teknik (AHP ya da ANP) değişeceği için DEMATEL yaklaşımı kullanılarak kriterler arası ilişkinin bulunup bulunmadığı sonucuna erişilecektir. Buradan elde edilecek bulgular kriter ağırlıklarının hesaplanmasına eğer ilişki varsa ANP, yoksa AHP kullanımını beraberinde getirecektir. Belirlenen alternatif stratejiler açısından en ideal çözümü verebilmesi adına TOPSIS yönteminin sağladığı en iyi strateji seçimi şirketlerin bu geçişte hangi kriterlere önem vermesi gerekliliğini ortaya koyacak ve tartışmaya açacaktır.

Çalışmada adımlar şu şekilde ilerleyecektir;

- Kriterlerin ve stratejilerin belirlenmesi
- Kriterler arası ilişkinin belirlenmesi
- Kriterlerin ağırlıklandırılması
- Stratejilerin önceliklendirilmesi
- Duyarlılık analizi
- En uygun stratejinin seçimi

İlk yapılacak işlem akıllı fabrika tasarımı için gerekli kriterlerin belirlenmesi şeklinde olacaktır. Kriterlerin belirlenmesi literatür taraması, uzman görüşü ve DELPHI yaklaşımıyla yapılacaktır. Kriterler arası ilişkinin belirlenmesinde DEMATEL yöntemi kullanılacaktır. Kriterler arası ilişki varsa bulanık ANP ilişki yoksa bulanık AHP kullanılarak kriterlerin ağırlıkları saptanacaktır. Strateji önceliklendirme aşamasında ise belirlenen tüm stratejiler bulanık TOPSIS kullanılarak değerlendirilecektir.

Literatür araştırmasından da anlaşılacağı üzere bu tür problemlerin çözümünde ÇKKV teknikleri oldukça etkindir. ÇKKV teknikleri, karar verme süreçlerinde birden fazla kriteri göz önüne alan ileri düzeyde karar verme metodolojisidir. Karar vericilere problemin karmaşıklığına uygun olarak geniş bir metodoloji yelpazesi sunmaktadır. ÇKKV yöntemleri insan katılımı ve yargılarını içermektedir (Bhagtani, 2008).

Kriter ve stratejilerin belirlenmesi aşamasında yararlanılan delphi tekniği RAND (Research and Development) kuruluşu tarafından geliştirilmiştir. Bu metodun amacı konu hakkındaki uzman grubundan en nitelikli tekrarlı ve sistematik bilgiyi toplamak ve gruplamaktır. İki veya üç iterasyondan oluşan bu teknikte her iterasyon sonrası uzmanlara önceki iterasyonla ilgili özet yapılarak uzmanlara vermiş oldukları karar bilgisi ile ilgili yeniden değerlendirme ve revize etme olanağı tanınmış olur. Revize edilmiş görüşlerde farklı yargılar azalır ve kendiliğinden bir karar ortaya çıkmış olur. Delphi metodunda her turda uzlaşmaya daha çok yaklaşıldığı düşünülür. Fakat bu yaklaşımda hangi iterasyonda işlemin sonlandırılmasına karar verileceği değişkendir. Bu nokta, uzmanların çoğunun fikrinin değişmemesi, ortalama değişimin düşük olması gibi sebeplere göre belirlenebilir.

3.1 Pisagor Bulanık DEMATEL

Dematel tekniği kriterler arası ilişkileri saptayarak bu kriterleri birbirleri üzerindeki etkileri bakımından düzenler. Diğer kriterleri yüksek oranda etkileyen ve bu nedenle de yüksek öncelikte kabul edilen kriterlere sebep kriterleri denirken daha çok etki altında kalanlara sonuç kriterleri denilir (Tseng ve Lin 2008). Verilerin yetersizliği ve sayısal değerlendirme açısından uygun olmayan kriterler nedeniyle DEMATEL yönteminin pisagor bulanık kümelerle kullanımı yaygınlaşmıştır. Dilsel ifadelerle değerlendirilen kriterler arası ilişkiler Pisagor bulanık sayılara dönüştürülür. (Abdullah, 2019)

Yöntemin adımları aşağıdaki gibidir; (Zengin ve Kaya, 2019)

1.Adım: PBK'lerde Dilsel İfadelerin ve Karşılık Gelen Bulanık Karşılığın Belirlenmesi

Öncelikle, kriterlerin birbirleriyle ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılacak dilsel ifadeler ve pisagor bulanık sayı karşılıkları oluşturulur. (Abdullah ve Goh, 2019)

Tablo 1: DEMATEL Yöntemi İçin Kullanılacak Dilsel İfadeler ve Karşılıkları

Dilsel İfadeler	Kısaltma	Pisagor Ölçeği
Aşırı Az Etkili	AAE	<0,0>
Oldukça Az Etkili	OAE	<0.1,0.9>
Az Etkili	AE	<0.2,0.9>
Normal Etkili	NE	<0.4,0.6>
Çok Etkili	ÇE	<0.5,0.7>
Oldukça Çok Etkili	OÇE	<0.7,0.2>
Aşırı Çok Etkili	AÇE	<0.9,0.1>

Tabloda verilen pisagor ölçeklerinden ilki üye olma derecesini $\mu\tilde{P}(x)$, ikinci sayı ise üye olmama derecesi $V\tilde{P}(x)$ ifadesini gösterir. Görüldüğü üzere bu iki değer toplamının bazı ifadelerde 1 değerinden yüksekken karelerinin toplamı ise 1'den büyük değildir.

2.Adım: Direkt İlişki Matrislerinin Kurulması

Her bir uzman tarafından n adet kriter arasındaki ilişkileri değerlendirmek için dilsel ifadeler ile $n \times n$ boyutunda direkt ilişki matrisi oluşturulur. Bir karar grubu k adet uzmandan oluşuyorsa, bu durumda k adet karar matrisi elde edilir. k. uzmana ait bulanık direkt ilişki matrisi \tilde{A}^{kij} olarak gösterilir.

Bu matriste yer alan \tilde{a}^{kij} pisagor bulanık sayısı bir dilsel ifadenin bulanıklaştırılmış hali olup i. faktörün j. faktörü üzerine etki düzeyini göstermektedir.

$$\tilde{a}^{kij} = ([\mu^{kij}], [v^{kij}])$$

$[A_k]_{n \times n}$, k. uzmana ait direkt ilişki matrisini temsil eder ve bu matrisin gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$[A_k]_{n \times n} = \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} \begin{bmatrix} [\mu_{k11}, \nu_{k11}] & \cdots & [\mu_{k1n}, \nu_{k1n}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [\mu_{kn1}, \nu_{kn1}] & \cdots & [\mu_{knn}, \nu_{knn}] \end{bmatrix}$$

3. Adım: Ağırlıklı Direkt İlişki Matrisi

Bir uzmanın diğer uzmanlar arasındaki ağırlığı λ_k ile gösterilir ve bu uzmana ait söz konusu ağırlık ile yine bu uzmana ait direkt ilişki matrisinin çarpımı ile ağırlıklı ilişki matrisi bulunmuş olur.

$$\lambda_k A_k = \begin{bmatrix} \lambda_k [\mu_{k11}, \nu_{k11}] & \cdots & \lambda_k [\mu_{k1n}, \nu_{k1n}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_k [\mu_{kn1}, \nu_{kn1}] & \cdots & \lambda_k [\mu_{knn}, \nu_{knn}] \end{bmatrix}$$

$\forall k \in K$ için $\lambda_k \tilde{a}_{ij}$, ağırlıklı pisagor bulanık kümenin elemanı olup aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\lambda_k \tilde{a}_{ij} = \langle \sqrt{1 - (1 - \mu_{ij}^2)^\lambda}, (v_{ij})^\lambda \rangle$$

4. Adım: Toplam Matrisi Hesaplama

Tüm uzmanların değerlendirmelerinin yer aldığı k adet farklı pisagor matrisi toplanır. Aşağıda uzman sayısının 3 olarak alındığı bir işlem gösterilmiştir.

$$\lambda_{k1} A_{k1} \oplus \lambda_{k2} A_{k2} \oplus \lambda_{k3} A_{k3} = \begin{bmatrix} \lambda_{k1} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k1},11} \oplus \lambda_{k2} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k2},11} \oplus \lambda_{k3} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k3},11} & \cdots & \lambda_{k1} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k1},1n} \oplus \lambda_{k2} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k2},1n} \oplus \lambda_{k3} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k3},1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{k1} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k1},n1} \oplus \lambda_{k2} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k2},n1} \oplus \lambda_{k3} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k3},n1} & \cdots & \lambda_{k1} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k1},nn} \oplus \lambda_{k2} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k2},nn} \oplus \lambda_{k3} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k3},nn} \end{bmatrix}$$

Her bir uzmana ait ağırlık ile o uzmana ait direkt ilişki matrisinin çarpımı ve bu matrislerin toplamı ile ağırlıklı direkt ilişki matrisleri elde edilir ve aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\lambda_{k1} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k1},ij} \oplus \lambda_{k2} \tilde{a}_{\tilde{A}_{k2},ij} = \left[\sqrt{\mu_{\lambda_{k1}}^2 \tilde{A}_{k1} + \mu_{\lambda_{k2}}^2 \tilde{A}_{k2} - \mu_{\lambda_{k1}}^2 \tilde{A}_{k1} \mu_{\lambda_{k2}}^2 \tilde{A}_{k2}}, v_{\lambda_{k1}}^2 \tilde{A}_{k1} v_{\lambda_{k1}}^2 \tilde{A}_{k1}} \right]$$

5.Adım: Durulaştırma

Skor fonksiyonu yardımıyla durulaştırma işlemi yapılır ve toplam ortalama net matris elde edilir. Skor fonksiyonu $a_{ij} = \mu_{ij}^2 - v_{ij}^2$ formülüyle gösterilir. Elde edilen ortalama net matris şu şekildedir;

$$A_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

6.Adım: Normalize Edilmiş Ortalama Net Matrisin Oluşturulması (X Matrisi)

Ortalama net matrisin normalize edilmesi için öncelikle $A_{n \times n}$ matrisindeki tüm satırlar ve sütunlar toplanır. Her satır ve sütun için bulunan bu değerlerden en büyüğü seçilerek tüm matris bu değere bölünür. Elde edilen nihai matris normalleştirilmiş direk ilişki matrisi olarak ifade edilir ve X ile gösterilir. Bu işlemlerin matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$X = x_{ij}, \quad 0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$s = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

7.Adım: Toplam İlişki Matrisinin Bulunması (T Matrisi)

Ortalama net matris normalize edildikten sonra aşağıdaki eşitlikler yardımıyla T toplam ilişki matrisi oluşturulur. Bu matris oluşturulurken birim matristen, normalize edilmiş net matristen faydalanılır. I, nxn boyutlarında bir birim matris; X, normalleştirilmiş matris; T, toplam ilişki matrisidir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = X(I - X)^{-1}$$

$$T = \begin{bmatrix} [t_{11}] & \cdots & [t_{1n}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [t_{n1}] & \cdots & [t_{nn}] \end{bmatrix}$$

8.Adım: Kriterler Arası İlişkilerin Belirlenmesi

Elde edilen toplam ilişki matrisinin aritmetik ortalaması alınır ve eşik değerler bulunur. Matriste bu ortalama değeri üzerinde kalan değerlerin birbirleriyle anlamlı ilişkiler kurduğu kabul edilir.

3.2 Pisagor Bulanık ANP

İşlem adımları aşağıdaki gibidir (Zengin ve Kaya, 2019).

1.Adım: Karar Probleminin Tanımlanması ve Modelin Kurulması

2.Adım: İlişkilerin Belirlenip Ağ Yapısının Oluşturulması

Birbirleriyle ilişkili kriterler belirlenerek bu ilişkilere göre ağ yapısı tasarlanır. Bu ilişkilerin belirlenmesinde DEMATEL sonuçları kullanılabilir.

3.Adım: Kriterler Arası İkili Karşılaştırmaların Yapılması

Ağ yapısı esas alınarak oluşturulan anketler aracılığıyla uzmanlardan alınan görüşlerle ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Dilsel ifadelerle kriterlerin birbirlerine göre önem düzeyleri değerlendirilmiş olur.

4.Adım: Kriter Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Analizlerinin Yapılması

İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı Saaty'nin klasik tutarlılık oranı yöntemiyle bulunur. Dilsel ifadelerin Saaty'nin ölçeğiyle eşleştirilmesinin ardından oluşturulan yeni matrisin tutarlılık oranı hesaplanmış olur. Eğer bu matris tutarlıysa aynı matrisin bulanık kümelerden oluşan hali de tutarlı kabul edilir. Pisagor bulanık ölçekte karşılıkları verilmiş Saaty dönüşüm tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2. Pisagor Bulanık Ölçek Saaty Dönüşüm Tablosu

Dilsel İfadeler	Kısaltma	Pisagor Ölçeği	Saaty Ölçeğindeki Karşılığı
Aşırı Derecede Çok Önemli	ADÇÖ	(1.0,0.0,0.0)	9
Oldukça Çok Önemli	OÇÖ	(0.9,0.2,0.39)	7
Çok Önemli	ÇÖ	(0.8,0.25,0.55)	5
Ortalamanın Üzerinde Önemli	OÜÖ	(0.7,0.35,0.62)	3
Ortalama Öneme Sahip	OÖS	(0.6,0.5,0.62)	1
Düşük Düzeyde Önemli	DDÖ	(0.45,0.70,0.55)	1/3
Çok Düşük Düzeyde Önemli	ÇDDÖ	(0.4,0.75,0.53)	1/5
Oldukça Düşük Düzeyde Önemli	ODDÖ	(0.2,0.8,0.57)	1/7
Aşırı Derecede Az Önemli	ADAÖ	(0.1,0.9,0.42)	1/9

Tutarlılık oranının (CR) hesaplanabilmesi için öncelikle tutarlılık indeksinin (CI) bilinmesi gerekir. Saaty tarafından tanımlanan tutarlılık indeksi eşitlikte gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Matrislerin tamamen tutarlı olduğunu kabul edebilmek için en büyük özdeğer λ_{max} değerinin, matris boyutuna (n) eşit olması gerekir. λ_{max} değerinin n sayısına çok yakın olduğu durumlarda, tutarlılık indeksinin değeri sıfırdan farklı olacaktır. Bu durumda, matrislerin tutarlılığını ölçebilmek için çeşitli boyuttaki matrislere (1–15 boyutlu) ait rassal indeksler oluşturulmuştur.

Tablo 3. Rassel İndex Tablosu

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

λ_{\max} değerinin n değerine yakın olduğu durumlarda, Saaty tarafından tanımlanan tutarlılık oranı (CR) şu şekilde hesaplanır;

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranı (CR) için sınır 0.1 olarak tanımlanır. Tutarlılık oranı değerinin 0.1'den küçük olması halinde matristeki karşılaştırmaların tutarlı olduğu söylenebilir. CR değeri sıfıra yaklaştıkça karşılaştırma sonuçları daha tutarlı olacaktır (Wang,2007). Bu değerden büyük olması ise karşılaştırma matrislerinin tutarsız olduğu anlamına gelir. Karşılaştırma matrislerinin tutarlı olmaması halinde uzmanlara geri dönüş yapılır ve anketleri tekrar doldurmaları istenir.

5. Adım: Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi

Uzman görüşlerinden oluşan pisagor bulanık sayılı matrisler, aşağıdaki eşitlik yardımıyla PFWG operatörü kullanılarak birleştirilir (Çoban ve Onar, 2007).

$$PFWG(Pi) = (\prod_{i=1}^n \mu_i^{w_i}, \prod_{i=1}^n v_i^{w_i})$$

6. Adım: Durulaştırma

Uzman görüşlerinin birleştirilmesi ile oluşan bulanık sayılı matrisleri net matrislere dönüştürmek için durulaştırma işlemi yapılmalıdır. Bir pisagor bulanık sayılı olan $\tilde{A}_i = (x, \mu_{\tilde{A}_i}(x), v_{\tilde{A}_i}(x))$ ifadesinin durulaştırılmış değeri aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilmektedir (Çoban ve Onar, 2007).

$$P_{def f}(\tilde{A}_{\mu\nu}) = \frac{\mu_{\tilde{A}}^2(1 - \gamma) + \gamma(1 - v_{\tilde{A}}^2)}{2}$$

γ , üye olma ve üye olmama değerlerinin ağırlığını temsil eder.

7.Adım: Öz Vektörlerin Belirlenmesi

8.Adım: Süper Matrisin Oluşturulması

Süper matris, ikili karşılaştırmalardan elde edilen özvektörlerin hepsinin bir matriste birleştirilmesiyle oluşturulur. Süper matrisin boyutu, tüm kriterlerin toplam sayısına eşittir.

Bir karar sisteminin kümeleri C_h ($h = 1, 2, \dots, n$) olsun. Her h kümesi, n_h elemanına sahiptir ve $C_{h \times n_h}$ şeklinde gösterilir. Bu durumda $C_{h \times n_h}$ süper matrisi aşağıdaki şekildeki gibi gösterilir.

		C_1		C_h		C_N
		$C_{11} C_{12} \dots C_{1n_1}$	\dots	$C_{h1} C_{h2} \dots C_{hn_h}$	\dots	$C_{N1} C_{N2} \dots C_{Nn_N}$
C_1	C_{11}	w_{11}	\dots	w_{1h}	\dots	w_{1N}
	C_{12}					
	\dots					
	C_{1n_1}	\vdots		\vdots		\vdots
C_h	C_{h1}	w_{h1}	\dots	w_{hh}	\dots	w_{hN}
	C_{h2}					
	\dots					
	C_{hn_h}	\vdots		\dots		\vdots
C_N	C_{N1}	w_{N1}	\dots	w_{Nh}	\dots	w_{NN}
	C_{N2}					
	\dots					
	C_{Nn_N}					

Şekil 1. $C_{h \times n_h}$ süper matrisi

9.Adım: Ağırlıklı Süper Matrisin Oluşturulması

Süper matristeki her bir sütun, o sütun toplamı ile normalize edilerek ağırlıklı süper matris oluşturulur.

10.Adım: Limit Matrisin Oluşturulması

Son aşamada, yakınsak veya sabit değerler elde etmek için ağırlıklı süper matrisin büyük bir üssü alınarak limit matris oluşturulur. Üst alma işlemi, matristeki değerler sabitleşinceye kadar devam eder. Bu limit matristeki değerler, kriterlerin önceliklerini gösterir. Limit matris elde edildikten sonra tekrar normalizasyon yapılarak kriter ağırlıkları belirlenir.

3.3 Pisagor Bulanık TOPSIS

Alternatiflerinin seçiminde en çok kullanılan ÇKKV tekniklerinden olan TOPSIS, belirsizlik ve subjektif değerlendirmeler ile başa çıkmada etkili bir yöntem olan pisagor bulanık kümeler ile genişletilmiştir.

Pisagor Bulanık TOPSIS, daha önce belirlenmiş kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin yakınlık indeksinin hesaplanması ve alternatiflerin PIS'a yakınlığı ve NIS'a uzaklığı ölçüsünde sıralanması mantığına dayanır (Zengin ve Kaya, 2019).

1.Adım: Uzman Ağırlıklarını Belirleme

Problemin çözümü için kriter, alternatif ve uzmanlar belirlenir. Ardından pisagor bulanık sayıları temsil eden dilsel ifadeler yardımıyla tüm uzmanların önem düzeyi derecelendirilmelidir. Bu önem derecesinin pisagor bulanık sayılardaki karşılığı aşağıdaki gibidir.

$$P_k = [\mu_k, \lambda_k, \pi_k]$$

P_k , k. uzmana ait önem düzeyini gösterirken μ_k , k. uzmana ait belirlenen önem düzeyinin PBK'deki üye olma derecesini; λ_k üye olmama derecesini ve π_k , belirsizlik derecesini ifade eder. k. uzmanın diğer uzmanlar arasındaki ağırlık düzeyi (σ_k) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir. k adet uzmana ait ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır.

$$\sigma_k = \frac{(\pi_k + \pi_k(\mu_k/(\mu_k + \lambda_k)))}{\sum_{k=1}^n (\pi_k + \pi_k(\mu_k/(\mu_k + \lambda_k)))}$$

$$\sum_{k=1}^n \sigma_k = 1$$

P_k , Pisagor bulanık sayısındaki belirsizlik derecesini π_k ifade eder.

$$\pi_k = \sqrt{1 - \mu_k^2 - \lambda_k^2}$$

2.Adım: Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması (X Matrisi)

Birden fazla uzmanın yer aldığı sistemde tüm uzmanların bireysel görüşleri, o uzmanın ağırlıklandırılmış önem düzeyi dikkate alınarak PFWA operatörü vasıta-

sıyla birleştirilir. X_{ij} , toplam Pisagor bulanık karar matrisidir ve aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} X_{ij} &= (PFWA_{\sigma}(X_{ij}^{(1)}, X_{ij}^{(2)}, \dots, X_{ij}^{(n)})) \\ &= \sigma_k X_{ij}^{(1)} \oplus \sigma_k X_{ij}^{(2)}, \dots, \sigma_k X_{ij}^{(n)} \\ &= \left(\sqrt{1 - \prod_{k=1}^n (1 - (\mu_{ij}^{(k)})^2)^{\sigma_k}}, \prod_{k=1}^n (\lambda_{ij}^{(k)})^{\sigma_k}, \sqrt{\prod_{k=1}^n (1 - (\mu_{ij}^{(k)})^2)^{\sigma_k} - \left(\prod_{k=1}^n (\lambda_{ij}^{(k)})^{\sigma_k}\right)^2} \right) \end{aligned}$$

X_{ij} ifadesinin i. satır, j. sütunundaki pisagor bulanık sayısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$X_{ij} = (\mu_{A_i}(C_j), \lambda_{A_i}(C_j), \pi_{A_i}(C_j)), i=1,2,\dots,l, j=1,2,\dots,m.$$

Buna göre, $X = (X_{ij})_{l \times m}$, toplam pisagor bulanık karar matrisidir ve aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir.

$$X = \begin{matrix} & C_1 & & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \dots \\ A_l \end{matrix} & \begin{bmatrix} (\mu_{A_1}(C_1), \lambda_{A_1}(C_1), \pi_{A_1}(C_1)) & \dots & (\mu_{A_1}(C_m), \lambda_{A_1}(C_m), \pi_{A_1}(C_m)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_l}(C_1), \lambda_{A_l}(C_1), \pi_{A_l}(C_1)) & \dots & (\mu_{A_l}(C_m), \lambda_{A_l}(C_m), \pi_{A_l}(C_m)) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

3.Adım: Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tıpkı uzmanların önem derecelerinin belirlenmesinde olduğu gibi bu kez de kriterlerin önem dereceleri olan W_j değerleri bulunur. Bu değerler ANP gibi yöntemlerle elde edilerek C_j kriterine atanan değerlerdir. $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, ($j=1,2,\dots,m$)

4.Adım: Birleştirilmiş Ağırlıklı Pisagor Bulanık Karar Matrisinin Hesaplanması

Kriterlerin ağırlık matrisi W 'nin hesaplanmasının ardından birleştirilmiş pisagor bulanık karar matrisi olan X ile çarpım operatörü vasıtasıyla birleştirilmiş ağırlıklı pisagor bulanık karar matrisi $X' = ()_{l \times m}$ elde edilir. Birleştirilmiş ağırlıklı pisagor bulanık karar matrisinin i. satır, j. sütununda yer alan pisagor bulanık sayı

$$x'_{ij} = (\mu_{A_i} w(C_j), \lambda_{A_i} w(C_j), \pi_{A_i} w(C_j))$$

$w_j = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, ($j=1, 2, \dots, m$), w_j sabit bir sayı olmak üzere, birleştirilmiş ağırlıklı Pisagor bulanık karar matrisi eşitlik aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$x'_{ij} = (\mu_{A_i} w(C_j), \lambda_{A_i} w(C_j), \pi_{A_i} w(C_j))$$

X' birleştirilmiş ağırlıklı pisagor bulanık karar matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{matrix} & C_1 & & & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \dots \\ A_i \end{matrix} & \left[\begin{matrix} (\mu_{A_1} w(C_1), \lambda_{A_1} w(C_1), \pi_{A_1} w(C_1)) & \dots & (\mu_{A_1} w(C_m), \lambda_{A_1} w(C_m), \pi_{A_1} w(C_m)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_i} w(C_1), \lambda_{A_i} w(C_1), \pi_{A_i} w(C_1)) & \dots & (\mu_{A_i} w(C_m), \lambda_{A_i} w(C_m), \pi_{A_i} w(C_m)) \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

5.Adım: Pisagor Bulanık Pozitif İdeal Çözüm ve Negatif İdeal Çözüm Değerlerinin Belirlenmesi

PIS ve NIS değerlerinin belirlenebilmesi için öncelikle fayda ve maliyet kriterleri belirlenir. J_1 , fayda ve J_2 , maliyet kriterleri olmak üzere PFPIS ve PFNIS sırasıyla eşitlikte gösterildiği şekilde ifade edilir. PFPIS ve PFNIS değerlerinin üye olma dereceleri ve üye olmama dereceleri eşitlik gösterildiği şekilde ifade edilir.

$$A^+ = \{ \langle C_j, \mu_{A^+w}, \lambda_{A^+w} \rangle | C_j \in C, j = 1, 2, \dots, m \}$$

$$A^- = \{ \langle C_j, \mu_{A^-w}, \lambda_{A^-w} \rangle | C_j \in C, j = 1, 2, \dots, m \}$$

$$\mu_{A^+w}(C_j) = \begin{cases} \text{Eğer } C_j \in j_1 \text{ ise, } \max \mu_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \\ \text{Eğer } C_j \in j_2 \text{ ise, } \min \mu_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \end{cases}$$

$$\lambda_{A^+w}(C_j) = \begin{cases} \text{Eğer } C_j \in j_1 \text{ ise, } \min \lambda_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \\ \text{Eğer } C_j \in j_2 \text{ ise, } \max \lambda_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \end{cases}$$

$$\mu_{A^-w}(C_j) = \begin{cases} \text{Eğer } C_j \in j_1 \text{ ise, } \min \mu_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \\ \text{Eğer } C_j \in j_2 \text{ ise, } \max \mu_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \end{cases}$$

$$\lambda_{A^-w}(C_j) = \begin{cases} \text{Eğer } C_j \in j_1 \text{ ise, } \max \lambda_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \\ \text{Eğer } C_j \in j_2 \text{ ise, } \min \lambda_{A_i w}(C_j) & 1 \leq i \leq l \end{cases}$$

6.Adım: Her Bir Alternatifin Pisagor Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Uzaklığının Hesaplanması

TOPSIS yönteminde alternatifler, pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklarına göre değerlendirilir. İki PBK arasındaki bu uzaklıkları hesaplamak için normalize Öklid uzaklık kullanılır.

$D(A_i, A^+)$, A_i alternatifinin PFPIS'a olan uzaklığı olarak ifade edilir.

$D(A_i, A^-)$, A_i alternatifinin PFNIS'a olan uzaklığı olarak ifade edilir.

$$D(A_i, A^+) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m [(\mu_{A_iw}^2(C_j) - \mu_{A^+w}^2(C_j))^2 + (\lambda_{A_iw}^2(C_j) - \lambda_{A^+w}^2(C_j))^2 + (\pi_{A_iw}^2(C_j) - \pi_{A^+w}^2(C_j))^2]}$$

$$D(A_i, A^-) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m [(\mu_{A_iw}^2(C_j) - \mu_{A^-w}^2(C_j))^2 + (\lambda_{A_iw}^2(C_j) - \lambda_{A^-w}^2(C_j))^2 + (\pi_{A_iw}^2(C_j) - \pi_{A^-w}^2(C_j))^2]}$$

7.Adım: A_i Alternatifinin Pozitif İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık İndeksi Hesaplama

Alternatiflerin tercih sıralaması ve optimum alternatif göreceli yakınlık indeksi C_i^+ ile hesaplanır.

$$C_{i+} = \frac{D(A_i, A^-)}{D(A_i, A^+) + D(A_i, A^-)} \quad i = 1, 2, \dots, l$$

Literatürde, göreceli yakınlık indeksinin aynı anda hem PIS'a en yakın ve NIS'dan en uzak optimum değeri aynı anda sağlayamayacağını ifade eden görüşler vardır. Bu nedenle revize edilmiş göreceli yakınlık indeksi tanımı geliştirilmiştir. Bu indekse ait eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$q(A_i) = \frac{D(A_i, A^-)}{D_{max}(A_i, A^-)} - \frac{D(A_i, A^+)}{D_{min}(A_i, A^+)}, \quad i = 1, 2, \dots, l$$

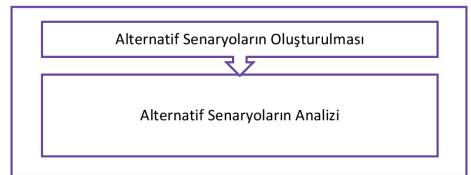
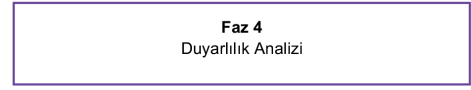
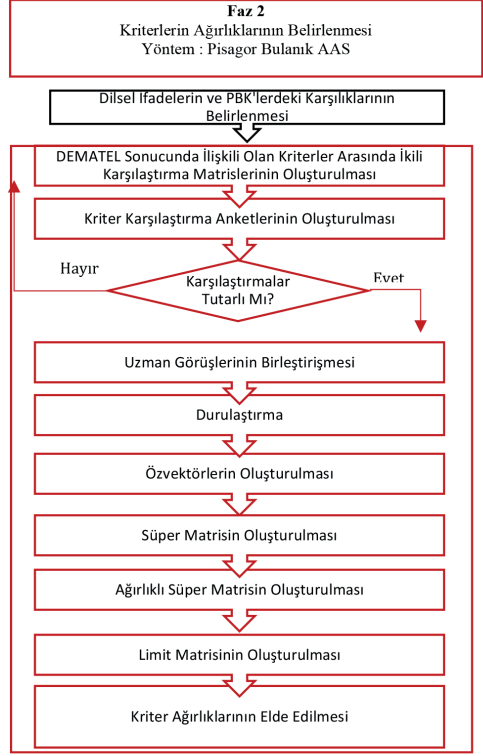
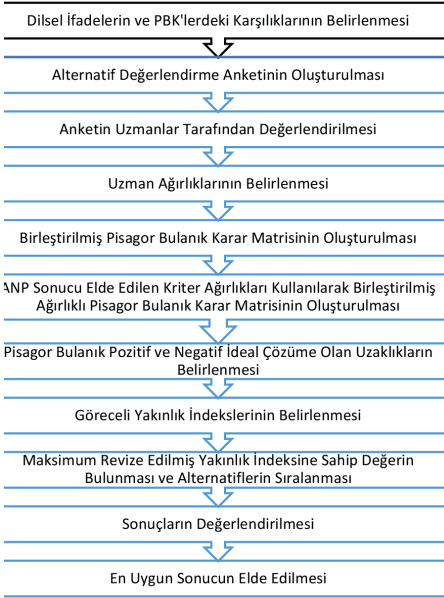
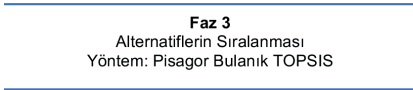
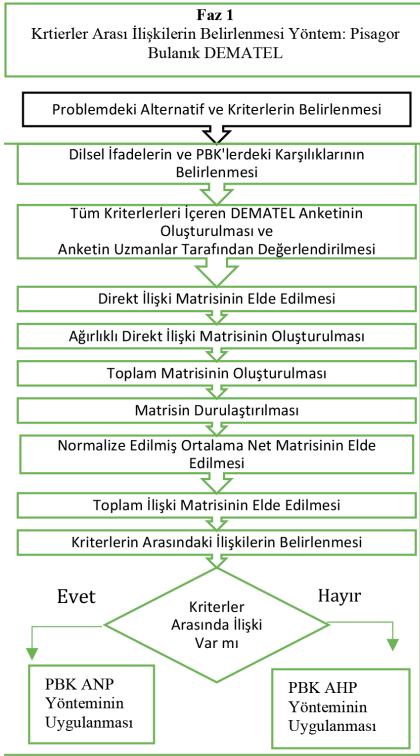
$q(A_i)$, A_i alternatifinin pozitif ideal çözüme görece yakınlık ve negatif ideal çözüme görece uzaklık indeksi aynı anda hesaplanır. $q(A_i) \leq 0$, ($i=1, 2, \dots, l$) dir ve $q(A_i)$ 'nin değeri büyüdükçe, A_i daha tercih edilebilir bir alternatif olmaktadır.

8.Adım: Maximum Revize Edilmiş Yakınlık İndeksine Sahip Değeri Bulma

Göreceli yakınlık indeksinin revize edilmiş hali olan $q(A_i) \leq 0, (i=1,2,\dots,l)$ hesaplanır ve alternatifler bu elde edilen değer esas alınarak sıralanır. En yüksek revize edilmiş yakınlık indeksine sahip olan A^* , en iyi alternatiftir.

$$A^* = \{A_i: (i: q(A_i) = \max q(A_i))\}$$
$$1 \leq k \leq l$$

Tablo 4: Bulanık Pisagor Dematel Akış Şeması



4. SONUÇLAR

Çalışmayı yapmanın temel sebebi olan belirsizlik koşulları altında stratejik önceliklendirme ve yol haritası oluşturmayla ilgili literatür taramasında da görülebileceği gibi önerilmiş farklı modeller yer almaktadır. Her karar modeli önerisinin getirmiş olduğu farklı kısıtlar ve eksiklikler bulunmaktadır. Problemin deterministik olmaması, çok boyutlu oluşu ve fazlasıyla insan yargılarına ihtiyaç duyuyor oluşu çok kriterli karar verme metodlarının kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte akıllı fabrika kavramının keskin bir tarifinin olmaması, kriterlerin değişkenliği, problemin çözümünün çok boyutlu oluşunun getirmiş olduğu keskinlikten uzaklaşış ve karmaşa koşulları çalışmayı bulanık ortamda yapılabilir kılmaktadır.

Bulanık ortamda çok kriterli karar verme metodlarının kullanımının son yıllarda yaygınlaşması ve farklı ÇKKV tekniklerinin entegrasyonun literatürde ağırlık kazanması çalışmanın bu probleminin çözümü açısından doğru bir yol izlediğini gösterebilir.

Çalışmadaki eksiklikler DEMATEL, DEPHI, AHP, ANP, TOPSIS yöntemlerinin doğasının getirmiş olduğu eksiklikleri içerecektir. AHP'nin belirli hiyerarşi yapısının oluşturulmasının zor olduğu ve kriterlerin kendi aralarındaki etkileşiminin yüksek olduğu noktalardaki işlevsizliği bu kez ANP kullanılarak aşılımaya çalışılacaktır.

Kriterlerin belirlenmesi literatür taraması, uzman görüşü ve DELPHI yöntemiyle yapılacak olup günümüz penceresinden oluşturulacaktır. Yıllar içerisinde çeşitli teknolojik ve farklı sahalardaki gelişmelere bağlı olarak bu kriterlerin zamanla farklılaşması kaçınılmazdır.

Literatürde endüstri 4.0, akıllı fabrika konularında son yıllarda fazlasıyla araştırma yapılmış olsa da bu iki kavram ile ilgili bilimsel çevrede tam manasıyla kabul görmüş bir tarif bulunmamaktadır. Bununla birlikte bu kavramlara ait bileşenler noktasında da farklı görüş ve araştırmalar yer alıyor. Bu durum göstermektedir ki, henüz endüstri 4.0 ve akıllı fabrika tasarımı için kapsam çerçevesi ve kriterler konusu son derece belirsizdir. Bu nedenle çalışma sonucunda literatür taraması, uzman görüşü ve DELPHI yaklaşımıyla çizilecek akıllı fabrika tasarımı için kriter, alt kriter ve stratejiler perspektifi bundan sonraki çalışmalar için de yol gösterici olacaktır. Bu kriter ve stratejiler zaman içerisinde farklılaşacak olsa da şu aşamada bugüne kadar yapılan çalışmalardan faydalanılarak oluşturulmuş akıllı fabrikaya yönelik bir geniş kapsamlı kriter ve strateji çerçevesi eksikliğini

gidermesi beklenmektedir.

Endüstri 4.0 ve akıllı fabrika paradigması diğer teknolojik gelişmelerle birlikte hayat bulacaktır. Bu nedenle bu sürece keskin bir geçiş sağlayabilmek mümkün gözükmemektedir. Aynı zamanda tüm kriterleri dikkate alarak tüm stratejileri aynı anda gerçekleştirmek kaynak kısıtı ve sürdürülebilirlik açısından olası değildir. Kuruluşların bu süreci olumlu geçirebilmesi mutlak suretle bilimsel içerikle oluşturulmuş bir strateji planına ve yol haritasına sahip olmalıdır. Çalışma bu amaca hizmet edecek ölçüde mevcut koşullara göre kriterlerin önem düzeyinin belirlenmesi, birbirleri arası ilişkinin tespitine dayanarak stratejileri önceliklendirir ve bir yol haritası sunar. Bunu gerçekleştirirken pisagor bulanık küme ve ÇKKV yöntemlerini entegre eder. Problemin deterministik olmaması ve belirsizlik taşıması sebebiyle ortaya çıkan bulanık çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanım önerisi bu manada yukarıda bahsedilen eksiklikleri gidermek açısından faydalı olacaktır. Fakat bu çalışmalar yıllar içerisinde daha farklı tekniklerin entegrasyonu ile devam etmelidir.

Çalışmadaki akıllı fabrika tasarımı için oluşturulan stratejiler kuruluşların mevcut teknoloji potansiyelini esas alarak kategorilendirilmemiştir ve eşit kabul edilmiştir. Bu durum çalışmanın kısıtlarından biri olarak gözükmektedir. Benzer şekilde ilerleyen çalışmalarda kuruluşların olgunluk düzeyi tespitlerine yönelik analiz araçlarıyla bu strateji önceliklendirme problemleri entegre edilmesi mümkündür. Sonraki çalışmalarda yöntem olarak farklı ÇKKV teknikleri kullanılabilir ve kapsam çerçevesine farklı strateji tipleri eklenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Drath R. & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56-58.
- [2] Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE.
- [3] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: final report of the industrie 4.0 Working Group. *Acatech, München*, 19-26.

- [4] Buhr, D. (2015). *Social innovation policy for Industry 4.0*. Friedrich-Ebert-Stiftung, Division for Social and Economic Policies.
- [5] Ovacı, C. (2017). Endüstri 4.0 çağında açık inovasyon. *Maliye Finans Yazıları*, Özel Sayı, 113-132.
- [6] Bulut, E. & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi (ASSAM - UHAD)*, 7, 50-72.
- [7] Vacek, J. (2017). On The Road: From Industry 4.0 to Society 4.0. *Trendy v Podnikání*, 7(4), 43-49.
- [8] Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89.
- [9] Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-Defined Cloud Manufacturing For Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12-17.
- [10] Monostori L. (2014). "Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges," *Procedia CIRP*, Vol. 17, 9–13.
- [11] Yuan, Z., Qin, W., & Zhao, J. (2017). Smart manufacturing for the oil refining and petrochemical industry. *Engineering*, 3(2), 179-182.
- [12] Bartodziej, Christoph Jan (2017). *The Concept Industry4.0*. In: *The Concept Industry 4.0*. Springer Gabler, 27-50.
- [13] Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., Madsen, E. S. (2014). The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184-1190.
- [14] Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. (2015, January). Industrie 4.0: Enabling technologies. In *Proceedings of 2015 international conference on intelligent computing and internet of things* (pp. 135-140). IEEE.
- [15] Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 113-118.
- [16] Aksoy, S. (2017). Değişen Teknolojiler Ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı Anlamaya Dair Bir Giriş. *SAV Katkı*, 4, 34-4.
- [17] Ercan, T., & Kutay, M. (2016). Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 599-607.

- [18] İçten, T., & Güngör, B. A. L. (2017). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 401-415.
- [19] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems Architecture For Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- [20] Yusof, E. M. B. M., & Yusof, A. R. M. (2013). The Study on The Application Of Business Intelligence In Manufacturing: A Review. *International Journal Of Business Intelligence Research (IJBIR)*, 4(1), 43-51.
- [21] Goh, K. I., Cusick, M. E., Valle, D., Childs, B., Vidal, M., & Barabási, A. L. (2007). The Human Disease Network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21), 8685-8690.
- [22] Klein, S., Pluim, J. P., Staring, M., & Viergever, M. A. (2009). Adaptive Stochastic Gradient Descent Optimisation for Image Registration. *International Journal of Computer Vision*, 81(3), 227.
- [23] Kaya İ., Kahraman C. (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Syst Appl* 38(6):6577–6585
- [24] Beloglazov, A., Abawajy, J., & Buyya, R. (2012). Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing. *Future generation computer systems*, 28(5), 755-768.
- [25] Chen, J. K., & Chen, I. S. (2010). Using a novel conjunctive MCDM approach based on DEMATEL, fuzzy ANP, and TOPSIS as an innovation support system for Taiwanese higher education. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 1981-1990.
- [26] Gorecky, D., Khamis, M., & Mura, K. (2017). Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(1), 182-190.
- [27] Veza, I., Mladineo, M., & Gjeldum, N. (2015). Managing innovative production network of smart factories. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 555-560.
- [28] Rennung, F., Luminosu, C. T., & Draghici, A. (2016). Service provision in the framework of Industry 4.0. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 221(1), 372-377.
- [29] Chang, W. Y., & Wu, S. J. (2016, July). Investigated information data of CNC machine tool for established productivity of industry 4.0. In *2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)* (pp. 1088-1092). IEEE.
- [30] Barbosa, J., Leitão, P., Trentesaux, D., Colombo, A. W., & Karnouskos, S. (2016,

- July). Cross benefits from cyber-physical systems and intelligent products for future smart industries. In *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 504-509). IEEE.
- [31] Fleischmann, H., Kohl, J., Franke, J., Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2016, July). Improving maintenance processes with distributed monitoring systems. In *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 377-382). IEEE.
- [32] Forstner, L., & Dümmler, M. (2014). Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke–Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, *131*(7), 199-201.
- [33] Apiliogullari, L., (2018). “*The Road Map of Digital Transformation*”, Aura Publishing, ISBN: 978-605- 103-381-5, İstanbul
- [34] Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Lashgari, A., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2012). Maintenance strategy selection using AHP and COPRAS under fuzzy environment. *International journal of strategic property management*, *16*(1), 85-104.
- [35] Li, S., & Li, J. Z. (2009). Hybridising human judgment, AHP, simulation and a fuzzy expert system for strategy formulation under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, *36*(3), 5557-5564
- [36] Bhagtani, N. E. H. A. (2008). A better tool for environmental decision making: Comparing MCDA with CBA. *University of East Anglia, UK*.
- [37] Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., & Zaeri, M. S. (2007). Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *30*, 333-338.
- [38] Saaty, T. L. (1980). The analytical hierarchy process, planning, priority. *Resource allocation. RWS publications, USA*.
- [39] Supçiller, A., & Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. *Ekonometri ve İstatistik e-Dergisi*, (13), 1-22.
- [40] Li C. W., Tzeng G. H. (2009). “Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall.” *Expert Systems with Applications*, *36*(6): 9891–9898.
- [41] M.-L. Tseng ve Y. H. Lin, «Application of Fuzzy DEMATEL to Develop a Cause and Effect Model of Municipal Solid Waste,» *Environmental Monitoring and Assessment*,

cilt 158, no. 1-4, pp. 519-533, 2008.

- [42] L. Abdullah ve P. Goh, «Decision Making Method Based on Pythagorean Fuzzy Sets and Its Application to Solid Waste Management,» *Complex and Intelligence Systems*, cilt 5, no. 2, p. 185–198, 2019.
- [43] T. L. Saaty. ve M. S. Ozdemir, *The Encyclicon: A Dictionary of Decisions with Dependence and Feedback Based on the Analytic Network Process*, RWS Publications, 2005.
- [44] T. L. Saaty, «Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process,» RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- [45] V. Çoban ve S. Ç. Onar, «Pythagorean Fuzzy Engineering Economic Analysis of Solar Power Plants,» *Soft Computing*, cilt 22, no. 15, p. 5007–5020, 2018.
- [46] Alkan, N. ve Kaya, İ., (2019). “Yalın Tedarik Zinciri Yaklaşımında Sanayi 4.0 için Sektörel Önceliklendirmenin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Belirlenmesi”, 2. Uluslararası İstatistik Matematik ve Analitik Yöntemler Kongresi, 28 Mart 2019, İstanbul.
- [47] Büyüközkan, G. ve Göçer, F., (2017). “An Extension of ARAS Methodology Based on Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Digital Supply Chain”, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 9-12 Haziran 2017, İtalya.
- [48] Peng, X. ve Yang, Y., (2016). “Fundamental Properties of Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Aggregation Operators”, *International Journal of Intelligent Systems*, 31(5): 444-487.
- [49] L. Abdullah ve P. Goh, «Decision Making Method Based on Pythagorean Fuzzy Sets and Its Application to Solid Waste Management,» *Complex and Intelligence Systems*, cilt 5, no. 2, p. 185–198, 2019.
- [50] J. Wang ve D. Yang, «Using A Hybrid Multi-Criteria Decision Aid Method For Information Systems Outsourcing,» *Computers & Operations Research*, cilt 34, no. 12, pp. 3691-3700, 2007.
- [51] V. Çoban ve S. Ç. Onar, «Pythagorean Fuzzy Engineering Economic Analysis of Solar Power Plants,» *Soft Computing*, cilt 22, no. 15, p. 5007–5020, 2018.