

MÜHENDİSLİK ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR /2024

EDİTÖR:

Doç. Dr. Zafer ÖZOMAY

ARTİKEL AKADEMİ: 319

Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar - (2024)

Editör:

Doç. Dr.Zafer ÖZOMAY

Marmara Üniversitesi 2024

<https://orcid.org/0000-0002-7650-733X>.

ISBN 978-625-6627-58-1

Birinci Basım Aralık - 2024

Ofset Hazırlık: Artikel Akademi

Baskı ve Cilt: Baskı ve Cilt: Uzunist Dijital Matbaa Anonim Şirketi
Akçaburgaz Mah.1584.Sk.No:21 / Esenyurt

Artikel Akademi bir Karadeniz Kitap Ltd. Şti. markasıdır.

©Karadeniz Kitap - 2024

Akademik etik kurallara

bağlı kalınarak yapılacak olan alıntılar ve tanıtım maksadıyla yapılacak olan kısa alıntılar dışında, yazılı izni alınmadan, tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla, basımı, yayımı, kopyalanması, çoğaltımı veya dağıtımı yapılamaz.

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

MÜHENDİSLİK ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR /2024

EDİTÖR:

Doç. Dr. Zafer ÖZOMAY

YAZARLAR:

Abtullah TUĞCU

Emin ÖZDEMİR

Emine Rümeysa EREN

Esra ÖZBUDAKLA

Hasan D. YILDIZAY

Muhammet ÇELİK

Nuri CEYLAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	7
------------	---

1. BÖLÜM

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE TEK NOKTALI KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	9
---	---

-Öğr. Gör. Dr. Emin ÖZDEMİR

2. BÖLÜM

HAZIR GİYİM SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM VE TÜKETİM YAKLAŞIMLARI.....	45
--	----

- Dr. Emine Rümeysa EREN

3. BÖLÜM

KANSERİN GENOMİK ve SİSTEMATİK YAKLAŞIMLARLA İNCELENMESİ.....	69
--	----

- Arş. Gör. Dr. Muhammet ÇELİK

4. BÖLÜM

TÜRKİYE’DE DOĞALGAZ BASINÇ DÜŞÜRME VE ÖLÇÜM İSTASYONLARINDA VORTEKS TÜPLERİ KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ.....	83
---	----

- Dr. Öğr. Üyesi Nuri CEYLAN & Esra ÖZBUDAKLAR

&Dr. Öğr. Üyesi Hasan D. YILDIZAY

5. BÖLÜM

GENLEŞME TÜRBİNLERİNİN TÜRKİYE’DE DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KULLANIM OLANAKLARI VE BİR GENLEŞME TÜRBİNİ SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ.....	99
---	----

- Dr. Öğr. Üyesi Nuri CEYLAN & Esra ÖZBUDAKLAR

& Dr. Öğr. Üyesi Abtullah TUĞCU

ÖNSÖZ

Bilim ve teknolojiadaki hızlı ilerlemeler, insanlığın karmaşık sorunlara çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, disiplinlerarası ilişkilerin önemi her geçen gün daha fazla anlaşılmaktadır. Elinizdeki kitapta, farklı mühendislik alanlarından çalışmalar yer almaktadır.

Birinci bölümde, talaşlı imalat parçaları tek noktali kesici takım geometrisinin verimliliği ve sürdürülebilirlik üzerindeki bağlantıları ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Bu bölüm, modern üretim yelpazesinde çevre dostu seçenekler ve tasarım çeşitliliği için bir rehber niteliğindedir.

İkinci bölümde, hazır giyim sektöründe sürdürülebilir üretim ve tüketim yaklaşımları ele alınmıştır. Bu bölüm, tekstil ve moda endüstrilerinin büyümesinde azalma ve döngüsel ekonomiye katkı sağlama çabalarına ışık tutmaktadır.

Üçüncü bölümde kanserin genomik ve sistematik tedavilerle incelenmesine odaklanılmaktadır. Genetik verilerden hareketle yeni nesil tedavi yöntemlerinin anlaşılmasına yönelik bu çalışma, biyomedikal alanda çığır açıcı bilgiler sunmaktadır.

Dördüncü bölümde, Türkiye'deki doğalgaz basıncının düşürülmesi ve ölçüm istasyonlarında enerji miktarının artırılması için vorteks tüplerinin anlatılması yer alıyor. Beşinci ve son bölümde ise doğalgaz boru hatlarında genleşme türbinlerinin kullanım olanaklarını ve bir genleşme türbini sisteminin ekonomik analizini içermektedir.

Bu kitap, farklı disiplinlerden akademisyenlerin çalışmalarını bir araya getirerek bilimsel araştırmalara katkı sunmayı ve uygulamalı çözümleri geliştirmeyi hedeflemektedir. Kitapta yer alan her bir bölüm, hem alan hem de akademik dünya için değerli bilgiler sunmaktadır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm yazarlara teşekkür eder; kitapta yer alan araştırmaların literatüre katkı sunmasını dilerim.

Doç. Dr. Zafer ÖZOMAY
Marmara Üniversitesi

1. BÖLÜM

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE TEK NOKTALI KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Öğr. Gör. Dr. Emin ÖZDEMİR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,

Mühendislik Fakültesi, İstanbul / Türkiye

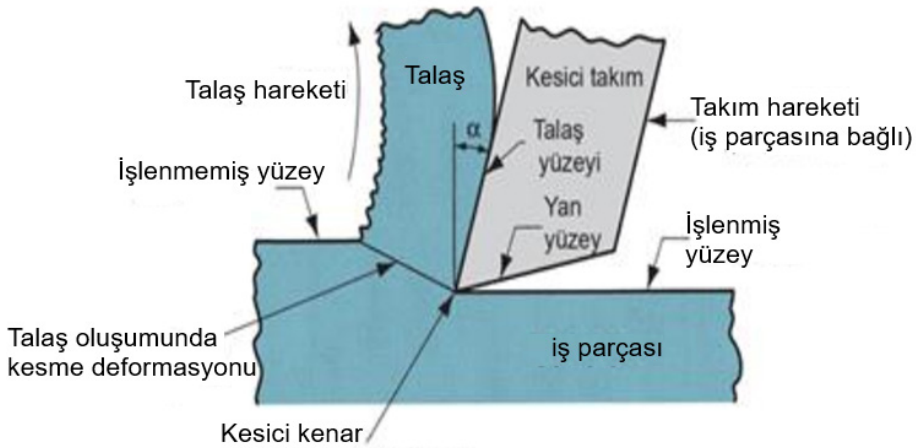
emin.ozdemir@iuc.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-6517-9270>

Kesici takımları sınıflandırmanın önemli bir yolu, işleme sürecine göre dir. Tek uçlu takımlar tornalama, delme, şekillendirme ve planyalama işlemlerinde kullanılır. Tek uçlu takımlara uygulanan prensiplerin çoğu, diğer kesici takım tipleri için de geçerlidir; çünkü talaş oluşum mekanizması temelde tüm talaşlı imalat işlemleri için aynıdır. Kesici takım tasarımının işleme performansı üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Uygun şekilde tasarlanmış takımlar, tutarlı kalitede parçalar üretir ve uzun ve öngörülebilir kullanım ömürlerine sahiptirler. Kesici takım geometrisi, çeşitli işleme operasyonlarında kesici takımın performansını, aşınma direncini ve ömrünü belirlemede önemli bir rol oynar. İyi düşünülmüş bir takım geometrisi, optimum talaş tahliyesi, minimum titreşim ve azaltılmış takım sapması sağlayarak daha hızlı işleme hızlarına ve iyileştirilmiş iş parçası yüzey kalitesine yol açacaktır. Diğer yandan günümüzde daha temiz, daha sağlıklı, daha güvenli ve ekonomik işleme süreçlerine ulaşmak için çevre dostu ve sağlığa zararsız teknolojiler ve gelişmiş teknikler giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu bölümün amacı, kesici takım geometrisini incelemek ve sürdürülebilir bir imalat için kesici takım tasarımını veya seçimini etkileyen özellikleri ve karakteristikleri açıklamaktır.

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat; metal, plastik, ahşap gibi malzemelerin üzerinden nispeten daha sert bir kesici veya aşındırıcı takım ile talaş (malzeme) kaldırılarak-keserek şekil verme işlemidir (Şekil 1). Özellikle çeliklerin nihai boyutlarına getirilmesinde faydalanılan imalat operasyonlarından biride talaşlı imalatdır [1-4]. Yapılacak işe göre her yönüyle uygun bir kesici takım seçimi, talaşlı imalat işleminin kusursuz yapılabilmesi bakımından çok önemlidir. Bir işin yapımı için uygun olmayan bir takım ile işe başlamak hem işin doğru işlenmesini engeller hem de işin yapım süresini uzatır ve işleme maliyetini arttırır. Bu yüzden talaşlı imalat kesici takım, öncelikle iş parçasında arzu edilen geometrik formu sağlayabilecek şekilde ve iş parçası malzemesinin özelliklerine göre kesme işlemini rahat yapabilecek teknik özelliklere sahip olmalıdır. Çünkü kesici takımın teknik özelliklerine göre tayin edilen operasyon sırasında kullanılacak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerleri verimliliğin en önemli etkenleridir.



Şekil 1. Talaş kaldırmanın iki boyutlu temsili [5]

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlardaki açılar, burun radyüsü, silici geometrisi ve kesici kenar hazırlığı gibi çeşitli geometrik özellikler takım ile iş parçası temas alanını genişleterek, daha yüksek termo-mekanik yüklerin (kesme kuvvetleri ve sıcaklık) meydana gelmesine neden olurlar [6]. Üretim süreçlerindeki modern iyileştirmeler, yüksek ürün kalitesini korurken üretkenliği artırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve sürdürülebilirlik için tasarlanmış

yeni teknolojilerin ve üretim araçlarının geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu anlamda verimliliği artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak için takım üreticileri sürekli olarak kesici takımları geliştirmektedirler [7]. Bu bölümün amacı, kesici takım tasarımı veya seçimini etkileyen geometrik özelliklerini açıklamaktır. Bu minvalde kesici takım geometrisi özellikleri ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Talaşlı imalat ve kesici uçlar hakkında genel bilgiler verilmiş, ardından kesici uç geometrisini oluşturan özellikler incelenmiştir. Son olarak talaşlı imalat ve kesici takım teknolojisi sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir.

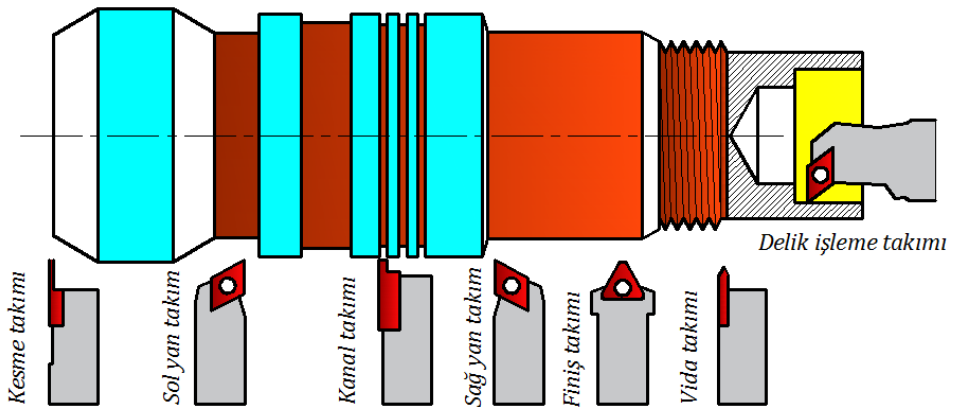
2. TEK NOKTALI KESİCİ TAKIM

Kesici takım, kesme deformasyonu veya aşındırıcılar vasıtasıyla bir iş parçasından malzeme kesmek, şekillendirmek ve talaş kaldırmak için kullanılan sert metal bir takımdır. Genel olarak tek noktalı ve çok noktalı olmak üzere kesici takımlar iki grupta değerlendirilirken, tek noktalı takımlar öteleme, çok noktalı takımlar ise dönme hareketi yaparak talaş kaldırır. Torna takımı (kalem), planya takımı, vargel takımı ve bara takımı tek noktalı-uçlu kesici takım sınıfındadır. Tek uçlu kesici takımların tasarımı ve üretimi çok uçlu olanlara nazaran daha basittir. Kesici takımlar kalıplanarak üretilen plaket kesici uç takılabilen, değiştirilebilir takma uçlu veya bilenerek üretilen yekpare takımlar şeklinde tasarlanır. Kalıplanmış tipler daha ekonomiktir ve geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kesici takım malzemeleri, kesilecek malzemeden daha sert olmalı ve takım, metal kesme işleminde oluşan ısıya ve kuvvete dayanabilmelidir. Bu yüzden kesici takımlar, yüksek karbonlu çelik, HSS, seramik, elmas, sement karpür, CBN ve PCBN gibi çeşitli malzemelerden yapılır. Şekil 2a'da görünen değiştirilebilir plaket kesici uçlar genel olarak toz metalürjisi yöntemiyle kalıplanarak üretilir. Torna operasyonlarında kullanılan kesici takımların önemli bir kısmı ise karpür ve HSS çubuklara form verilip bilenerek yekpare şekilde üretilir (Şekil 2b).



Şekil 2. Torna kesici takımı a) değiştirilebilir kesici uç, b) yekpare kalem

Talaşlı imalat sürecindeki sapmaları ve olası titreşimleri en aza indirmek için kesici takımın güçlü ve rijit bir şekilde desteklenmesi önemlidir. Takım titreşimi ve zayıf bir yüzey kalitesine sebep olmamak için kesici uç, takım tutucuya minimum çıkıntıyla tespit edilmelidir (Şekil 2a). [8]. Takım tutucuların boyutları ve tipleri; operasyona, takım tezgahına, iş parçası şekline, ilerleme yönüne ve kaldırılacak talaş miktarına göre belirlenir. Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar, talaş kaldırmada belirli bir amaca binaen tasarlanan geometrileri ile tanımlanır. Örneğin Tornalama işleminde takım tutucular sağ yönlü, sol yönlü veya kanal takımları gibi düz-nötr olabilir.

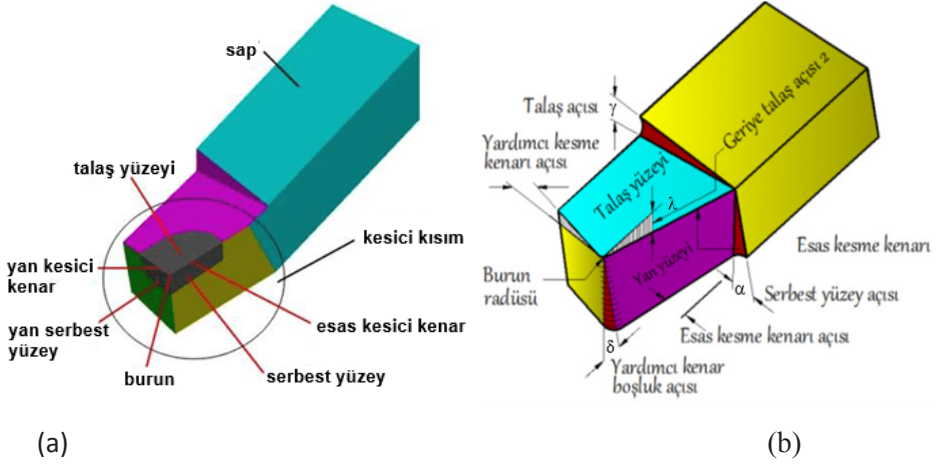


Şekil 3. Tornalama işleminde iş parçası formuna göre kullanılan takım örnekleri [9]

Talaş kaldırmada esas amaç, talaşın iş parçasından sorunsuz ve verimli bir şekilde ayrılmasını sağlamaktır. Bu sebeple, operasyona en uygun ve etkin kesici takım geometrisi tasarımı çok önemlidir. Talaş kaldırma sürecinde düşük kesme kuvvetleri ve düşük kesme sıcaklığı sağlayacak geometrik özelliklere sahip bir kesici takım seçilmelidir. Operasyona uygun olmayan geometri tasarımı, hızlı takım aşınmasına, kötü yüzey kalitesine, ürün hasarına ve sonuç olarak talaş kaldırmanın başarısız olmasına neden olur. Örneğin tornalama işlemlerinde bir kaba talaş takımı finiş takımı yerine veya bir finiş takımı kaba talaş takımı yerine kullanılmamalıdır. Her takımın bir kesme şekli ve buna bağlı olarak da bir kullanma amacı vardır. Herhangi bir iş parçası basit bir tornalama operasyonu ile bitirilebilirken, başka bir iş parçasında çeşit takımlar ile işlenecek çeşitli operasyonlar olabilir. Bu yüzden Şekil 3’ de görüldüğü üzere iş parçasında üzerindeki farklı işlemlere uygun kesici takımların kullanılması gerekir [10].

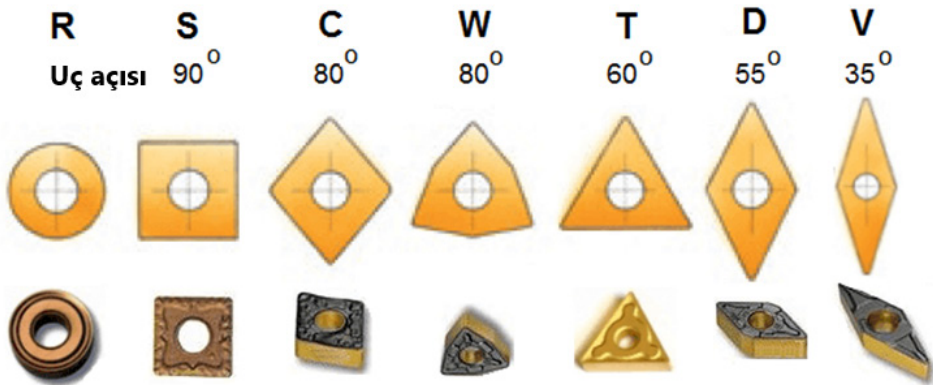
3. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ

Kesici takım geometrisi, talaşlı imalat operasyonları sırasında kesici takımın iş parçası malzemesiyle etkileşimini belirleyen çeşitli açıları, şekilleri ve boyutları ifade eder. Kesici takımlar için geometri esas olarak kesici takım malzemesinin ve iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlıdır [8]. Şekil 4’de torna, planya ve vargel operasyonlarında kullanılan tek noktalı-uçlu kesici takımın temel kısımları ve açıları görünmektedir. Kesici takımın başlıca bölgeleri, sap, esas kesici kenar, serbest yüzey, talaş yüzeyi ve burun olarak sıralanabilir (Şekil 4a). Takımın, takım tezgahına bağlandığı ana gövdesi sap olarak bilinir. Bilenerek hazırlanan esas ve yan kesici kenarlar, iş parçasından talaşın kesilerek kaldırılmasını sağlarlar [11]. Esas kesici kenarın altında ve takımın yan tarafında bulunan yüzeye takımın serbest yüzeyi denir. Kesici takımda esas serbest yüzey ve yan serbest yüzey olmak üzere iki tane serbest yüzey vardır [11]. Kesici kenarlara bitişik olan ve kesme işleminden sonra üzerinde talaşların kayarak geçtiği üst yüzey talaş yüzeyi olarak bilinir. Esas kesici kenar ile yan kesici kenarın birleştiği nokta, köşe veya burun olarak adlandırılır. Burun yarıçapı veya köşe radyüsü ise takım ucunun yuvarlatılmış ucudur [12].



Şekil 4. Tek noktalı-uçlu kesici takım geometrisi; a) kısımları [13], b) açıları [9]

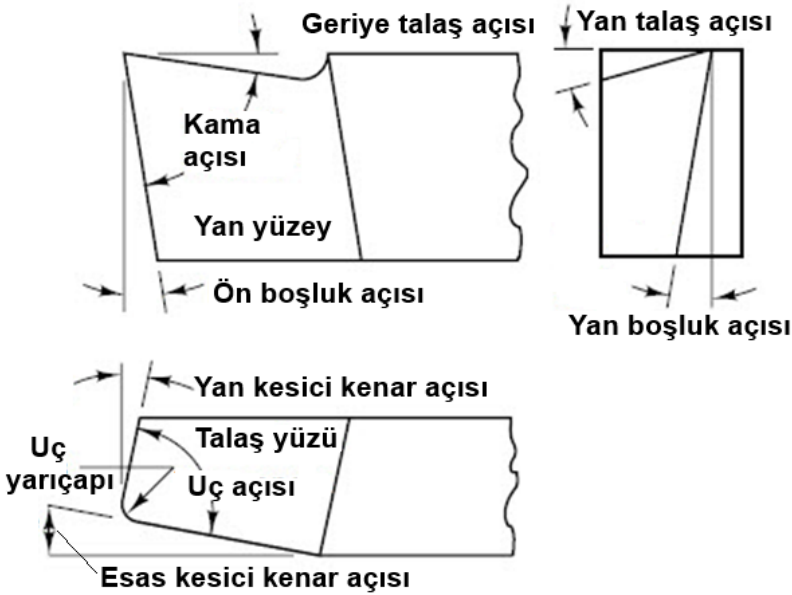
Kesici ucun geometrisi modern değiştirilebilir kesici uçlarda son derece dikkatli bir şekilde tasarlanır. Kesici uç plakeleri; kare, dikdörtgen, paralelkenar, eşkenar dörtgen, üçgen, altıgen, beşgen ve daire formlarında tasarlanarak üretilirler (Şekil 5). Kesici uç tipi seçimi, mukavemet ve çok yönlü işleme kabiliyeti arasındaki dengeye dayanır. Örneğin tornalama operasyonunda kontur ve finiş işleme için yuvarlak uçlar tercih edilirken, kaba işleme için daha büyük uç açısına sahip güçlü kare uçlar tercih edilir. Karmaşık işler için ise küçük uç açısına sahip (35° ve 55°) kesiciler kullanılır [14].



Şekil 5. Değiştirilebilir kesici uç tipleri ve uç açıları

3.1. Kesici Takım Açıları

Kesme işlemi amacı ile belirli bir geometriye sahip kesici takımın sadece kesici kenarının iş parçasına temas edebilmesi ve takımın geri kalanının iş parçası yüzeyine sürtmemesi için gerekli kesme ve boşluk açıları tasarlanmış olmalıdır. Talaşlı imalatta kesici takım seçiminde başlıca kriter kesici ucun dayanımı ve takımın (kesici uç ve tutucu) değişik formları işleyebilme yeteneğidir. Kesici takım seçimi bu iki kriter arasındaki dengeye bağlıdır. Bazı açıların büyük veya küçük olması kesici ucun dayanımını, keskinliğini ve değişik geometrileri işleme kabiliyetini tayin eder. İşlemeyi sağlayacak minimum boşluk açıları tavsiye edilir. Çünkü kesici kenarın arkasındaki desteğin azalması ve kesme işlemiyle oluşan ısıyı emme yeteneğinin azalması nedeniyle kenar keskinleştikçe kesici takım zayıflar [15].



Şekil 6. Tek noktalı kesici takımın görünüşleri ve açıları [16]

Tablo 1. İş parçası ve takım malzemesine göre kesici takım açıları

İşlenecek Malzeme	HSS Kesici Takım				Karbür Kesici Takım			
	Ön boşluk açısı	Yan boşluk açısı	Geriye talaş açısı	Yan talaş açısı	Ön boşluk açısı	Yan boşluk açısı	Geriye talaş açısı	Yan talaş açısı
Plastik	10°	8°	25°	25°	10°...15°	5°...8°	5°...10°	6°...10°
Ahşap	15°	15°	25°	25°	4°...6°	5°...8°	15°...40°	6°...10°
Alüminyum	9°	9°	30°	15°	5°...8°	5°...8°	10°...20°	15°...20°
Al alaşım <%10Si	10°	10°	4°...0°	25°...35°	8°...10°	8°...10°	0°...-4°	12°...20°
Al alaşım >%10Si	10°	10°	0°...-4°	18°...25°	8°...10°	8°...10°	0°...-4°	6°...12°
Bakır ve alaşımlar	10°	10°	4°	18°...30°	8°...10°	8°...10°	0°...-4°	8°...12°
Mg ve alaşımları	10°	10°	0°...-4°	20°...25°	10°	10°	0°	15°...25°
Ti ve alaşımları					8°	8°	0°	12°...16°
Prinç	7°	6°	0°	5°	5°...8°	5°...8°	3°...8°	6°...10°
Dökme demir	5°	4°	10°	9°	5°...8°	5°...8°	3°...8°	6°...10°
Düşük C çelikler	8°	6°	20°	15°	5°...8°	5°...8°	3°...8°	6°...10°
Otomat çelikleri	8°	6°	0°...-4°	<20°	8°...10°	8°...10°	0°...-4°	0°...8°
Yapı çelikleri (N/mm ²)								
< 500	8°	6°	4°...-4°	14°	6°...8°	6°...8°	0°...-4°	12°...18°
= 500-900	6°	6°	4°...-4°	12°	6°...8°	6°...8°	0°...-4°	12°
= 800-1000	8°	6°	0°...-4°	10°	6°...8°	6°...8°	-4°...-8°	8°...12°
> 1000	8°	6°	0°...-4°	6°	6°...8°	6°...8°	0°...-8°	6°

Kesici takımın en önemli açıları Şekil 6'da görüldüğü üzere, talaş açıları, boşluk açıları, kama açısı, yanaşma açısı ve uç açısı şeklinde sıralanabilir. Bu açılardan talaş açısı, boşluk açısı ve kama açısı tüm tek noktalı kesici takımlarda bulunan ve toplamaları 90° olan temel açılardır [17]. Kesici takım açıları, iş ile takım arasındaki sürtünmenin azaltılması, kesilen malzemenin (talaşın) kolay atılması, kesme kuvvetlerinin düşürülmesi ve tedrici takım aşınmanın geciktirilmesi sonucu kesme işlemini kolaylaştırmak ve daha uzun takım ömrü için kesici takıma verilir [12].

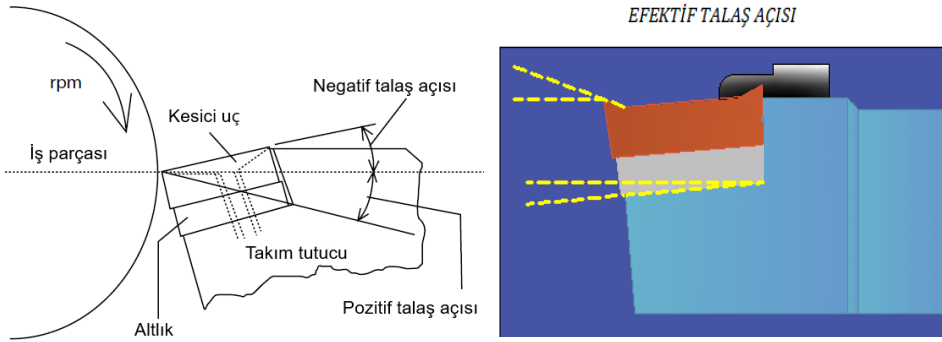
3.1.1. Talaş açısı

Kesici kenarlardan geriye doğru verilen açığa talaş açısı denir. Kesici takım malzemesine ve iş parçası malzemesine bağlı olarak değişen talaş açısı 0° ile 30° arasında değerler alır (Tablo 1). Boyuna tornalama ve alın tornalama operasyonlarına aktif olmak üzere kesici takımda iki tip talaş açısı vardır. Bunlar sırası ile yan talaş açısı (α) ve geriye talaş açısı (λ) şeklindedir. Bu açılar birlikte, takımın talaş yüzeyi boyunca talaş akışının yönünü belirlemede etkilidir [5]. Hem geriye hem de yan talaş açıları, takımın talaş yüzeyi ile iş parçası arasında eğim sağlar ve takım performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Talaş açıları, Şekil 7’de gösterildiği gibi pozitif, negatif veya nötr olabilir. Talaş açıları, kesme kuvvetlerinin büyüklüğünü ve yönünü, kenar mukavemetini, talaş oluşumunu, talaş akış yönünü, talaş kırma özelliklerini ve yüzey kalitesini etkiler [16]. Talaş açısı değiştiğinde kesme işleminde harcanan güç ve üretilen ısı değeri değişir. Artan talaş açısı ile kesme işlemi kolaylaşır, esas kesme kuvveti, sürtünme ve kesme sıcaklığı azalır, yüzey kalitesi artar, talaş malzemeden daha rahat akarak ince talaşa daha uygun hale gelir. Negatif talaş açısı, kesilen talaşları iş parçası tarafına yönlendirirken, pozitif talaş açısı kesilen talaşları iş parçasından uzaklaştırır.

Talaş açısı ve boşluk açısının birleşimi kama açısını belirler. Pozitif bir talaş açısı kama açısını azaltır, bu da kesici kenarın daha küçük kesme kesit alanı ile sonuçlanır ki bu durum kesici kenar mukavemetini azaltarak takımın erken aşınmasına ve hasara uğramasına neden olur. Ancak, pozitif talaş açıları talaşın kesme açısını artırarak talaş kalınlığını azaltır ve daha düşük kesme kuvvetleriyle sonuçlanır. Bu nedenle pozitif talaş açılı bir kesici uç kesme işlemi için daha az güç gerektirirken, iş parçası, kesici takım ve tezgah fener mili üzerinde daha az gerilmeye neden olur. Ayrıca daha az titreşim oluşturur ve titreşimi kontrol etmeye yardımcı olur. Tipik olarak talaş açısında 1° ’lik bir artış, güç tüketiminde $\%2$ ’lik bir azalmayla sonuçlanır. Bu nedenle, $+5^\circ$ talaş açısına sahip bir takım, -5° talaş açısına sahip bir takımdan yaklaşık $\%20$ daha az güç gerektirir. Üretim maliyetini düşürürken işin kalitesini artırabildiğinde pozitif bir geometri dikkate alınmalıdır [16].

Düşük mukavemetli, yumuşak ve sünek malzemeler için pozitif büyük talaş açıları kullanılır. Takım-talaş ara yüzü boyunca talaşın rahat akmasını sağlar. Yüksek mukavemetli, sert, kırılgan malzemeler için ise negatif veya küçük

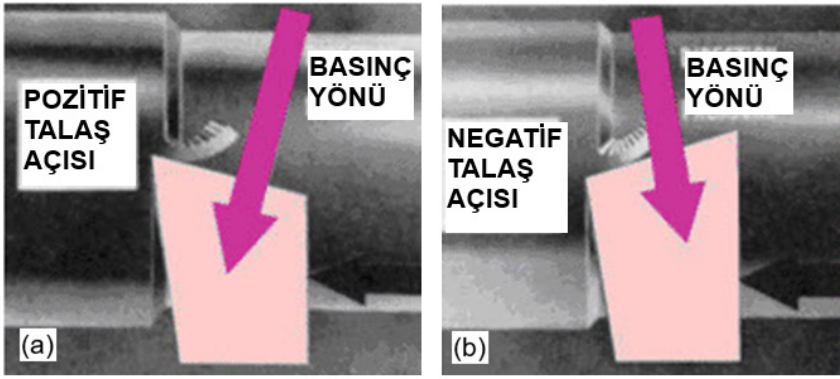
talaş açıları tercih edilir. Genellikle karbür, seramik ve CBN gibi oldukça sert ve kırılğan kesici takımların çok sert malzemeleri işlemeleri durumunda takım ucuna ekstra mukavemet kazandırmak için negatif talaş açısı kullanılır. Negatif talaş açılı takımlar, talaş kaldırmada oluşan kesme kuvvetlerine karşı direnmek için daha büyük kesit alana ve mukavemete sahiptirler [12]. Negatif talaş açılı kesici uç, kesici kenarı sıkıştırma altına alacak şekilde kuvvetlerin yönünü değiştirir ki bu durum, birçok kesici takım malzemesinin basma dayanımının enine kopma dayanımından iki kat fazla olması nedeniyle istenen bir durumdur. Geleneksel olarak, negatif talaş açılı kesici takımlar, iş parçası ve takım tezgahı izin verdiği sürece kullanılır [16]. Fakat negatif talaş açısı kesici kenar mukavemetini arttırırken, kesme kuvvetlerinin ve tırlama titreşimlerinin yükselmesine neden olur.



Şekil 7. Efektif talaş açısı (negatif eğimli takım tutucu kullanıldığında bile pozitif eğim sağlayabilen yivli kesici uç) [9, 16]

Diğer yandan efektif talaş açısı, katerin eğim açısı ile katere yerleştirilen kesici ucun talaş açısının toplamıdır. Katerin eğim açısı, katere yandan bakıldığında takım ucundan geriye doğru değiştirilebilir plaketen oturduğu taban yüzeye verilen açıdır. Üst yüzeyi düz olan bir kesici ucun talaş açısı yalnızca takım tutucunun eğim açısıyla belirlenir. Talaş açısı ayrıca, Şekil 7’de gösterildiği gibi negatif eğimli bir takım tutucu kullanıldığında bile kesici uçta bulunan yivli-oluklu talaş kırıcı geometrisi pozitif eğimli kesme eylemi (pozitif talaş açısı) sağlar. Talaş açılarının aralığı genellikle -5° ile $+15^{\circ}$ olsa da üretkenliği artırmak için daha yüksek pozitif açılar da kullanılmaktadır. Pozitif geometrilili kesici uçlar genellikle WC’den yapılırken, seramik malzemeler çok kırılğan olduğundan yalnızca negatif talaş açılı çeşitleri bulunur [16].

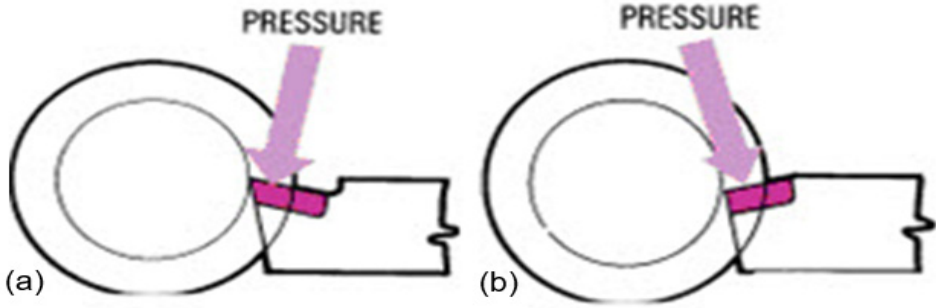
Yan talaş açısı (talaş açısı) (γ): Kesici takımın talaş yüzeyi ile takım eksenine dik bir çizgi arasında bulunan ve tabana dik bir düzlemde ölçülen açı olup genellikle talaş açısı olarak bilinir (Şekil 6). Pozitif bir yan talaş açısı kesici takımın talaş yüzeyine aşağı yani yere doğru eğim verirken negatif bir yan talaş açısı talaş yüzeyine yukarı yani iş parçasına doğru eğim verir (Şekil 8) [12]. Negatif yan talaş açıları, kesintili kesimler, yüksek ilerlemeler, sert metaller ve bazı demir dışı metaller için tercih edilir. Pozitif yan talaş açıları genellikle deformasyon sertleşmesine maruz kalmış alaşımlar, düşük yüzey hızları, yumuşak metaller ve metal olmayanlar malzemeler için iş parçasının ve/veya fıkstürün rijitliği veya dayanımı sınırlı olduğunda gereklidir [16].



Şekil 8. Yan talaş açısı a) pozitif, b) negatif [12]

Geriye talaş açısı (eğim açısı) (λ): Takımın talaş yüzeyi ile takımın eksenine paralel bir çizgi arasında bulunan ve tabana dik bir düzlemde ölçülen açıdır (Şekil 6). Kesici takıma yandan bakıldığında önden arkaya veya arkadan öne doğru olan eğimin yatay düzlem ile olan açısıdır. Kesici takımın iş parçasını kesme ve talaş oluşturma yeteneğini etkileyen geriye talaş açısı, pozitif veya negatif olabilir [8]. Pozitif bir geriye talaş açısı kesici takımın talaş yüzeyine geriye ve aşağı doğru eğim verirken negatif bir yan talaş açısı talaş yüzeyine öne ve yukarı doğru eğim verir (Şekil 9) [12]. Eğim açısı, kama açısının (β) 90° olduğu, yüksek mukavemetli uçlarda negatif olmak zorundadır [18]. Geriye talaş açısı genellikle talaşın akışını ve yönünü kontrol etmeye yardımcı olur [12]. Diğer yandan efektif geriye talaş açısı, takım tutucunun eğim açısı ile kesici uçtaki yerleşik eğimin birleşimidir [14]. Örneğin tornalama işleminde kesici ucun monte edildiği katerdeki eğim açısı genellikle negatif olduğu halde

geriye talaş açısı genellikle pozitifdir. Bu durum kesici ucun geometrisi ile sağlanır [18].



Şekil 9. Geriye talaş açısı a) pozitif, b) negatif [12]

Sert iş parçalarının işlenmesinde geri talaş açısı küçük seçilmelidir. İş parçası sertliği ne kadar yüksekse, geri talaş açısı o kadar küçük olur [8 ZAYED]. Seramik, karbür ve elmas gibi sert ve kırılğan kesici takımlarda takımın mukavemetini yükseltmek için negatif geri talaş açısı sağlanmalıdır. Fakat negatif geri talaş açılı kesici takımlar ile yapılan kesme işlemlerinde sürtünmeyi yenerek iş parçasından talaşı koparmak için daha fazla enerji gerekir. Bu durum enerji sarfiyatını artırırsa da kesici takımın kararlılığı için negatif talaş açısı kaçınılmazdır. Çünkü talaş kaldırma esnasında oluşan darbeler nedeniyle kesici takım kırılabilir [11].

Sünek malzemelerin işlenmesinde kullanılan yüksek hızlı çelikler (HSS) için, geri talaş açısı normalde pozitif aralıkta seçilir [8]. Çünkü sünek malzemelerin işlenmesi sürecinde talaş ile kesici takım ara yüzündeki temas alanının azalması nedeniyle geriye talaş açısı artırılarak takım ömründe artış sağlanır. Ancak bu açı belirli bir değerden fazla olursa takımın kama açısı azalacağından dolayı kesici takım mukavemeti ve dolayısıyla ömrü azalır. Sünek malzemelerin işlenmesinde kullanılacak kesici takımda olması gereken optimum geriye talaş açısı yaklaşık 10° ila 15° civarındadır [11]. Geriye talaş açısı çok daha büyük olduğunda kesici takımın mukavemeti ve ısıyı iletme kapasitesi azalır [8].

Torna işlemleri, nispeten basit, tek noktalı kesici takımlarla yapılır. Sağ ve sol ternalama ve profil takımlarında, kesme işlemi takımın yan tarafı ile gerçekleşir; bu nedenle yan talaş açısı birincil öneme sahiptir ve derin kesimler yapılabilir. Yuvarlak burunlu ternalama takımlarında, kanal takımlarında, finiş takımlarında ve bazı diş açma takımlarında, kesme işlemi takımın ucunda veya ucuna yakın

bir yerde gerçekleşir ve bu nedenle geri talaş açısı önemlidir. Bu tür takımlar nispeten hafif talaş derinliklerinde kullanılır [8]. Ayrıca kanal veya kama kanalları işlenirken kesici takıma negatif geriye talaş açısı ve pozitif yan talaş açısı verilmesi tavsiye edilir [11].

3.1.2. Boşluk açısı

Esas kesici kenara veya yardımcı kesici kenara verilen boşluk açıları, kesici takımın işlenmiş yüzeye sürtünmesini, ovalayarak bozmasını ve aynı zamanda kesme kuvvetinin yükselmesini önleyerek, herhangi bir sürtünme olmaksızın takımın serbestçe çalışması için verilir [16, 18]. Açının verilmesindeki esas gaye, sadece kesici kenarların iş parçasına değmesini sağlamaktır [12]. Ayna-punta arasındaki boyuna tornalama ve alın tornalama operasyonlarında aktif olmak üzere kesici takıma iki tip boşluk açısı bulunur. Bunlar sırası ile yan boşluk açısı (α) ve ön boşluk açısı (δ) şeklindedir. Bu açıların her ikisi de iş parçası malzemesinin sertliğinin ve kesici takım malzemesinin çekme mukavemetinin bir fonksiyonu olup, genellikle kesici kenara yeterli desteği sağlamak için özellikle pozitif talaş açılı takımlarda minimumda tutulurlar [16]. Boşluk açısı arttıkça sürtünme ve esas kesme kuvveti azalır. Fakat artan boşluk açısı kesici kenar mukavemetini zayıflatacağından ve titreşime neden olacağından dolayı kesici takım malzemesine ve işlenen malzeme cinsine bağlı olarak metalik malzemelerde 5° ila 10° arasında değişir (Tablo 1). Genel olarak, yüksek mukavemetli iş parçası malzemeleri için küçük, daha yumuşak malzemeler için ise büyük boşluk açıları tercih edilir [12]. Örneğin sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan takımlar için boşluk açıları düşüktür ve küçük ilerlemelerde 5° 'ye yaklaşır. Ancak, yumuşak malzemeler ve daha yüksek ilerlemeler için daha yüksek açılar gerekir. Alüminyum ve bazen de dökme demir gibi yumuşak malzemelerde 12° ila 15° arasında değerler kullanılır. Genel amaçlı işlemede, boşluk açısı genellikle 6° ila 8° arasında değişir [16].

Yan boşluk açısı (Serbest yüzey açısı) (α): İşlenmiş yüzey ile kesici takımın esas kesici kenarının hemen altındaki yan yüzü arasındaki açı olup, genel olarak boşluk açısı olarak bilinir (Şekil 6). Yan boşluk açısı genel olarak metalik malzemelerde 5° ila 10° aralığında değişir. Bir sonraki devirde iş parçasından kaldırılacak malzemenin elastik toparlanma nedeniyle kesici takımın yan yüzeyine sürtünmesini önlemek için yan boşluk açısı verilir [11]. Kaba işleme

takımları, derin kesimler sırasında kesici kenarın daha güçlü olmasını sağlamak amacıyla küçük yan boşluk açısına sahiptirler [12].

Ön boşluk açısı (yardımcı-yan kenar boşluk açısı) (δ): Kesici takımın kesici kenarlar dışında iş parçasına sürtünmeden kesme işlemini yapması için yan kesici kenarın hemen altındaki yan serbest yüzeye verilen açıdır (Şekil 6) [19]. Diğer bir ifade ile işlenmiş yüzeydeki elastik toparlanma sonucu iş parçasının kesici takımın yan-yardımcı serbest yüzeyine sürtünmesini engellemek veya en aza indirmek için takıma ön boşluk açısı verilir. Metalik malzemeler ve özellikle çelikler için genellikle 8° olan ön boşluk açısının fazla verilmesi kesici takımın mukavemetini zayıflatacağından dolayı iş parçası ve kesici takım malzemesine uygun optimum değerler verilmelidir.

3.1.3. Kama açısı (b)

Boşluk açısı ile talaş açısı arasında kalan ve genellikle 50° ila 85° arasında olan açıdır (Şekil 6). Bu açının azalması kesici ucun mukavemetinin azalmasına neden olur. Kama açısı arttıkça kesici daha takım mukavemetli ve rijit olurken, kaba talaş kaldırmaya da daha uygun olur.

3.1.4. Ön aç (esas kesici kenar açısı) (K_r)

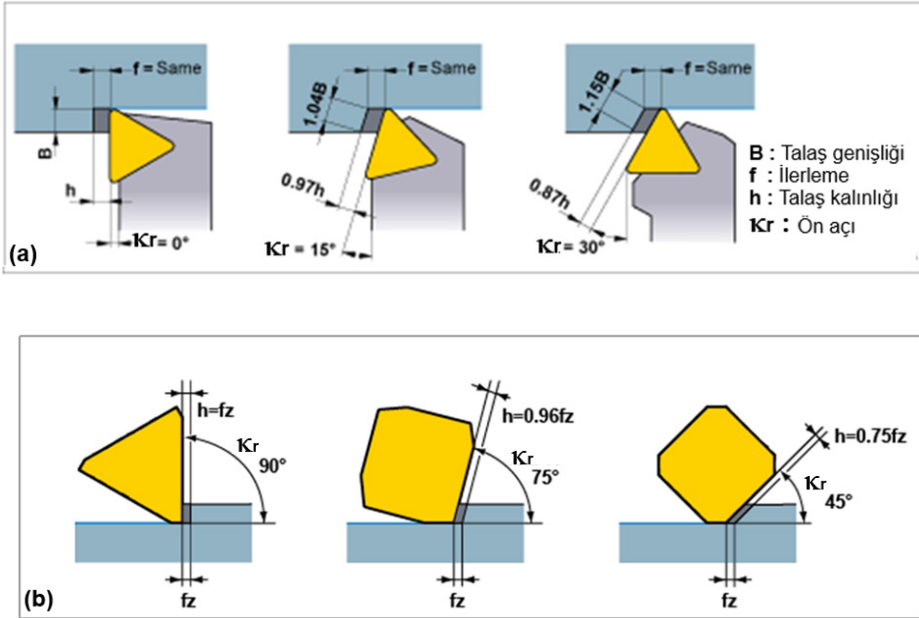
Tek noktalı takımlarda esas kesici kenarın yan açısı olarak anılan ön aç, esas kesici kenar ile takım eksenini (veya takım sapını uzatan çizgi) arasındaki açıdır (Şekil 6 ve Şekil 10). Tabana paralel bir düzlemde ölçülen ön açısının değeri kesici takım ve iş parçası malzemelerine bağlı olarak 15° ila 30° arasında değişir (Tablo1) [11]. Talaş bitmiş yüzeyden uzaklaştırmaya yarayan ön aç, talaş temasının uzunluğunu ve gerçek ilerlemeyi etkiler (Şekil 10a) [19]. Ayrıca ön aç, torna kaleminde esas kesici kenar açısına eşdeğerken, bara takımında yan kesici kenar açısına eşdeğerdir (Şekil 6). Genellikle belirli bir talaş derinliği için kesici uç boyutunu belirlemesi açısından ön aç oldukça önemlidir [16].

Ön açıdaki artış talaş kalınlığını azaltırken talaş genişliğini artırır (Şekil 10) [11, 16]. Ön aç takımın iş parçasına girişini belirler ve takımın bir iş parçasına girerken deneyimlediği ani kuvveti azaltmak için kullanılabilir [5]. Bu yüzden kesici takımda iş parçası geometrisinin izin verdiği en büyük ön aç

kullanılmalıdır. Çünkü yükselen aç talaşı incelttiğinden dolayı uçtaki birim basınç azalarak devir başına ilerlemenin artması sağlanır. Ayrıca kesici uç iş parçasına girerken burun yarıçapını koruyarak burun aşınmasını ve talaşlanmayı azaltır. Bununla beraber iş parçasının pekleşmiş yüzeyi takımın kesme kenarının daha geniş bir alanına yayıldığı için kesme çentiğinin derinliğini azaltır [16]. Talaş-takım sürtünmesinden dolayı kesme bölgesinde oluşan ısı daha geniş bir alana dağılacığından dolayı talaş yüzeyindeki maksimum sıcaklıkta düşme meydana gelir [11].

Diğer yandan ön açıdaki artışın daha yüksek radyal kuvvet ve daha düşük eksenel (ilerleme) kuvvet ile sonuçlanması, takım veya iş parçasında sehime ve titreşim oluşumuna yol açabilir [16]. Büyüyen ön açı ile birlikte kesici takımındaki artan sapmalardan dolayı takım ucu o oranda zayıflar [11, 12]. Artan ön açı ile genişleyen talaşlar sürtünme kuvvetini yükselteceğinden dolayı kesme kuvvetinde ve kesme bölgesi sıcaklığında biraz artışa neden olur [11].

Ön açının 15° ila 30° arasında olması genellikle genel amaçlı işlemede kullanılırken, 0° ön açı uzun, ince iş parçaları için kullanılabilir. Ön açısının sıfır olması, kesici uç iş parçasına girerken veya çıkarken kesici kenarda ani yük artışına ve yük boşalmasına neden olur. Geometrik değerlendirmeler bir yana, belirli bir işlemde kullanılabilecek maksimum ön açı, işleme sisteminin rijitliğine bağlıdır [16].



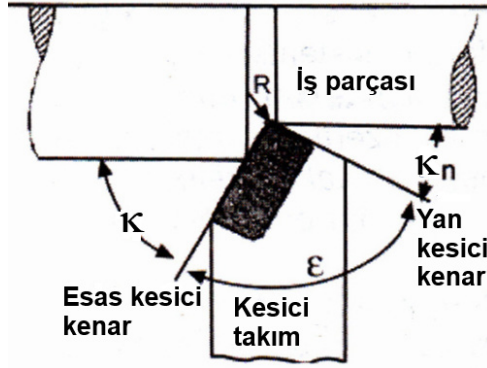
Şekil 10. Ön açının talaş kalınlığına ve ilerlemeye etkisi, a) torna, b) freze

3.1.5. Yardımcı (yan) kesici kenar açısı

Tek noktalı takımlarda yardımcı (yan) kesici kenar ile takım eksenine dik ve takım ucundan çizilen bir çizgi arasında ve tabana paralel bir düzlemde ölçülen açıdır (Şekil 6). Kesici takımın işlenmiş yüzeye sürtünmesini engellemek için takım ile iş parçası arasında boşluk sağlayan yardımcı kesici kenar açısının normal değeri 8° ila 15° aralığındadır [11, 19]. Takımın yardımcı kesici kenarı ile iş parçasının yeni işlenmiş yüzeyi arasında bir boşluk sağlar ve böylece yüzeye karşı sürtünmeyi ve ovalamayı azaltır [5]. İş parçası ile takım temas alanını azaltmanın yanı sıra zayıf yüzey kalitesi ve takım ömrüyle sonuçlanan titreşimleri ve tırlamaları önlemek için pozitif olmalıdır [16]. Küçük yan kesici kenar açıları, işlenen yüzeye dik radyal kuvvetin artmasına neden olacağından kesici takımda titreşime neden olur. Ayrıca yardımcı kesici kenarı açısı, ilerlemeden kaynaklanan doğal kesici takım izlerini azaltmak için ilerlemeden biraz daha büyük bir mesafede sıfırlanır [11, 12].

3.1.6. Yanaşma açısı (K)

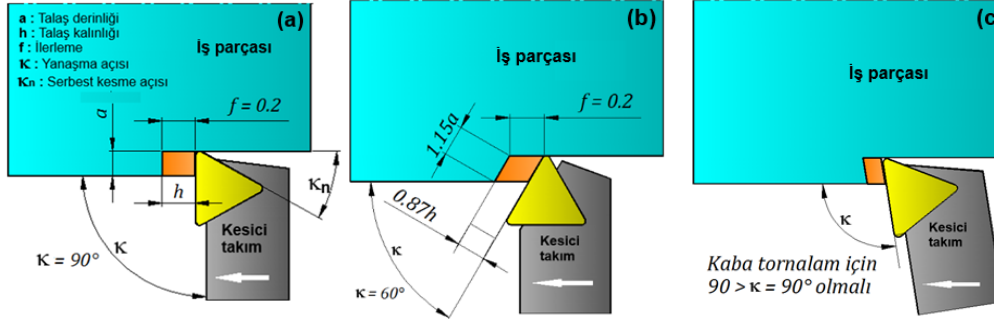
Kesici kenarın iş parçasına yaklaşma açısı olan yanaşma açısı, takımın ilerleme yönü ile kesici kenar arasında olan ve genellikle değeri 45° ila 90° arasında değişen bir açıdır (Şekil 11). İş parçası geometrisinden ve malzemesinden kaynaklı özel bir durum yoksa genel olarak tornalama işlemleri için 60° ila 80° arasında bir yanaşma açısı kullanılır. Fakat profil ve kopya tornalama işlemlerinde gerektiğinde 90° 'den büyük yanaşma açısı kullanılır. Bu yüzden kesici takımın farklı yönlerde talaş kaldırmasına olanak sağlayacak ve kullanılan takım sayısını en aza indirecek şekilde bir yanaşma açısı seçilir. Bu açı, talaşın oluşumunu, kesme kuvvetlerini, efektif kesici kenar boyunu, kesici takım-talaş temas alanını ve kesici kenar boyunca etkiyen basıncı etkilediğinden dolayı takım ömrü üzerinde de etkilidir. Uygun yanaşma açısı, talaş kalınlığının azalmasına ve kesici takıma etkiyen basıncın daha uzun bir kesici kenar boyunca dağılmasını sağlayarak nispeten daha az güç sarfiyatına neden olur [18, 20].



Şekil 11. Yanaşma açısı ve arka boşluk açısı

90°'lik yanaşma açısı durumunda efektif kesici kenar uzunluğu ile talaş derinliği aynı olup talaş kalınlığı ilerlemeye eşittir (Şekil 12a). 90°'den küçük yanaşma açılarında takımın talaşa temas eden efektif kesici kenar uzunluğu artarken talaş kalınlığı azalır (Şekil 12b). Hatta 90° açıya nazaran 45° yanaşma açısında, aynı ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde takımın efektif kesici kenar uzunluğu yaklaşık olarak iki kat artar [18, 20]. Bu durum kesme kuvvetinin daha uzun bir kenara yayılarak etkisinin nispeten azalmasına, kesici kenar üzerinde oluşan basıncın ve gerilmelerin düşmesine ve sonuç olarak takım ömrünün uzamasına neden olur [9, 18]. Küçük yanaşma açıları daha büyük uç açısı olan, kesici kenar kesiti daha büyük ve daha mukavemetli kesici uçların kullanımına olanak sağlar. Ayrıca 90°'den küçük yanaşma açısı, kesici takımın iş parçasına ucu en zayıf noktası olan burnundan ziyade daha güçlü ve darbeye daha dayanıklı olan esas kesici kenarı ile girmesini ve daha az darbeye maruz kalmasını sağladığından dolayı genellikle yüksek mukavemet gerektiren operasyonlarda tercih edilir. Bu nedenle kaba talaş kaldırma işlemlerinde ve frezeleme gibi kesintili talaş kaldırma işlemlerinde genellikle küçük yanaşma açıları kullanılır (Şekil 12c) [18, 20]. Özellikle kaba talaş işlemlerinde kesici takıma gelen darbenin etkisini ve kesme kuvvetlerini azaltma görevini üstlenir. Böylece daha büyük miktarlarda talaş kaldırma imkânı elde edilmiş olur. Bütün bu olumlu yönlerine rağmen yanaşma açısının azalması iş parçası eksenine dik etki eden radyal kuvvetin artmasına neden olacağından dolayı ince-uzun iş parçalarında esnemeye ve sapmaya neden olabilir. Ayrıca yanaşma açısının azalması talaş kontrolünü ve kırılmasını zorlaştırırken [9], çok ince talaşlar takım ömrünün azalmasına neden olur [18, 20]. Diğer yandan 90°'den büyük yanaşma

açısı, kesici takım paso sonunda iş parçasından ayrılırken talaş kalınlığının anlık olarak artması sonucu kesici uca etkiyen yükün artmasına ve ucun esneyerek kırılmasına neden olabilir. Bu yüzden büyük yanaşma açıları 90° 'lik faturalara doğru olan işlemlerde ve erişimin zor olduğu profillerin işlenmesinde tercih edilmelidir [18, 20].



Şekil 12. Yanaşma açısının talaş kalınlığına etkisi [9]

Kesici takımın yardımcı-yan kesici kenarının iş parçası eksenine ile yapmış olduğu açıya arka boşluk açısı veya serbest kesme açısı (K_n) denir (Şekil 11) [18,20]. İlerleme yönüne uygun olacak şekilde seçilen arka boşluk açısı, kaba işlemler için büyük, finiş işlemleri için küçük tercih edilmelidir. Çünkü arka boşluk açısının azalmasıyla kesici kenar mukavemeti artar. Fakat bu açının azalması aksel kuvvetin artmasına, kesici kenarda sıcaklığın yükselmesine ve tırlama titreşimlerine neden olur [9].

3.1.7. Uç açısı (burun açısı) (ϵ)

Esas kesici kenar ile yardımcı kesici kenar arasındaki veya yanaşma açısı ile arka boşluk açısı arasında kalan açıya denir (Şekil 6). Kesici ucun mukavemetini belirleyen uç açısı genellikle 35° ile 90° arasında değişir (Tablo 2). Artan uç açısı ile kesici takımın mukavemeti yükselirken, kesici kenarın daha büyük kesit alanına sahip olduğu yuvarlak formdaki kesici uçlar daha yüksek mukavemete sahiptirler [18]. Bu yüzden kesme kuvvetlerinin ve darbelerin büyük olduğu kaba talaş kaldırma işlemlerinde yuvarlak uçlar, uç açısı 80° olan paralel kenar uçlar ve uç açısı 75° olan eşkenar dörtgen uçlar tercih edilirken, kesme kuvvetlerinin ve darbelerin nispeten çok daha az olduğu ince talaş kaldırma işlemlerinde küçük uç açılı takımlar tercih edilir. Diğer yandan yükselen uç açısı ile kesici

ağız dayanımını artırmasına rağmen, talaşa girme zorlaştığından dolayı talaşlı imalatta titreşim ve güç sarfiyatı artar (Şekil 13). Uç açının azalması ile ise tam tersi durum söz konusu olur [14].

Tablo 2. Kesici uç açısının mukavemet, güç sarfiyatı ve çok yönlü işleme yeteneği açısından değerlendirilmesi

Temel şekil belirleme, köşe açısı	R	S 90°	C 80°	W 80°	T 60°	D 55°	V 35°
Kaba işleme (dayanım)	●	●	●	○	○	○	○
Hafif kaba talaş işleme/yarı-ince talaş işleme (kenarların sayısı)		○	●	●	○	●	●
İnce talaş işleme (kenarların sayısı)			○	○	●	●	●
Boyuna tornalama (ilerleme yönü)			●	○	○	●	●
Profil işleme (erişilebilirlik)			○	○	○	●	●
Alın işleme (ilerleme yönü)	○	●	●	●	○	○	○
İşlemsel çok yönlülük	○		●	○	○	●	○
Sınırlı tezgah gücü			○	○	○	●	●
Titreşim yatkınlığı				○	●	●	●
Sert malzeme	●	●					
Darbeli işleme	●	●	○	○	○		
Büyük giriş açısı			●	●	●	●	
Küçük giriş açısı	●	●		●	●		

● En uygun ○ Uygun

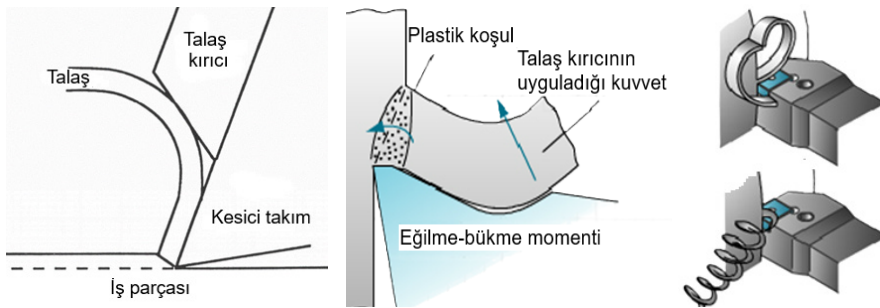
3.2. Talaş Kırıcı

Kesilen talaşların kontrolü ve kesme bölgesinden uzaklaştırılması talaşlı imalat işlemlerinde sıklıkla karşılaşılan bir sorundur. Özellikle düşük karbonlu çelikler ve alüminyum alaşımları gibi sünek malzemelerin torna, bara ve delme operasyonları gibi birçok işlemde bu durum önemli bir konudur [16]. Çünkü sünek malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesi sürecinde, sık sık uzun, lifli talaşlar oluşur. Bu talaşlar, makine operatörü ve iş parçası finiş yüzeyi için tehlike oluşturduğundan dolayı özellikle tornalama işleminin otomatik çalışmasını önlemektedirler [5]. İşleme esnasında çok hızlı biçimde çıkan sürekli keskin talaşlar operatör ve yakındaki personel açısından güvenlik riskleri oluşturur. Ayrıca iş parçasına dolanarak veya çarparak bitmiş yüzeyin kalitesini bozabilir. Hatta talaşların toplanmasını ve atılmasını zorlaştırır [15]. Bu problemlerden dolayı sürekli talaşların kırılması, personel sağlığı, işleme verimliliği, finiş yüzey kalitesi ve takım ömrü açısından kritik öneme sahiptir [14]. Bu noktada kesici takımlarda bulunan talaş kırıcılar, işleme sırasında talaşları kontrol etmeye ve

kırmaya yardımcı olan, takım performansını iyileştiren ve talaşla ilgili sorunları önleyen önemli bir özelliktir. Özellikle tornalama, frezeleme ve delme gibi operasyonlarda kullanılan kesici takımlarda çok kritik bir işleve sahiptirler [15].

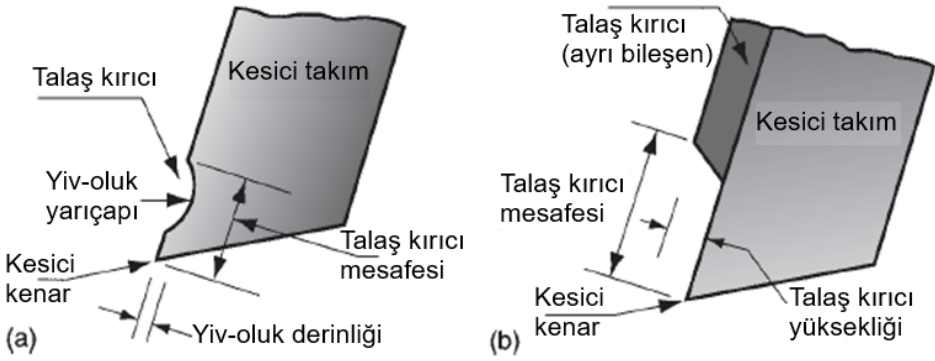
Bir kesici ucun talaş kırma yeteneği özellikle sünek iş malzemelerinde oldukça önemlidir. Örneğin tornalama işleminde talaş kırılması, genellikle talaş Şekil 13de gösterildiği gibi onu kırmaya yetecek bir eğilme-bükme gerilimi üretmek için bir engele doğru yönlendirerek talaşın eğrilik-bükülme yarıçapını yeterince küçülterek gerçekleştirilir [16]. Ayrıca takımın esas kesici kenarına yakın oluk-yiv tipi talaş kırıcılar talaşların kıvrılmasını ve kesme bölgesinden hızla uzaklaşmasını sağlarken farklı şekillerde talaş kırılması gerçekleşir. Talaşlar iş parçasına veya kesici kenarın yan tarafına çarptığında, başka bir deyişle talaş akışı engellendiğinde kıvrılarak kırılırlar ve kesme bölgesinden uzaklaşırlar. Büyük yarıçap eğrilğine sahip talaşlar, kıvrılma yönünün tersine bir eğilme-bükme momenti oluştuğunda kırılırlar. Talaşlar kendi üzerlerine kıvrılabilir ve kendi ağırlıkları tarafından kırılırlar [21].

Kesici takımda bulunan talaş kırıcının birincil işlevi talaşların kontrol edilemeyecek kadar uzun ve dolaşık hale gelerek, iş parçasına, kesici takıma, takım tezgahına ve özelliklede operatöre zarar vermesini önlemektir [15]. Talaş kırıcılar talaşları uygun uzunluklarda kırarak talaş kontrolünü iyileştirmesinin yanı sıra kesmeye karşı direnci azaltarak işleme performansının artmasını sağlar. Kesme direncinin azalması titreşimden kaynaklanan kesici kenar kırılmalarını önlerken, kesme kuvvetinin ve üretilen ısının azalması ile de tedrici takım aşınmasını geciktirir [21]. Talaş kırıcılar talaş akış yönünü kontrol ederek kesme kuvvetlerinin ve kenar aşınmasının azalmasını sağlarlarken, talaşın şekli, kesme kuvvetleri ve takım performansı, kesici uçtaki talaş kırıcı geometrisinden büyük ölçüde etkilenir [16].



Şekil 13. Talaşın kırılması [16, 21]

Toz metalürjisi yöntemi ile kalıplanarak üretilen plakette kesici uçlarda talaş kırıcı setler ve oluklar bulunmaktadır. Talaş kırıcı geometrisinin ve talaş derinliğinin optimum dengesi talaşların uygun biçimde kırılmasını sağlar [14]. Talaş kırıcılar, talaşların doğal olarak meyilli olduğu kıvrılmanın daha sıkı oluşmasını sağlamak için sıklıkla tek noktalı takımalarla kullanılırlar. Tek noktalı tornalama takımlarında yaygın olarak kullanılan iki tip temel talaş kırıcı formu vardır. Bunlar Şekil 14’de görüldüğü üzere kesici takımın kendisinde bulunan oluk-yiv tipi talaş kırıcı ve takımın talaş yüzeyine ek bir aparat olarak eklenmiş engel tipi talaş kırıcılardır. Oluk tipinde talaş kırıcı mesafesi sabitken, engel tipi aparatta farklı kesme koşulları için mesafe ayarlaması yapılabilmektedir [5].

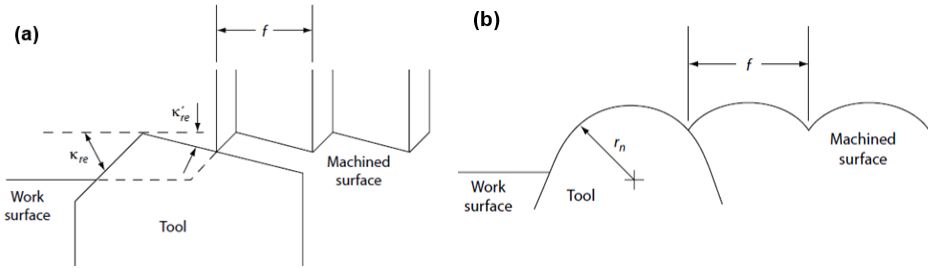


Şekil 14. Tek noktalı takımlarda talaş kırıcı tipleri; a) oluk-yiv tipi, b) engel tipi [5]

3.3. Burun Yarıçapı (Köşe Radyüsü)

Tek noktalı kesici takımında esas ve yan kesici kenarların kesiştiği köşeye burun adı verilir (Şekil 4a). İki kesici kenarın birleştiği köşe noktası keskin ancak zayıf bir noktadır [18]. Yarı çapı belli bir yay ile veya bir eğri ile form verilen burun kesici takıma mukavemet kazandırır. Burun yarıçapı olan bir köşe, keskin bir köşeden çok daha güçlüdür. Burun yarıçapı bitmiş ürünün yüzey kalitesinde de önemli bir rol oynar [11, 19]. Köşe radyüsü ve kesici uç yarıçapı olarak da bilinen burun yarıçapı esas ve yan kesici kenarlara teğet olmalıdır (Şekil 6). Burun yarıçapının en önemli etkileri, pürüzsüz bir yüzey kalitesi sağlamak ve kesici kenarın mukavemetini artırarak daha uzun bir takım ömrü elde etmek şeklinde sıralanabilir [12]. İşlenen yüzeylerin dokusu büyük ölçüde burun yarıçapı tarafından belirlenir [5]. İş parçasının yüzey kalitesi burun

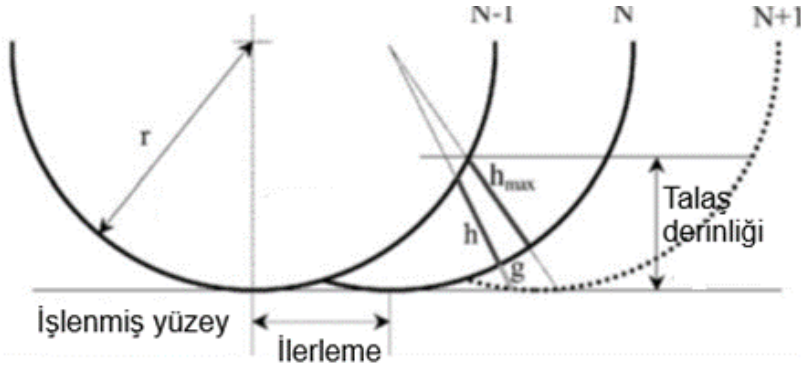
yarıçapının büyüklüğünden etkilenir (Şekil 15). Yüzey kalitesi ilerleme ile burun yarıçapının bir fonksiyonudur [18]. Küçük burun yarıçapına sahip çok sivri uçlu bir kesici takım yüzeyde çok belirgin ilerleme izlerine neden olur [5]. Büyük burun yarıçapı, sivri uçlu bir kesici takımın ürettiği tepeleri ve vadileri ortadan kaldıracak için işlenen yüzeyin son halini daha pürüzsüz duruma getirir [15]. Daha pürüzsüz ve kaliteli bir yüzey sağlamak için finiş takımları daha yuvarlak bir buruna sahiptirler [9, 12]. Sabit bir ilerlemede daha büyük bir burun yarıçapı daha pürüzsüz bir yüzey oluştururken, büyük burun yarıçapı ve düşük ilerleme ile yüzey kalitesinde artış sağlanır [16, 18].



Şekil 15. a) Sivri uçlu takım ve b) burun yarıçaplı takım ile tornalama sonucu oluşan pürüzlülüğün şematik gösterimi [16].

Genel bir kural olarak, ilerleme burun yarıçapının 2/3'ünü geçmemelidir. Nikel esaslı alaşımlar gibi bazı iş parçası malzemeleri yarı finiş ve finiş işlemler için kesme derinliğinden iki ila dört kat daha büyük bir burun yarıçapı gerektirir. Çünkü büyük yarıçapların kullanımı daha yüksek ilerleme hızlarının kullanılmasına izin verir [16]. Burun yarıçapı, kaba, yarı finiş veya finiş işlemleri gibi işleme tipinin yanı sıra iş parçasının malzemesine (çelik, dökme demir, alüminyum vd.) bağlı olarak değişir [15]. Kesici takımı daha mukavemetli hale getirdiğinden dolayı kaba işlemlerde büyük burun yarıçaplı takımlar tercih edilir. Büyük burun yarıçapının kaba ve ince tornalama işlemlerinde birçok avantajı vardır. Bunları birim kesici kenar uzunluğu başına düşen basıncın düşmesi, ısı oluşumunun azalması ve belirli bir ilerlemede daha kaliteli yüzey elde edilmesi şeklinde sıralayabiliriz. Aynı talaş derinliğinde küçük burun yarıçapına göre büyük burun yarıçapının kesme işlemine katılan uzunluğu daha fazladır. Bu yüzden kesme işleminden kaynaklı basınç, büyük burun yarıçaplı takımda daha uzun bir kesici kenar boyunca dağılacığından ve birim alan başına düşen basınç değeri düşeceğinden dolayı daha uzun bir takım ömrü sağlanır. Kesici takımın oluştuğu ısı ile uzaklaştırılması da daha kolay olacağından ısı gerilmelerinin ortaya çıkacağı tahribat daha az olacaktır. Ayrıca

büyük burun yarıçapı küçük burun yarıçapına göre daha iyi talaş kırma işlemi gerçekleştirir [18]. Ancak büyük burun yarıçapı özellikle radyal kuvvet başta olmak üzere kesme kuvvetlerinin artmasına, takım titreşimine ve daha fazla güç gereksinimine yol açar [9, 12]. Radyal kuvvetlerin artması ince cidarlı iş parçalarının ve deliklerin işlenmesinde talaş kaldırma işleminin rijitliğine olumsuz etki ederek, iş parçası ve kesici takımında sehime yol açar [18]. Kesme kuvvetlerini azalttığından dolayı ince ve narin iş parçalarında küçük burun yarıçapı tercih edilir [9, 12]. Çünkü kesici uç inceldikçe iş parçasına nüfuziyet artarken, talaş kaldırmak için gerekli kesme kuvveti ve kesme gücü, kesici uç mukavemeti gibi azalır. Genellikle rijitliğin ve talaş oluşumunun izin verdiği müddetçe kaba tornalama işlemlerinde mukavemetin, ince tornalama işlemlerinde ise yüzey kalitesinin sağlanması için büyük burun yarıçapı tercih edilmelidir [18].

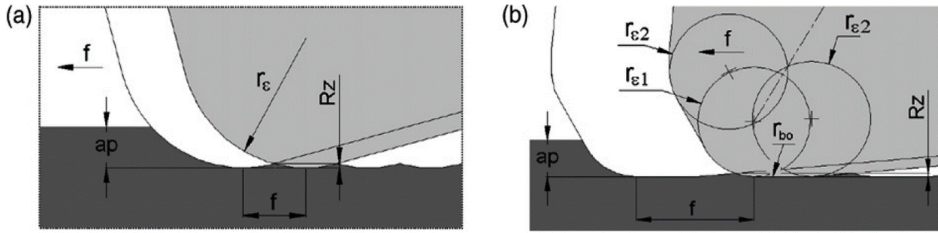


Şekil 16. Kesilmemiş talaş kalınlığı (h) ve kesici kenardan işlenmiş yüzeye olan mesafe (g) [19]

Takım ucu yarıçapı talaşlı imalatla geometrik bir parametredir. Takım ucu yarıçapı, yüzey kalitesi özelliklerinin yanı sıra kesilmemiş talaş geometrisini de etkiler ve dolayısıyla kesilmemiş talaş kalınlığının burun yarıçapına oranı tornalama işleminde kürüme kuvvetlerini etkileyebilir. Kesilmemiş talaş kalınlığı kesici takım burun yarıçapı ile azalırken, artan burun yarıçapı daha yüksek kürüme enerjisine ve dolayısıyla daha yüksek özgül kesme enerjisine neden olur. Ayrıca kesici kenardan nominal işlenmiş yüzeye olan mesafe burun yarıçapının güçlü bir fonksiyonudur (Şekil 16). Büyük burun yarıçaplı takımlar kesici kenardan işlenmiş yüzeye kadar daha kısa bir malzeme geçiş bölgesine neden olduğundan sıcaklık daha derinlere nüfuz edebilir [22].

3.4. Silici (Wiper) Geometri

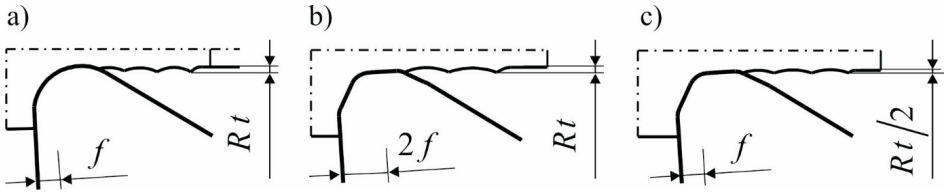
Talaşlı imalatta finiş işlemi, düşük ilerleme ve düşük kesme derinliği değerlerinde yüksek seviyede yüzey kalitesi elde etmek için uygulanır. Fakat artan verimlilik talepleri kesme parametrelerinin ve özellikle de ilerleme değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Yükselen ilerleme değeri ile birim zamanda kaldırılan talaş miktarı artırılarak verimliliğin yükselmesi sağlanır [18]. İşlenen yüzeylerde düşük yüzey pürüzlülüğünü korurken yüksek ilerlemeli işlemeyi sağlamanın çözümü olarak silici (wiper) geometrili süper finiş kesici uçlar tasarlanmıştır [7]. Silici takımlar, kesici takımın burunu tarafından oluşturulan ilerleme izlerinin tepelerini gidermek için işlenen yüzeyle temas halinde olan, takım burun yarıçapının arkasında ek yarıçaplara sahip, çok köşe radyüslü kesicilerdir (Şekil 17).



Şekil 17. a) Konvansiyonel ve b) silici kesici uçların karşılaştırılması, (f: ilerleme, ap: talaş derinliği, kesici uç burun yarıçapı; r_e : silici eğri yarıçapları, R_z : düzeltme kısmı yarıçapı; R_z : tepe-dip pürüzlülük yüksekliği) [23].

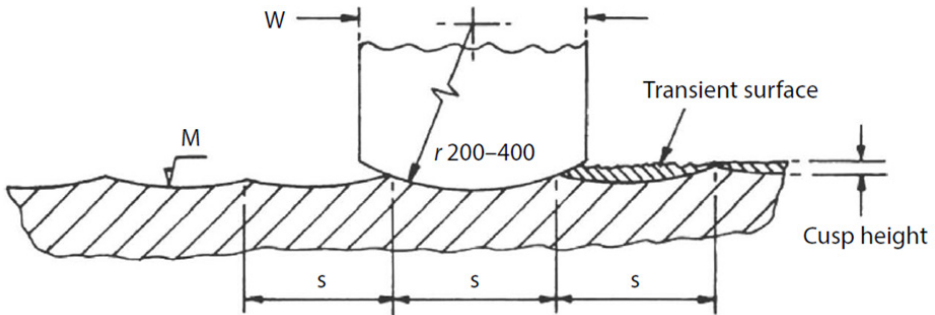
Silici geometri etkin kesici kenar açısını azaltırken etkin ön açığı artırır [16]. Silici uçlar, işlenen yüzeylerde normalde oluşan ilerleme izlerinin fistolu üst kısımlarını geliştirilmiş geometrisi ile düzleştirir. Konvansiyonel kesici uçtaki ilerlemenin iki katına çıkılmasına müsaade eden bu modifikasyon, karşılaştırılabilir yüzey kalitesi sağlamanın yanı sıra konvansiyonel uçtaki ilerleme değerlerinde nispi olarak yarı yarıya daha düşük yüzey pürüzlülüğüne ve daha iyi yüzey kalitesine olanak tanır (Şekil 18) [24, 25]. Silici geometrili kesici uçlar ortalama pürüzlülüğü iki veya daha fazla faktörle azaltabilir. Silici uçlar, işlenmiş yüzeye paralel düz bir kenara sahiptir (etkin kesici kenarı açısı sıfır) ve düz freze çakıları tarafından üretilene benzer şekilde pürüzsüz bir yüzey üretir. Devir başına ilerleme hızı silici geometrideki düz uzunluktan daha az olmalıdır. Trigon ve 80° eşkenar dörtgen uçlar, takım ofsetinin ayarlanmasına

gerek kalmadan mükemmel bir köşe yarıçapı üretir. Kare, üçgen ve 55° rombik uçlar mükemmel bir köşe yarıçapı üretmez ve bu durum iş parçası boyutlarını etkileyebilir [16]. Silici uçların bir diğer önemli avantajı ise daha iyi talaş kırma yeteneğidir [24]. İşlenen yüzey finish kalitesini önemli ölçüde iyileştiren silici uçların asıl faydaları, yüzey kalitesini korurken ilerlemeyi konvansiyonel uçtakinin %50-%100'den daha yüksek artırarak çevrim süresini azaltmaktır. Gerek kaba işleme gerekse finish işlemlerde hem pozitif hem de negatif talaş açılı takımlar için kullanılabilir [16].



Şekil 18. Tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülüğü oluşturma şeması (R_t parametresi): a) standart burun yarıçap geometrisi, b-c) silici geometrisi [7]

Silici uçlar daha kaliteli yüzeyler için tasarlanmış olsa da, yarı finish talaş derinliği gerektirdiklerinden hafif finish işlemlerinde pek tercih edilmezler [16]. Ayrıca kesici takım geometrisi kesme işlemi esnasında işlenen yüzeyde oluşan kuvvet bileşenlerini etkiler [26]. Silici kesici ucun büyük burun geometrisi ve iş parçası ile arasındaki uzun temas yüzeyi kesme direncini yükselterek, sehime, tırlama titreşimlerine ve iş parçası yüzeyinde daha fazla termo-mekanik kuvvete neden olur [24, 27].

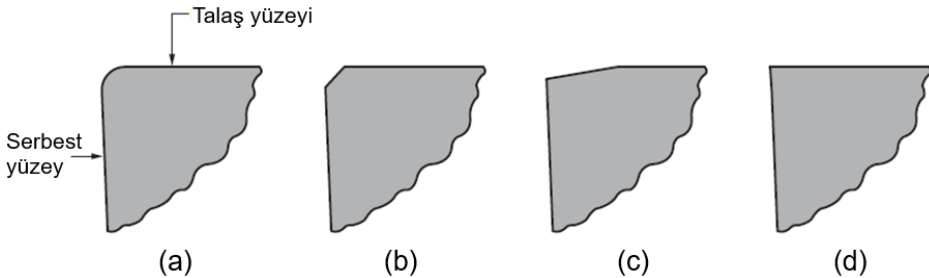


Şekil 19. Silici uç ile frezeleme [28]

Düzlemsel yüzey frezelemede ise silici kesici uçlar, bir takım üzerindeki normal kesici uçların arkasına monte edilirler. Uygun şekilde uygulandığında, normal kesici uçlar tarafından üretilen pürüzlülükleri deforme ederek yüzey pürüzlülüğünü ve dalgalılığını iyileştirirler. Silici uçlar genellikle 200 ila 400 mm arasında bir taç şeklinde yarıçapa sahiptirler (Şekil 19). Genel bir kural olarak, silici uçlar 0.05 ila 0.1 mm arasındaki bir derinlikte kesmeli; ilerleme hızı silici uzunluğunun yaklaşık yarısı olmalıdır. Çok sayıda silici uç bulunan büyük kesici takımlar (tarama kafaları) kullanıldığında, elde edilen yüzey kalitesi önemli ölçüde kesici uç montaj hatalarına bağlıdır. Bunlar öncelikle kısa talaşlar üreten dökme demir veya pirinç gibi malzemelerde kullanılır; çelik ile kullanıldığında talaş akışını engelleyerek büyük teğetsel ve eksenel kuvvetler üretebilir ve bu da titreşime yol açabilir [28].

3.5. Kesici Kenar Hazırlığı (Kesici Kenar Geometrisi)

Keskin bir kenar nispeten zayıf ve küçük bir kesit alana sahip olmasından dolayı kolayca kırılabilir [14, 18]. Ayrıca kesici uçlar sementite karbürler, kaplamalı karbürler, sermetler, seramikler, CBN ve elmas gibi çok sert ve kırılğan malzemelerden yapıldığı için genellikle mükemmel keskinlikte kesici kenarlarla üretilmezler [5]. Kesici kenar dayanımını ve işleme kabiliyetini artırmak için serbest yüzey ile talaş yüzeyi arasındaki en uygun geçişin sağlanması amacıyla bir kenar hazırlama işlemine gereksinim vardır [18]. Bu yüzden kesici kenarlar, Şekil 20’de görüldüğü üzere kenar yuvarlatma (yarıçap honlama veya oval/eliptik honlama), pah kırma, negatif eğimli bir yüzey oluşturma veya bu üçünün bir kombinasyonunu içerecek şekilde bir kesme geometrisi eklenerek hazırlanırlar [14]. Bir tür şekil değişikliği genellikle kesici kenarda neredeyse mikroskobik düzeyde gerçekleştirilir [5].



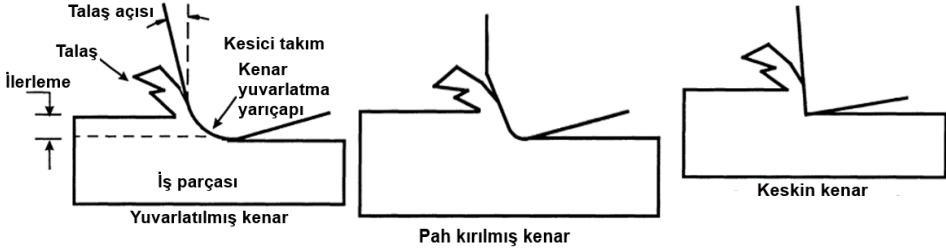
Şekil 20. Kesici kenar hazırlıkları; a) yuvarlatma, b) pah, c) negatif yüzey, d) mükemmel keskin kenar (kenar hazırlığı yok) [5]

Uygun kenar hazırlığı, gerek kesici kenarı güçlendirdiği ve koruduğu için gerekse keskin kenarların kırılmasını veya çatlamasını geciktirdiği veya ortadan kaldırdığı için bir takımın performansı açısından çok önemlidir [28, 29, 30, 31]. Kesici takımın bu özelliği kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, işlenmiş yüzeydeki kalıntı gerilmeler, çapak oluşumu ve aşınma oranları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca çatlamış kristal tabakaları gibi kenar kusurlarını giderir ve kesici kenarı kaplamaya hazırlar. Kenar hazırlıkları, kesici kenardaki termo-mekanik yükleri etkilediği için kırılğan malzemelerden yapılmış kesici takımlar için özellikle çok önemlidir [16].

Standart kesici uçların çoğu, üretim sürecinin bir parçası olarak hafif bir honlama işlemine tabi tutulurlar [16]. Kenar yuvarlatma (yarıçap honlama ve oval/eliptik honlama) ise genellikle kesici kenarların büyük çoğunluğuna uygulanır (Şekil 20a). Takımın dayanımı ve ömrü gerçekleştirilen kenar yuvarlatma miktarına bağlıdır. Tornalama işlemlerinde kullanılan sinterlenmiş karbür uçların büyük bir çoğunluğunda kenar yuvarlatma değerleri genellikle 30 ila 75 mikron arasında değişir [18]. Ancak honlama ölçüsü kesici ucun boyutuna göre değişmekte olup, 7 ila 12 μm (hafif honlama) ile 160 μm (ağır honlama) arasında geniş bir uygulama alanına sahiptir [32]. Kesilmemiş talaş kalınlığı ve ilerleme, kenar honlama yarıçapından daha büyük olmalıdır. Etkili honlama genellikle ilerlemenin yaklaşık 1/3–1/2'sidir [16]. Yetersiz yuvarlatma kesici kenara yeterli mukavemeti sağlamazken, fazla yuvarlatma ise kesici kenarı körleştirecek, kesme kabiliyetini azaltacak ve titreşimlerin oluşmasına neden olacaktır [18]. Çeşitli geometrilerde uygulanan honlama, genellikle elle taşlama, fırçalama, yuvarlama, pastalı honlama veya aşındırıcı püskürtme yoluyla kesici uçlara tatbik edilir [32].

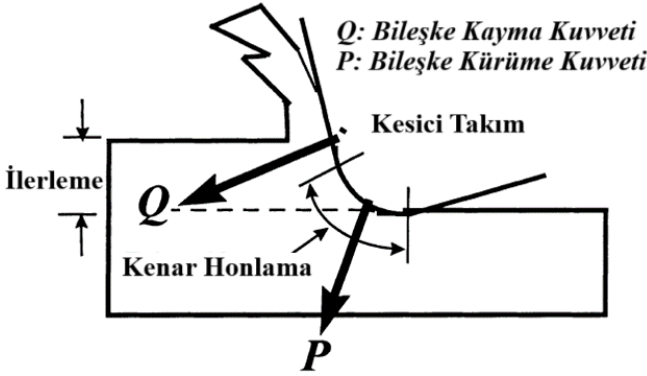
Kırılğan olan sermet, seramik veya CBN uçlar için hafifçe honlanmış kenarlar yerine pah kırılmış kesici kenarlar önerilir. Pah kırılmış kenarların eğim açısı 20° ile 45° arasında değişir [16]. Diğer yandan kesici uca yandan bakıldığında kesici kenar üzerinde yatayla negatif açı yapan yüzey oluşturma işlemi kesici kenarın güçlendirilmesi için yapılan en yaygın uygulamadır (Şekil 20c) [18]. Negatif yüzey oluşturma pah kırmaya benzer ancak eğim açısı daha küçük olup genellikle 5° ile 20° arasında değişir [16]. Talaş açısı müsaade ettiği müddetçe oluşturulan negatif yüzeyler uca yüksek mukavemet sağlarlar. Kaba işlemlerde kullanılan kesici uçlar büyük negatif eğimli yüzeye sahiptirler. Bu tip kesici uçlara ek mukavemet kazandırmak için ayrıca 5 mikron ila 25 mikronluk arasında çok küçük bir kenar yuvarlatma (honlama)

uygulanır [16, 18]. Örneğin sert tornalama operasyonlarında kullanılan kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar keskin kenarlı (kenar hazırlığı yok), kenar yuvarlatmalı (honlamalı) ve pah kırılmış olarak üretilirler (Şekil 21). Ancak keskin kenarlı olsalar bile CBN gibi sert kırılğan kesici uçların serbest yüzey ile talaş yüzeyi arasındaki geçiş aslında küçük, ölçülebilir kenar yuvarlamasına sahiptir. Bu nedenle tüm CBN kesici uçlar, çeşitli boyutlarda elde edilebilen sonlu kenar yuvarlamasına sahiptir [33].



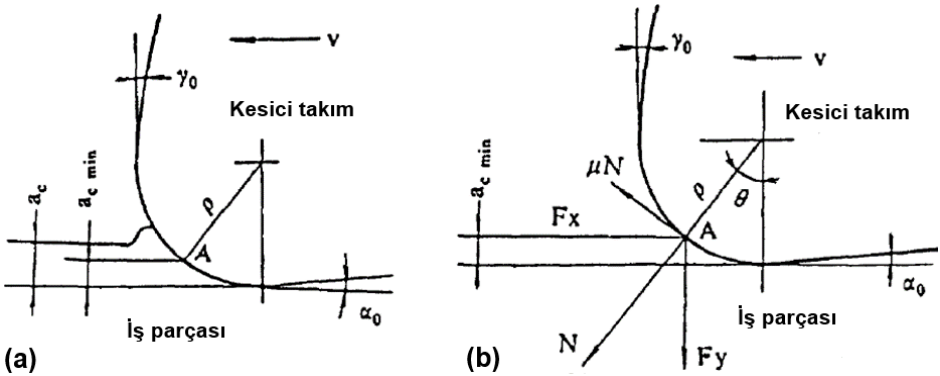
Şekil 21. Tipik CBN kesici kenar geometrileri [33]

Kenar hazırlıkları kenar mukavemetini, takım ömrünü ve talaş kontrolünü etkiler. Pah kırma ve negatif yüzey oluşturma kenar hazırlıkları, kesici kenarı güçlendirmek ve kırılğan takım malzemelerinde talaşlanmayı azaltmak için etkili bir negatif talaş açısı sağlar [16]. Ancak kesici kenarın güçlendirilmesi için yapılan bu kenar hazırlama işlemlerinde aşırıya kaçılması daha yüksek kesme kuvvetlerine, daha fazla güç gereksinimine ve kesici kenarda gerilmelere neden olur [18]. İlerleme ve iş parçası malzemesi sertliğine kıyasla kesici kenar geometrisi eksenel ve radyal yönlerdeki kuvvetlere ana katkıyı sağlar. Şekil 22’de ortogonal kesme işleminde kesici kenar boyunca takım-iş parçası etkileşimin şematik bir diyagramı sunulmuştur. Kesici kenar yuvarlama yarıçapı arttıkça bileşke kesme kuvveti (Q) ve bileşke kürüme kuvveti (P) artar. Tornalamada kürüme kuvvetleri temel olarak eksenel ve radyal yönlerde (dik kesmede ilerleme yönünde) çözüldüğü için kuvvetin bu bileşenleri önemli ölçüde artarken teğetsel bileşeninde çok az artış meydana gelir [33].



Şekil 22. Kenar yuvarlatmanın kesme ve kürüme kuvvetlerine etkisi [33]

Ayrıca kesici kenar hazırlıkları, kesici kenarda ön aşınma özelliği görevi gördüğü için hem takım ömrü hem de işlenmiş yüzey kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Kenar hazırlığı boyutları, finiş tornalama için kullanılan ilerlemeler genellikle kesici kenar geometrisi ile aynı büyüklükte olduğundan özellikle finiş yüzey kalitesi açısından çok önemlidir. Çünkü takım-iş parçası etkileşiminin büyük bir kısmı kesici kenar boyunca meydana gelir [33].



Şekil 23. Minimum kesme kalınlığı ile kesici kenar yarıçapı arasındaki ilişki [34]

Kenar hazırlığı, kenar mukavemeti ile kenar aşınması ve ilerleme ile kenar hazırlığının boyutu arasındaki bir dengeyi ifade eder. Genellikle, pah kırma veya negatif yüzey genişliği ilerlemenin en fazla %70'i kadar olmalıdır. Hatta kesici takımda hasara neden olan talaş sıkışmasını, yüksek takım basınçlarını ve ısı oluşumunu önlemek için genellikle %30'un altında tutulmalıdır [16]. Diğer

yandan kesici takım keskinliği işlenmiş yüzey kalitesi minimum kesme kalınlığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Şekil 23’de kesici kenar yarıçapı ile minimum talaş-kesme kalınlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Örneğin takımın kesici kenar yarıçapı $0.3 - 0.6 \mu\text{m}$ iken kesilebilecek minimum kesme kalınlığı $0.05 - 0.2 \mu\text{m}$ ’dir. Çok daha küçük bir kesme kalınlığı için daha keskin bir takıma ihtiyaç vardır [34].

4. KESİCİ TAKIM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirliğin birçok tanımı ve çeşitli boyutları vardır. İmalatçılar, ürünlerde, süreçlerde ve sistemlerde değişiklikler yaparak sürdürülebilirliğe ulaşmaya çalışmaktadırlar. Teknolojinin, süreçlerin ve ürünlerin genel verimliliğinin bir parçası olan talaşlı imalat alanında sürdürülebilirliğin ekonomik, ekoloji ve sosyal boyutu vardır. Talaşlı imalat sürecinde ürün imalatının ilk aşamasında sürdürülebilirlik, teoride yaygın olarak kabul gören ancak gerçek endüstri süreçlerine yaygın olarak uygulanmayan bir stratejidir. Bir ürünün tüm ömrü boyunca çevresel, ekonomik, sağlık vb. gereksinimlerin entegrasyonu, uygulanacak yeni bir teknoloji yolu gerektirir [35]. Enerji veya/veya malzeme maliyeti ekonomik etkinlik üzerinde bir etkiye sahiptir. Ayrıca kaynakların kullanımının azaltılması ekonomik ve ekolojik etkinliğe bir katkıdır. Üretim süreçlerindeki doğal kaynak ve enerjiyi tüketimi ile atık oluşturma ve çevreyi kirletme olumsuzluklarını yalnızca sürdürülebilir üretim teknolojilerini benimseyerek azaltabiliriz [36].

Talaşlı imalat süreçleri, küresel ekonominin büyümesine katkıda bulunan önemli bir üretim faaliyetini oluşturur. Ayrıca talaşlı imalat sürecindeki yoğun araştırmalar, daha yüksek kesme performansı yoluyla işleme performansını iyileştirir [37]. Bu nedenle, günümüzde daha temiz, daha sağlıklı, daha güvenli ve ekonomik işleme süreçlerine ulaşmak için çevre dostu ve sağlığa zararsız teknolojiler ve gelişmiş teknikler giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu görüş, mevcut üretim süreçlerinin çevresel etkilerine ilişkin iyileştirilmiş bilgiler yoluyla sürdürülebilir işlemeyi sunarak, yeni teknolojik/süreç kavramlarının araştırılmasını ve geliştirilmesini sağlamaktadır [38, 39].

Kesici takım geometrisinin ve uygun takım tasarımının talaşlı imalat sürecinin üretkenliği ve ekonomisi üzerinde büyük bir etkisi vardır. Takım ömrü ve verimlilik açısından en uygun kesici takım geometrisi seçilmelidir.

Yüksek hacimli uygulamalarda, kesici takım sarf malzeme maliyetleri genellikle bileşen maliyetinin %3'üdür. Takım ömrünü %50 artırmak için kesici takım seçiminde değişiklik yapmak, bileşen başına toplam maliyeti %1-2 oranında azaltır. Daha yüksek talaş kaldırma oranlarında çalışabilen yüksek maliyetli bir takım kullanmak iyi bir seçenek olabilir, çünkü talaş kaldırma oranında %20 'lik bir artış, bileşen başına toplam maliyeti %15 oranında azaltabilir [16]. Daha yüksek üretkenliğe ve yüksek hızlı işleme kaçınılmazlığına doğru mevcut eğilim kesici takımda tasarımında yeni araştırmalara yol açmıştır. Takım-iş parçası-makine etkileşimleri alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmaları hem işleme operasyonlarının üretkenliğini hem de parça kalitesini artıran yeniliklerle sonuçlanmıştır [35].

Talaşlı imalat işleminin kritik bir parçası olarak, kesici takımlar sürdürülebilirliğin artırılması için büyük önem taşımaktadır. Normalde, yeterince kullanılmayan kesici takımlar büyük israfa neden olurlar. Ancak, güvenilir teknik bilgi eksikliği kesici takım kullanımını iyileştirmede ve takım sürdürülebilirliğini artırmada yüksek riske yol açar. Kesici takım sürdürülebilirliği, kontrol edilebilir riskte kesici takım kullanımını iyileştirerek artırılabilir. Sabit bir işleme koşulu altında kesici takım ömrü, geçmişteki takım aşınması verilerine dayalı geliştirilen faydalı kesici takım ömrü tahmin modellerine göre uzatılır. Kesici takım sürdürülebilirliği de tıpkı talaşlı imalat işleminde olduğu gibi ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda değerlendirilir [40].

Kesici takımların üretim süreci geleneksel olarak çevresel bozulmaya katkıda bulunan yenilenemeyen kaynakların ve tehlikeli kimyasalların kullanımını içerir. Ancak kesici takım üretiminde çevre dostu malzemelerin ve süreçlerin kullanımı sürdürülebilir üretim açısından oldukça önemlidir. Bu noktada yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve aşınma ve yıpranmaya direnebilen karbon ve diğer elementlerden oluşan bir bileşik olan karbür, temel çevre dostu bir kesici takım malzemesi olarak sürdürülebilir kesici üretiminde tercih sebebidir. Karbür, yüksek hızlı çelik gibi geleneksel malzemelerden daha dayanıklı ve uzun ömürlü bir malzemedir ve bu nedenle sık kesici takım değiştirme ihtiyacını azalttığından dolayı daha az malzemenin çöpe atılmasını sağlar. Ayrıca kesici takım üretim ve talaşlı imalat tesislerinde, malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması, enerji tüketiminin ve karbon emisyonunun azaltılması, atıkların en aza indirilmesi gibi sürdürülebilir süreçler uygulanmalıdır [42]. Diğer yandan insan sağlığına ve çevreye zararlı, doğal kaynak tüketimini ve imalat maliyetini yükselten kesme sıvılarının kullanımını ortadan kaldırmak veya en aza indirmek sürdürülebilir

imalat açısından oldukça önemlidir. Bu nokta kesme sıvısı kullanılmayan kuru kesme koşulu ve yüksek hızlı işlemleri gibi çevre dostu üretimde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu durum özellikle süper alaşımların ve sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde yüksek kesme sıcaklıklarına dayanıklı, yüksek üretkenliğe sahip farklı geometrilerdeki karbür, seramik, CBN ve PCBN kesici takımların geliştirilerek daha geniş bir uygulama alanı bulmasına yol açmıştır [23].

SONUÇ

Kesici takım tasarımının işleme performansı üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Uygun şekilde tasarlanmış takımlar, tutarlı kalitede parçalar üretir ve uzun ve öngörülebilir kullanım ömürlerine sahiptir. Uygun şekilde tasarlanmamış bir takım, hızla veya öngörülemez şekilde aşınabilir veya kırılabilir, üretkenliği azaltabilir, maliyetleri artırabilir ve kalitesi düşen parçalar üretebilir. Bu nedenle kesici takımlar ve takım geometrisi bir sürecin üretkenliği ve ekonomisi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Belirli bir uygulama için tüm kesici takım geometrisini dikkate almak önemlidir. Takımın temel formu, açıları, kesici uç tipi, kesici uç boyutları, kesici uç burun yarıçapı, kesici kenar geometrisi ve talaş kırıcı formundan meydana gelen kesici takım geometrisinin kesici takımın ve iş parçasının malzeme özellikleri ve talaşlı imalat işleminin karakteristiğine göre değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır.

Kesici takım geometrisi, çeşitli işleme operasyonlarında kesici takımın performansını, aşınma direncini ve ömrünü belirlemede önemli bir rol oynar. İyi düşünülmüş bir takım geometrisi, optimum talaş tahliyesi, minimum titreşim ve azaltılmış takım sapması sağlayarak daha hızlı işleme hızlarına ve iyileştirilmiş iş parçası yüzey kalitesine yol açacaktır. Talaş açıları, boşluk açıları, burun ve kesici kenar yarıçapı gibi kesici takım geometrisinin temel bileşenlerinin kesme kuvvetleri, takım aşınması ve işleme performansı üzerindeki etkileri göz önüne alınarak farklı malzemeler ve uygulamalar için doğru kesici takım geometrisinin tespiti ve seçimi konusunda çok önemli bir öngörü sağlanmıştır. Bu öngörü kesici takım tasarımının yanı sıra özellikle makine operatörlerinin kesici takım geometrisinin kritik rolünü anlaması, işleme operasyonlarını geliştirmesi ve yüksek kaliteli çıktı elde etmesi açısından oldukça önemlidir. Bu sonuçların imalat endüstrisinde kaba ve finiş operasyonlarında kesme verimliliğini önemli ölçüde artıran değerli bir girdi olması umulmaktadır.

KAYNAKÇA

1. 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.
2. M'Saoubi, R., Outeiro, J. C., Changeux, B., Lebrun, J. L. and Morão 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.
3. 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.
4. 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. *CIRPAnnals - Manufacturing Technology*, 57(1), 77-80.
5. Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.
6. 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.
7. Stachurski, W., Kruszyński, B. and Midera, S., (2012). Influence of Cutting Conditions in Turning With Wiper Type Inserts on Surface Roughness and Cutting Forces. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 16(1), 25-32.
8. İnternet: Cutting Tools For Lathe. URL: <https://zayedabdulaziz.weebly.com/cutting-tools-for-lathes.html>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
9. Yıldız, S. (2014). Selçuk Üniversitesi –Talaşlı İmalat Usulleri –Ders Notu [Powerpoint slides]. URL:https://www.tf.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/033003/2_talasli_imalat_yontemleri_tornalama.pdf
10. MEB (2013). *Temel Tornalama-I*. Ankara: MEB.
11. İnternet: Single Point Cutting Tool: Definition, Nomenclature Geometry, Angle, Material. URL: <https://themechanicalengineering.com/single-point-cutting-tool/>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
12. İnternet: MEM103 Manufacturing Processes-I. URL: <https://msvs-dei.vlabs.ac.in/mem103/Unit5lesson2.html#tools>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.

13. İnternet: 3 Steps to Understanding and Choosing Various Angles of Cutting Tools. URL: <https://www.mcctcarbide.com/3-steps-to-understanding-and-choosing-various-angles-of-cutting-tools/>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
14. İnternet: Cutting Tool Geometries. URL: <https://www.sme.org/technologies/manufacturing-topics/cutting-tool-geometries/>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
15. İnternet: Tool Bit, Geometry. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Tool_bit#, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
16. Stephenson, D. A., & Agapiou, J. S. (2018). *Metal cutting theory and practice*. CRC press.
17. Mendi, F. (2006). *Takım Tezgahları Teori ve Hesapları*. Ankara: Gazi Kitabevi.
18. Çakır, M. C. (2006). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
19. İnternet: Nomenclature of A Single Point Cutting Tool. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/nomenclature-single-point-cutting-tool-the-learning-hub>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
20. Çakır, M. C. (2010). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*. Bursa: Dora Yayın Dağıtım.
21. İnternet: Functions of Chip Breakers. URL: <https://www.mmc-carbide.com/permanent/courses/75/functions-of-chip-breakers.html>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
22. Chou, Y. K., & Song, H. (2004). Tool nose radius effects on finish hard turning. *Journal of materials processing technology*, 148(2), 259-268.
23. Grzesik, W. and Wanat, T. (2006). Surface Finish Generated in Hard Turning of Quenched Alloy Steel Parts Using Conventional and Wiper Ceramic Inserts. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(15), 1988-1995.
24. D'Addona, D. M., and Raykar, S. J., (2016). Analysis of Surface Roughness In Hard Turning Using Wiper Insert Geometry. *Procedia CIRP*, 41, 841-846.
25. Kurniawan, D., Yusof, N. M. and Sharif, S., (2010). Hard Machining of Stainless Steel Using Wiper Coated Carbide: Tool Life and Surface Integrity. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(6), 370-377.
26. Dabade, U. A., Dabade, Joshi, S. S., Balasubramaniam, R., Bhanuprasad, V. V., (2007). Surface Finish and Integrity of Machined Surfaces on Al/SiCp Composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, 166-174.
27. Yılmaz, B. (2016). *Pnömatik Tahrikli Dinamik Talaş Kırıcı Tasarımı ve İşleme*

Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

28. Smith, G. T. (1989). *Advanced Machining: The Handbook of Cutting Technology*. New York: Springer-Verlag.
29. Denkena, B., Köhler, J., & Ventura, C. E. H. (2014). Influence of grinding parameters on the quality of high content PCBN cutting inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(2), 276-284.
30. Wood, D. O., & King, R. E. (1985). *Modern Metal Cutting: Turning Theory, Chapter 1: Turning and Boring Angles and Applications*. Dearborn, MI: SME.
31. Özel, T., Karpaz, Y., & Srivastava, A. (2008). Hard turning with variable micro-geometry PcBN tools. *CIRP annals*, 57(1), 73-76.
32. Schimmel, R. J., Manjunathaiah, J., & Endres, W. J. (2000). Edge radius variability and force measurement considerations. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 122(3), 590-593.
33. Thiele, J. D., & Melkote, S. N. (1999). Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel. *Journal of materials processing technology*, 94(2-3), 216-226.
34. Yuan, Z. J., Zhou, M. and Dong, S. (1996). Effect of diamond tool sharpness on minimum cutting thickness and cutting surface integrity in ultraprecision machining. *Journal of Material Processing Technology*, 62(4), 327-330.
35. Pusavec, F., & Kopac, J. (2009). Achieving and implementation of sustainability principles in machining processes. *Journal of Advances in Production Engineering and Management*, 3(4), 58-69.
36. İnternet: Sustainability Machining With ISCAR's Cutting Tools. URL: <https://www.equipment-news.com/sustainability-in-machining-with-iscars-cutting-tools/>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
37. Kopac, J., Pusavec, F., & Ekinovic, S. (2006). High performance manufacturing—definition and aims. In *Proceedings of the 10th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT*, (pp. 11-24).
38. Jawahir, I. S., Dillon Jr, O. W., Chen, S., Jaafar, I. H., & Deshpande, A. (2006). Sustainable machining: new challenges in developing predictive models for dry, near-dry and cryogenic machining. In *International Conference on Manufacturing Science and Technology, Proceedings of ICOMAST2006*, Faculty of Mechanical Engineering and Technology, Multimedia University, Melaka, Malaysia (pp. 13-

22).

39. Jawahir, I. S., & Dillon Jr, O. W. (2007, October). Sustainable manufacturing processes: new challenges for developing predictive models and optimization techniques. *In Proceedings of the first international conference on sustainable manufacturing*, Montreal, Canada (pp. 1-19).
40. Sun, H., Liu, Y., Pan, J., Zhang, J., & Ji, W. (2020). Enhancing cutting tool sustainability based on remaining useful life prediction. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118794.
41. İnternet: Eco-Friendly Cutting Tools production. URL: <https://www.palbit.pt/en/eco-friendly-cutting-tools-production>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.

2. BÖLÜM

HAZIR GİYİM SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM VE TÜKETİM YAKLAŞIMLARI

Dr. Emine Rümeysa EREN

Marmara Üniversitesi

Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü

rumeysa.eren@marmara.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-6485-1320>

GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, evrensel düzeyde kesin bir tanıma sahip olmayan bir kavramdır. Sürdürülebilirliği yalnızca çevresel faktörlerle sınırlamak, bu alandaki yaygın bir yanılgıdır. Aslında, sürdürülebilirlik, kalıcı refahın sağlanması amacıyla ekolojik, sosyal ve ekonomik faktörlerin bütünsel bir perspektifle ele alınmasını gerektiren bir anlayışı ifade etmektedir. Modern anlamda terim olarak sürdürülebilirlik, 1972 yılında “Büyümenin Sınırları 2” adlı raporda “Club of Rome” tarafından kullanılmıştır. Rapor, temelde kapalı bir sistemdeki nüfus artışı, gıda üretimi, sanayileşme, doğal kaynakların kullanımı ve çevre kirliliği gibi faktörlerin, sürekli artış sürecini sürdürmenin mümkün olmadığını vurgulamaktadır. 1990’lı yılların başından itibaren uluslararası düzeyde yaygınlaşan sürdürülebilirlik kavramı, çevresel, sosyal ve ekonomik gelişmenin bir sentezi olarak tanımlanmaktadır (Metlioğlu ve Yılmaz, 2021). Sürdürülebilirlik yaklaşımı, 1992 yılında Rio de Janeiro’da düzenlenen Dünya Zirvesi’nde “sustainable development” (sürdürülebilir kalkınma) terimi ile ortak bir terminoloji haline gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma, genellikle

“Gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılama yeteneğini korurken mevcut kuşakların ihtiyaçlarını karşılayan bir kalkınma yaklaşımı” olarak tanımlanmaktadır (Gedik, 2020; Mangır, 2016). Bu, üretimin sürdürülebilirliği, çeşitlilik ve tüketimin sürekliliğini sağlarken, toplumsal ve ekolojik açıdan kalıcı bir dengeyi ifade etmektedir. Uluslararası sahnede önem kazanan sürdürülebilirlik, çevre dostu üretimi ve tüketimi teşvik etmeye yönelik bir çaba olarak kabul edilmektedir (Yücel ve Tiber, 2018).

Hazır giyim sektöründe hızla ilerleyen seri üretim işleyişinde 1980’li yıllardan itibaren hızlı moda etkisi görülmeye başlanmıştır. İşletmelerdeki ürün yaşam döngüsünün işleyişini değiştiren hızlı moda; tasarım, üretim ve satış arasındaki döngüyü kısaltmıştır. Bu durum pazarlama bileşenlerini etkilemiştir ve tüketicilerin satın alma davranışlarını fiziksel ihtiyaçtan ziyade psikolojik değişim isteğine doğru yönlennesine neden olmuştur. Hızla ilerleyen bu durum zaman içerisinde hammadde üretimi, hazır giyim üretimi, nakliye, depolama, pazarlama alanlarında hem ekonomik hem çevresel yönden olumsuz olarak dikkat çekmeye başlamıştır (Metlioğlu ve Yılmaz, 2021). Çevresel endişelerin artması, tüketicinin değişen talepleri, sosyal sorumluluk ve teknolojik gelişmeler faktörleriyle birlikte hazır giyim alanında sürdürülebilirlik kavramı kendinden söz ettirmeye başlamıştır. Hazır giyim sektörü ürün yaşam döngüsünü iyileştirmeye yönelik yeniden ürün kullanımı, yeniden imalat, ürün onarımı, geri dönüştürme ve ileri dönüştürme gibi çeşitli çalışmalarla sürdürülebilir kalkınmada yer almaktadır (Özgün ve Ayvaz, 2017).

Hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlik yaklaşımına yönelik üretim ve tüketim alanında çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Çakır ve Eroğlu (2023), Türkiye ve Dünya çapında sürdürülebilirlik ilkesini uygulayan Hiroshi Yönetimi (Marka Değerinin Belirlenmesi) kıstaslarına göre seçilen 28 adet tekstil ve hazır giyim markası inceleyerek uyguladıkları sürdürülebilirlik yaklaşımlarını ele almıştır. Mangır (2023), firmaların sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada ölçülebilir bir değer olarak baz alınan The Business of Fashion (BOF) sürdürülebilirlik endeksinden yararlanılarak 2022 yılında Türkiye’nin ilk 500 yerli markası arasında giren tekstil ve hazır giyim sektöründeki öncü firmalara ait sürdürülebilirlik raporlarını şeffaflık, malzeme, işçi hakları, su ve atık bileşenleri yönünden analiz etmiştir. Uzun ve Canikli (2023), hazır giyim ve moda sektörünün 2030 yılına kadar gerçekleşmesi hedeflenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına ulaşmadaki engelleri ve bunların ortadan kaldırılmasında sürdürülebilir finans uygulamalarının katkısını açıklamıştır. Akdeniz ve Dursun

(2022), sürdürülebilir giyim ürünlerine yönelik tüketicilerin davranışsal niyetlerini, anket yöntemiyle inceleyerek bu niyetleri etkileyen faktörleri ve önündeki engelleri araştırmıştır. Narin ve  eğindir (2022), Türkiye’deki kadın tüketicilerin online giysi kiralama modeline yönelik bakış a ıllarını, modelin pazar potansiyelini ve tüketicilerin materyalist düşünce, bireysel beklenti, çevresel önem, algılanan fayda, performans riski, niyet ve tutumlarına ilişkin ifadelere katılım düzeyini sistematik bir şekilde incelemiştir. Türkdemir (2022), ikinci el giysi satın alma niyeti üzerindeki tüketim değerlerinin etkisini araştırmıştır. Metlioğlu ve Yakın (2021), sürdürülebilirlik kapsamında faaliyet gösteren H&M ve Zara gibi hızlı moda sektöründeki markaların tekstil üretimi ve moda stratejilerini incelemiştir. Okşar (2021), bireylerin sürdürülebilir tüketim davranışlarının, Letgo ve Dolap gibi  evrimi i ikinci el alışveriş uygulamalarını benimsemelerine etki eden faktörleri incelemiştir. Tatman vd. (2021), hazır giyim işletmelerinde yaygın olarak kullanılan geleneksel numune üretim yöntemi ile dijital iş akışının entegre edildiği sanal numune üretim yöntemini, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırmıştır. Aydın ve Topan (2019), geri dönüşüm yöntemleri kullanılarak elde edilen örme kumaşlar ve liflerle tasarımsal boyutta deneysel uygulamalar yapmış; bu uygulamaları biçim, renk, tasarım, kullanışlılık ve fonksiyonellik a ıllarından değerlendirmiştir. Tiber ve Yücel (2018), Türkiye genelinde rastgele seçilen hazır giyim fabrikalarında çalışan tasarımcılara online olarak uygulanan anket formu aracılığıyla, tasarımcıların hızlı moda, sürdürülebilir moda, yavaş moda, ekolojik moda, eko-etiket ve geri dönüşüm kavramlarına dair bilgi düzeylerini, bakış a ıllarını ve farkındalık durumlarını incelemiştir. Koca vd. (2016), hazır giyim üretimi alanında faaliyet gösteren Ankara ve İstanbul’daki işletmelerin yöneticilerinin katıldığı, giyim sektöründeki sürdürülebilirlik konusuna yöneticilerin bakış a ıllarını belirlemeyi amaçlayan anket uygulamıştır. Hazır giyim sektöründeki sürdürülebilirlik uygulamalarını ele alan bu çeşitli araştırmalar, sektörün sürdürülebilirlik pratiği ve bilincine dair geniş bir perspektifi kapsamaktadır.

Bu  alışma, hazır giyim sektöründeki sürdürülebilir üretim ve sürdürülebilir tüketim faaliyetlerini güncel yaklaşımlarla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, sürdürülebilirlik uygulamaları hazır giyim üretimi, hazır giyimde moda etkisi ve hazır giyim tüketimi olmak üzere üç temel kategori altında ele alınarak toplam yedi farklı alanda incelenmiştir. Hazır giyim üretimi perspektifinden, hazır giyim markalarının sürdürülebilirlik uygulamaları ve bu uygulamaların moda ile ilişkisi ele alınmıştır. Güncel yaklaşımlar olan dijital

numune kullanımının ve sessiz lüks modanın sürdürülebilir üretimdeki rolü değerlendirilmiştir. Hazır giyim tüketimi perspektifinde sürdürülebilir tüketim vizyonu incelenmiştir. Hızla büyüyen bir sektör olan ürünün yeniden kullanım çeşitleri ikinci el giysi satın alma ve giysi kiralama uygulamalarının sürdürülebilir tüketimdeki rolü değerlendirilmiştir.

HAZIR GIYİM SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Hazır giyim sektöründeki sürdürülebilirlik kavramı üretim, iş gücü, tüketim, çevre sağlığı ve insan sağlığı konularında dikkat çekmektedir. Moda sektörünün etkisiyle hızlanan üretim ve tüketim, hammadde temininden atık süreçlerine kadar sürdürülemezlik durumunu devamında getirmeye başlayarak birçok yönden sürdürülebilir kılma ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Türkdemir, 2019). Sürdürülebilirlik kavramı teknolojik yeniliklerle birleşerek yeşil tedarik zinciri kavramının gelişmesini sağlayarak hazır giyim ve moda sektöründeki değişimleri ve gelişmeleri meydana getirmektedir. Tüketicilerin çevre bilincinin de gelişmesi sektördeki sürdürülebilirlik uyum çabasını hızlanmaktadır (Metlioğlu ve Yakın, 2021).

2019’da başlayan COVID-19 pandemisi, hazır giyim sektöründe sürdürülebilir kalkınmayı etkilemiştir. Üretim ve atık yönetimi konularında bazı sorunlara neden olmasına rağmen, pandemi sürdürülebilir ürünlere talebi artırmış ve dijital dönüşümü hızlandırmıştır. Ayrıca, bu durum yerel ve sürdürülebilir üretimin önemi açığa çıkarak, karbon ayak izini azaltmaya ve yerel topluluklara destek olmaya katkı sağlamaktadır. Pandemi tüketici davranışlarını da etkilemiştir, satın alma davranışları yönünden farkındalık oluşturmuştur. Bu durum kaliteli ve uzun ömürlü ürünlere yönelme eğilimini arttırmakta ve hızlı modanın yerine yavaş moda kavramının sürdürülebilirliğini hızlandırmaktadır (Metlioğlu ve Yılmaz, 2021).

1. HAZIR GIYİM ÜRETİMİ ALANINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Hazır giyim sektörü, sürdürülebilirlik konusunda son yıllarda önemli adımlar atmaktadır ve dönüşüm sürecine girmektedir. Bu dönüşüm, çevresel ve sosyal sorumlulukları göz önünde bulunduran, etik ve  evre dostu uygulamaların benimsenmesini içermektedir. Hazır giyim üretimi alanında uygulanan sürdürülebilirlik faaliyetleri  evre dostu malzemeler, geri dönüşüm ve atık yönetimi, enerji verimliliği, i  i hakları, yerel üretim ve tedarik zinciri, sosyal sorumluluk, standartlar ve sertifikalar olarak sınıflandırılabilir.

- a.  evre Dostu Malzemeler: Organik pamuk, bambu kumaşlar, geri dönüştürülmüş malzemeler daha  evre dostu giysi üretimi için tercih edilen malzemeler arasındadır.
- b. Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi: Atık üretimini azaltmak için tekstil atıklarının geri dönüşümüne odaklanılmaktadır. Kumaş parçaları ve eski giysilerin yeniden kullanımı, giysi üretiminden kaynaklı atığı azaltmaya yardımcı olmaktadır.
- c. Üretim Süreçlerinde Enerji Verimliliği: Üretim tesislerinde daha az enerji kullanımı karbon ayak izini azaltmaktadır.
- d. Adil I  i Koşulları: Çalışanların adil ücret, güvenli çalışma koşulları ve insanca çalışma saatlerine sahip olmaları i  i haklarına sayęı açısından önemlidir.
- e. Yerel  retim ve Kısa Tedarik Zincirleri: Yerel  retim, nakliye sırasında enerji tasarrufu sağlamakta ve yerel ekonomilere katkıda bulunmaktadır. Kısa tedarik zincirleri, ürünlerin takip edilebilirliğini artırarak etik uygulamaların denetimini kolaylaştırmaktadır.
- f. Sosyal Sorumluluk Projeleri: Birçok hazır giyim markası, sürdürülebilirlik kapsamında toplumsal sorumluluk projelerine yatırım yapmaktadır. Sosyal yardımlar, eğitim projeleri ve toplumların güçlendirilmesi gibi girişimler sektörün pozitif bir etki yaratmasına yardımcı olmaktadır.
- g. Sertifikasyonlar ve Standartlar: Hazır giyim firmaları ve markaları, sürdürülebilirliklerini belgelemek ve doğrulamak için çeşitli sertifikaları ve standartları takip etmektedir (Tiber ve Yücel, 2018; Metlioğlu ve Yakın, 2021; Koca vd., 2016; Uzun ve Canikli, 2023).

 evre bilincinin giderek arttığı bir dönemde, hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlikle ilgili toplumsal sorumluluk ve çevresel etkiyi azaltma

amacıyla çeşitli girişimler dikkat çekmektedir. Sektörde sürdürülebilirlikle ilgili uygulamaları teşvik etmek, değerlendirmek ve paylaşmak amacıyla farklı iş birlikleri ve kampanyalar düzenlenmektedir. 2007 yılında başlatılan ve 2008 yılından sonra kabul görmeye başlayan Doğal Kaynakları Koruma Konseyinin Temiz Tasarım Kampanyası (Clean by Design Campaign) giyim ve tekstil üretiminde kaynak tüketimini ve çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan bir girişimdir. Bu kampanya, özellikle Asya'daki tekstil üretim merkezlerinde etkili olup, tekstil fabrikalarının daha çevre dostu üretim süreçleri kullanmasına ve enerji, su ve kimyasal kullanımını optimize etmelerine yardımcı olarak fabrikaların sürdürülebilir uygulamalara geçişini teşvik etmektedir. 2011'de kurulan Sürdürülebilir Giyim Koalisyonu (Sustainable Apparel Coalition-SAC), giyim ve tekstil sektöründe sürdürülebilirlikle ilgili en iyi uygulamaları teşvik etmeyi, değerlendirmeyi ve paylaşmayı amaçlamaktadır. SAC, birçok marka, üretici ve diğer paydaşın bir araya gelerek oluşturduğu bir inisiyatifi temsil etmektedir. SAC, giyim ve ayakkabı ürünlerinin çevresel ve toplumsal etkilerini değerlendirmek amacıyla Higg Endeksi gibi araçlar kullanmaktadır. Bu endeks, bir ürünün tasarım-üretim-dağıtım süreçlerini kapsamaktadır ve ürün yaşam döngüsü boyunca çeşitli aşamalarındaki su kullanımı, enerji tüketimi, atık yönetimi, kimyasal kullanımı ve işçi hakları gibi faktörleri değerlendirmektedir ve tüketicilere ürünlerin sürdürülebilirlik performansı hakkında bilgi sağlamaktadır. SAC üyesi olan uluslararası düzeyde birçok hazır giyim markası bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Nike, Gap, H&M, Adidas, Puma, Levi's, Patagonia, Zara, The North Face, VF Corporation (Vans, Timberland gibi markaları içerir), Burberry, C&A, Tommy Hilfiger, Primark, REI (Recreational Equipment, Inc.), Esprit, PVH Corporation (Calvin Klein, Tommy Hilfiger gibi markaları içerir), Eileen Fisher, Kering (Gucci, Saint Laurent gibi markaları içerir), Stella McCartney gibi markalar, sürdürülebilirlik ve çevre dostu uygulamalar konusunda çaba sarf etmektedir. 2012'de beş farklı çevre örgütü (Friends of Nature, The Institute of Public & Environmental Affairs, GreenBeagle, Envirofriends ve Nanjing Green Stone), hazır giyim sektörüne yönelik çevresel sorunlara dikkat çekmek amacıyla Moda Sektörünü Temizleme (Cleaning up the Fashion Industry) raporu yayınlamıştır. Rapor, tekstil boru hattı süreçlerindeki su kullanımı, enerji tüketimi, kimyasal atıklar ve işçi hakları gibi faktörleri incelemiştir. Ayrıca rapor, Çin'deki tekstil fabrikalarının çevresel etkilerini ve sürdürülebilirlik performansını da değerlendirmiştir (Koca vd., 2016; Cascale, 2023).

1.1. Hazır Giyim Markalarının Sürdürülebilirliğe Katkısı

Üretim süreçlerini düzenleme, çevre dostu malzeme kullanma ve geri dönüşen malzemeleri kullanarak ürün üretme gibi sürdürülebilirlik alanında yeşil tedarik zinciri faaliyetleri gösteren birçok uluslararası hazır giyim markası bulunmaktadır. Markalar çoğunlukla sürdürülebilirlik alanında ilk olarak doğal hammadde kullanımı ikinci olarak geri dönüştürülmüş malzemeden elde edilen kumaş kullanımı faaliyetlerine yönelmektedir. Sürdürülebilirlik yaklaşımları arasında organik ve geri dönüştürülmüş hammaddelerin yanı sıra örümcek ipeği, mantardan üretilen deri, okyanus atıklarının geri dönüştürülmesi ve kullanım süresi dolmuş brandaların tekrar ürüne dönüştürülmesi gibi uygulamalar bulunmaktadır.

Küresel düzeyde sürdürülebilirlik uygulamalarını benimseyen markaların incelendiğinde, kadın giyim markalarının, erkek giyim, çocuk giyim, ev tekstili ve aksesuar markalarına kıyasla daha yaygın olduğu gözlemlenmektedir. H&M, sürdürülebilirlik konusundaki etkin yaklaşımıyla öne çıkmaktadır. Conscious Collection adını taşıyan sürdürülebilir ürün serileri üretmekte ve geri dönüşüm malzemelerine odaklanmaktadır. Ayrıca, 2025 yılına kadar %30 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanma hedefi belirleyen bu marka, su tasarrufu ve atık azaltma konularında da önemli çalışmaları desteklemektedir (Çakır ve Eroglu, 2023; Elle, 2021). Temiz Tasarım Kampanyası gibi çalışmalar teşviğiyle H&M ve Gucci gibi markalar denim ürünlerin üretiminde uygulanan ve işçi sağlığına ciddi zarar veren kumlama işleminin yapılmasını durdurmuştur (Koca vd., 2016). Zara, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarda sürdürülebilirlik stratejilerini dikkate almaktadır. 2025 yılına kadar tüm ürünlerinin sürdürülebilir olacağına dair taahhütte bulunan marka, sürdürülebilir tüketici uygulamasına yönelik kullanılmayan ürünlerin toplanabileceği alanlara mağazalarında yer vereceğini belirtmektedir (Metlioğlu ve Yakın, 2021). Nike, sürdürülebilirlikle ilgili Considered Design girişimi ile çevre dostu ürün üretimi ve tedarik zinciri süreçlerini iyileştirme alanındayermaktadır (Angeles, 2013). Levi's, Water<Less girişimi ile su tasarrufu ve giysi onarımını teşvik etme yönünde çalışmalar yapmaktadır. Su tasarrufu sağlayan ve geri dönüştürülmüş denim kumaşları kullanarak ürün üretimi faaliyetlerine odaklanmaktadır (Levi's, 2019; Koca vd., 2016). Adidas, Parley for the Oceans iş birliğiyle okyanusları temizleme ve plastik atıkları azaltmaya yönelik uygulamaları desteklemekte ve okyanuslardan toplanan plastik atıkların geri dönüştürülmesiyle üretim yapmaktadır (Koca vd., 2016). The North Face, geri dönüştürülmüş malzemelerden üretim ve kullanılmış

giysilerin geri dönüşümüne yönelik faaliyetler yapmaktadır (The North Face, 2023). Walmart, tedarik zinciri sürdürülebilirliği konusunda ve tedarikçileriyle birlikte sürdürülebilir uygulamaları benimsemektedir (Deniz, 2023). Burberry, sürdürülebilir malzemeler kullanma ve karbon ayak izini azaltma alanlarında çalışmalar yapmaktadır (Akkaya, 2020). Sürdürülebilir giyim alanında öncü markalardan Patagonia, organik pamuk, geri dönüştürülmüş polyester ve yün gibi çevre dostu malzemeler kullanmaktadır ve otomobil ön panellerinden geri dönüştürülen poliester lifleri ile özel dokuma ceket üretimi yapmıştır. İlaveten bu marka, işçi hakları ve giysi onarım hizmeti sunarak uzun ömürlü ürün kullanımını vurgulamaktadır (Tiber ve Yücel, 2018). Sürdürülebilir ve etik üretim alanında öncü marka olan Stella McCartney tasarım ve üretim süreçlerinde sürdürülebilir kalkınma prensiplerini benimsemiştir. Bu marka deri yerine bitkisel bazlı alternatifler kullanmaya çalışarak hayvan dostu ve çevre dostu malzemeler kullanımını desteklemekte ve karbon ayak izini azaltmaya yönelik çalışmaktadır (SDG, 2023). Eileen Fisher, ürünlerinde organik pamuk, Tencel gibi sürdürülebilir hammaddeler kullanmakta, giysi geri dönüşümü ve etik üretim alanlarında yer almaktadır (Nivogo, 2023). Reformation, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, sürdürülebilir üretim ve karbon ayak izini azaltma yönünde çalışmaktadır (Vogue, 2020). Sürdürülebilirlik prensiplere göre tasarım yapan Dai Wear, ürünlerinde geri dönüşümlü veya geri dönüştürülebilir kumaşlar kullanmakta ve dikim iplikleri için biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler tercih ederek atık miktarını azaltmaya katkı sağlamaktadır (Ateş vd., 2020).

Türk hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlik ilkesini benimseyen ve çevre dostu malzemelerle ürün üreten markalar; sürdürülebilir üretim ve etik uygulamalara odaklanmakta, sürdürülebilir üretim süreçleri kullanmakta, organik pamuk ve geri dönüştürülmüş malzemeleri kullanarak sürdürülebilir moda koleksiyonları sunmaktadır. Mavi, plastik şişelerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen kumaşlardan denim ürün koleksiyonu sunmaktadır ve 2030 yılına kadar tüm denim koleksiyonunda kullanılan pamuğun %100'ünün sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesini hedeflemektedir (Mavi, 2024a; 2024b). Koton, Better Cotton'un üyesi olan ilk Türk markasıdır; 2025 yılına kadar toplam pamuk tüketiminin %50'sini Better Cotton'dan temin etmeyi hedeflemektedir (Koton, 2023). Mudo, ECollection etiketiyle sunduğu ürünlerinde çeşitli bitkilerden elde edilen çevre dostu organik boyalar ile renklendirilen ürünler; daha az su kullanarak yıkanan denim pantolonlar; geri dönüştürülmüş pamuk, geri dönüştürülmüş

polyester ve %100 organik pamuk içerikli ürünlerle sürdürülebilir üretim kapsamında çalışmaktadır (Mudo, 2023). Network, N-Green isimli koleksiyonu ile Lyocell kullanımı, %99,5 geri dönüştürülebilir solvent kullanılarak elde edilen ve %100 atıksız  retilimiyle  evre dostu olan iplikler ve keten kullanımıyla sürdürülebilirlik projelerini sürdürmektedir (Network, 2023). Lc Waikiki, Carbon Offset Certificate sahip olup, yenilenebilir enerji projeleri sayesinde online alışveriş nakliyelerinin karbon ayak izini güvenilir bir şekilde dengelemek amacıyla yeşil dönüşüm kapsamında çalışmaktadır (Lc Waikiki, 2023). Penti, 2030 yılına kadar pamuk ve polyester içeren ürünlerinin %95'ini sürdürülebilir materyallerden temin etmeyi hedeflemektedir ve %100 geri dönüştürülmüş ve tekrar kullanılabilir malzemeler kullanarak ambalaj ve askılarda tek kullanımlık plastiği ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır (Penti, 2023). Kiğili, Tomorrow Ecoline isimli ürün koleksiyonunda tencel, modal, recycle pamuk, organik pamuk gibi daha sürdürülebilir kumaşlar kullanma ve ürün etiketlerinde yer alan QR kod ile FICUS (Future, Innovation, Circular, Unique, Sustainability-Gelecek, İnovasyon, Döngüsel, Benzersiz, Sürdürülebilirlik) kodu sorgulama faaliyetleriyle çevreci moda akımını desteklemektedir (Kiğili, 2024). Beymen, 2024 ilk yarı sonuna kadar tüm ambalajlarında %100 sürdürülebilir sertifikalı materyaller kullanma; 2040 yılına kadar üretimde ve atık yönetiminde sıfır atık ve sıfır emisyon hedefiyle ilerlemektedir (Beymen, 2024). Hazır giyim markaları, çevresel ve toplumsal sorumlulukları ele almayı hedefleyerek sürdürülebilirlik alanında farklı inisiyatiflerde bulunmaktadırlar. Sektörde, sürdürülebilirlik giderek artan bir öneme sahiptir ve bu markaların sürdürülebilir uygulamaları, sektör genelinde olumlu değişikliklere katkı sağlamaktadır (Koca vd., 2016).

1.2 Dijital Numune Faaliyetinin Sürdürülebilirliğe Katkısı

Hazır giyim sektöründe özellikle son on yılda hızla yaygınlaşan dijitalleşme faaliyetlerinden biri olan dijital numune kullanımı, sektörün sürdürülebilirlik çabaları açısından kritik bir rol oynamaktadır. Dijital numune, tasarım ve üretim süreçlerini kökten değiştirmektedir. Geleneksel numune yaklaşımı, tasarım aşamasından başlayarak fiziksel numunelerin oluşturulmasını içermektedir ve bu süreç hem zaman alıcı hem de maliyetlidir. Ancak son yıllarda, dijital tasarım yazılımlarının ve 3D modelleme teknolojilerinin gelişmesi tasarımcılara, üreticilere ve markalara tasarımlarını dijital platformlarda oluşturup inceleme

olanağı sunmaktadır. Özellikle pandemi gibi olağanüstü durumlarda, dijital numunelerin rolü daha da artmaktadır. Dijital numunelerin hazır giyim sektöründe kullanılması, tasarım süreçlerini hızlandırmakla kalmaz, aynı zamanda maliyetleri ciddi ölçüde düşürmektedir. Sürdürülebilirlik açısından, dijital numunelerin kullanılması önemli avantajlar sunmaktadır. Dijital numuneler, fiziksel numunelerin oluşturulması için gereken kumaş, malzeme ve işgücünün tüketimini büyük ölçüde azaltmaktadır. Tasarım ve modelleme süreçleri dijital platformlarda gerçekleştirildiğinden, gereksiz atık oluşumunu ve kaynak israfını minimize etmektedir. Ayrıca, dijital numunelerin iletilmesi ve paylaşılması için fiziksel taşıma ve nakliye ihtiyacını azaltır, böylece karbon ayak izini azaltmaya katkı sağlamaktadır. Dijital numuneler, tasarım aşamasından başlayarak üretim süreçlerinin her aşamasında sürdürülebilirliği artırma potansiyeline sahiptir (Koca vd., 2016; Özkum ve Üreyen, 2020).

2. MODANIN HAZIR GİYİM SEKTÖRÜNDEKİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

2.1 Hızlı Moda ve Yavaş Moda

Hızlı moda ve yavaş moda, hazır giyim sektöründe farklı yaklaşımları temsil eden iki ana kavramdır. Hazır giyim sektörü giderek daha fazla sürdürülebilir uygulamalar benimsemeye yönelirken, hızlı moda ve yavaş moda yaklaşımları arasında karmaşık iletişim görülmektedir. Hızlı moda ve yavaş moda genellikle birbirinin zıttı olarak düşünülür ve ters ilişkiye sahiptir. Hızlı moda, hızlı üretim, hızlı tüketim ve trendlere hızlı tepki ile tanınırken; yavaş moda dikkatli üretim, sürdürülebilir malzemelerin kullanımı ve dayanıklı ürünlerin teşvik edildiği bir yaklaşımı benimsemektedir. Hızlı moda, sürdürülebilirlik konusunda daha fazla eleştiri almaktadır. Yavaş moda, sürdürülebilirlik konusunda daha fazla dikkat ve çaba harcamakta, daha çevre dostu malzemelerin kullanımı, adil işçilik uygulamaları ve kaynakların daha dikkatli kullanılması gibi sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmektedir. Hızlı moda ve yavaş moda arasındaki iletişim, sürdürülebilir kalkınma açısından farklı yaklaşımları temsil ederken kaynak kullanımı ve atık yönetimi, adil işçilik ve toplumsal sorumluluk, çevre dostu malzeme, ürün kalitesi ve dayanıklılığı, tüketici davranışları, moda trendlerine tepki ve fiyatlandırma gibi üretim ve tüketim davranışları bakımından bir dizi

bağlantı ve etkileşimi de ortaya çıkarmaktadır (Tablo 1) (Mangır, 2016; Yücel ve Tiber, 2018). Hazır giyim sektörünün sürdürülebilirliğinde tasarımcının da rolü bulunmaktadır. Tasarımcıların büyük bir kısmı sürdürülebilir moda ile yavaş moda ya yönelik pozitif bir tutum sergilemektedir (Tiber ve Yücel, 2018). Yavaş moda alanında emek ve doğal malzeme ile üretilen tekstil üretimine geri dönüş yaklaşımı yavaş tasarım hareketi ve yavaş tasarımcı kavramlarını ortaya çıkarmaktadır. Bu alan; üretimi ve tüketimi daha sınırlı hale getirerek kaliteli, kullanışlı ve zamansız ürün üretim uygulamalarını içermektedir (Alpat, 2011).

Tablo 1. Hızlı moda yavaş moda karşılaştırması (MMS, 2021; Mangır, 2016; Metlioğlu ve Yakın, 2021; Uzun ve Canikli, 2023; Çakır ve Eroğlu, 2023)

Bileşenler	Hızlı moda	Yavaş moda
Kaynak kullanımı ve atık yönetimi	Daha fazla kaynak kullanımı, su ve enerjinin aşırı tüketimiyle daha fazla atık üretilmektedir.	Dikkatli kaynak kullanımı ve atık kontrolünü teşvik etmektedir.
Adil işçilik ve toplumsal sorumluluk	Düşük maliyetli işçilik, işçi haklarının ve adil çalışma koşullarının ihlaline yol açabilmektedir.	Etik ve adil üretim uygulamalarını teşvik etmekte ve toplumsal sorumluluğa vurgu yapmaktadır.
Çevre dostu malzemeler	Trendler yönünde çevre dostu malzeme kullanımı yaygınlaşabilmektedir.	Organik pamuk, geri dönüştürülmüş malzeme gibi sürdürülebilir malzeme kullanımını teşvik etmektedir.
Ürün kalitesi, dayanıklılık	Genellikle düşük kalite ve kısa ömürlü ürünler sunmaktadır.	Daha uzun ömürlü ve yüksek kaliteli ürünler sunmaktadır.
Tüketici davranışları	Tüketicieye sürekli olarak yeni ürünler sunulurken trendlere yönelik hızlı tüketime yönlendirmektedir.	Tüketicinin kaynak kullanımı, üretim süreci ve etik konularında şeffaf bilgi sahibi olmasını sağlayarak tüketimi azaltmayı desteklemektedir.

Moda trendine tepki	Hızlı değişen sezon trendlerine hızla uyum sağlamaktadır.	Zamansız ve klasik tasarımlar sunmaktadır.
Fiyatlandırma	Genellikle daha düşük fiyatlarla ürün sunmaktadır.	Genellikle daha yüksek fiyatlarla ilişkilendirilmektedir.

2.2 Sessiz Lüks Moda

Sürdürülebilirlik ve lüks moda kavramlarının birleşimi, kaliteli ve uzun ömürlü ürünlerin, tekrar üretilmeye ihtiyaç duyulmadan sürdürülebilir bir biçimde sunulduğu bir noktada entegre edilmektedir (Beymen, 2024). Bu durum sessiz lüks moda kavramını ortaya çıkarmaktadır. Son zamanlarda sürdürülebilirlik odaklı üreticiler ve tüketiciler için bu akım dikkat çekici bir seçenektir. Bu akım; sade, kaliteli ve dayanıklı ürünleri vurgularken aynı zamanda fazla tüketim ve atık oluşturan hızlı moda akımına bir alternatif sunmaktadır. Sessiz lüks modanın, sürdürülebilirlik ilke ve uygulamaları ile uyumlu bir yaklaşımı benimseyebileceği düşünülmektedir. Sessiz lüks modanın temel prensiplerinden biri ürünlerin yüksek kalitede ve dayanıklı olarak üretilmesidir. Sessiz lüks modanın minimalist yaklaşımı, karmaşık desenler ve aşırı süslemeler yerine sade tasarımları vurgulamaktadır. Bu, tüketicilere uzun ömürlü ürünler sunmakta ve dolayısıyla giysi değiştirme sıklığını azaltarak tüketimi azaltmayı teşvik etmektedir. Bu durum da atık yönetimini sürdürülebilirlik alanında desteklemektedir. Sessiz lüks markalar, çevre dostu malzemeler kullanmayı tercih ederek sürdürülebilirliği destekleyici yaklaşım sunmaktadırlar. Sessiz lüks markalar, üretim süreçlerinde şeffaflık ilkesiyle hareket ederek, üretim süreçleri hakkında tüketicilerinin bilgilendirilmesini sağlayarak sürdürülebilirlik sunmaktadırlar (Okşar, 2021).



Şekil 1. Stella McCartney'nin mantar kök sisteminden geliştirilen Mylo isimli vegan deri ürün örnekleri (a; Starostinetskaya, 2021) (b; Stella McCartney, 2024)

Sessiz lüks moda tarzını benimseyen hazır giyim markaları, genellikle ürünlerinde karmaşık desenlerden, gösterişli logolardan ve fazla detaylardan kaçınmaktadırlar. COS, The Row, Everlane, Acne Studios, A.P.C., Margiela, Lemaire, Jil Sander, Joseph Duclose, MAS gibi markalar ürünlerinde sadelik ve kaliteyi vurgulayarak şıklık ve zarafeti ön plana çıkaran yaklaşım sunmaktadırlar (Görgülü, 2023;  nl , 2023).

Sessiz lüks moda alanında gerçekleşen yenilikler, geri dönüştürülmüş ve  evre dostu hammaddeler kullanılarak tasarlanan ürünlerin yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Giysi  retiminde yaygın olan kumaş türleri, atık üretimini ve çevresel sorunlar sürdürülebilir alternatifler arayışına neden olmaktadır. Bu bağlamda, organik kaynaklardan, örneğin deniz yosunları, okaliptüs ağaçları,

meyveler veya geri dönüştürülmüş malzemelerden sürdürülebilir kumaşlar geliştirilmektedir. Stella McCartney ve Bolt Threads iş birliğiyle geliştirilen ve Mylo adı verilen mantar bazlı bitkisel malzeme, ürün tasarımlarında vegan deri olarak kullanılmaktadır (Şekil 1). Yakın gelecekte daha fazla kabul görmesi beklenen, laboratuvar ortamında üretilen ve geleneksel yöntemlere göre çok daha az su tüketen yapay pamuk üretimi de başlamıştır. Bu yenilikler, lüks moda markalarının çevre dostu ve sürdürülebilir malzemeler kullanmasını teşvik etmektedir (Starostinetskaya, 2021; Beymen, 2024).

3. HAZIR GİYİM TÜKETİMİ ALANINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilir tüketim, hızlı tüketim yerine sunulan bir alternatif vizyondur. Tüketicilerin istek ve ihtiyaçlarının değişimine paralel olarak sürdürülebilir tüketim kavramı da şekil değiştirmektedir. Sürdürülebilir tüketim seçeneklerinden ilki tüketimden olduğunca kaçınmak iken, diğerleri, mevcut tüketim alışkanlıklarını sürdürülebilir bir şekilde dönüştürme ve tüketimi en aza indirme olarak ele alınmaktadır (Okşar, 2021).

Tüketici ve tüketim yönünden hazır giyim sektöründeki sürdürülebilirlik yaklaşımının yaşam içindeki uygulanabilirliği ikinci el giysi satın alma ve giysi kiralama faaliyetleriyle uygulanabilmektedir. Günümüzde bu uygulamalar sektörde sürdürülebilirlik yaklaşımının yeniden kullanma bileşenini oluşturmaktadır. Giysilerin kullanım süresini artırmak için pratik ve etkili yöntemlerden biri yeniden kullanımı teşvik etmektir (Necef vd., 2020). Sanat, siyaset, spor gibi farklı alanlarda öne çıkan rol modellerin benimsemiş olduğu, küresel platformlarda giysileri yeniden kullanma davranışı sürdürülebilir tüketim yaklaşımını vurgulayarak, ürünü yeniden kullanmaya yönelik tüketiciyi teşvik etmektedir. Bu teşvik tüketiciler arasında farkındalık yaratma konusunda etkili olmaktadır.

Stok, kalite ve hijyen yönlerinden ikinci el giysi alımı ve giysi kiralamanın dezavantajları olsa da bu uygulamalar hazır giyim sektörüne yönelik sürdürülebilir tüketim döngüsü adımları olarak tüketim davranışları arasında yerini almaktadır.

3.1 İkinci El Giysi Satın Almanın Sürdürülebilirliğe Katkısı

Modanın yenilikçilik özelliği ve sürdürülebilirlik bileşenlerine bütüncül bir perspektifle yaklaşıldığında, bu iki kavram arasında zıtlık görülebilmektedir. Ancak  evresel duyarlılık, ikinci el giysi satın alımını teşvik eden en etkili faktörlerden biridir. İkinci el giysi alışverişi, hazır giyim sektöründeki sürdürülebilirlik çabalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır (İşçioğlu ve Yurdakul,2018; Hançer, 2021). Fiziksel mağaza ve online platformlardaki ikinci el mağazalar, online ikinci el giysi pazarları gibi uygulama biçimleri tüketicilere geniş bir seçenek sunmaktadır. Kullanıcılar kendi giysilerini satabilir veya satın alabilirler.  r n tüketim döngüsü yönünden ikinci el giysi alımı, giysilerin ömrünü uzatır ve bu, giyim atığının azalmasını desteklemektedir. İkinci el giysi alımı, doğal kaynakların ve enerjinin daha verimli tüketilmesine katkı sağlamaktadır. Bütçe dostu seçenek olarak da ikinci el giysi alımı tüketicilere ekonomik bir avantaj sunmaktadır. Yeni kıyafetler yerine ikinci el kıyafetler satın almak ve giymek, CO₂ emisyonlarını ortalama %25 oranında azaltmaktadır (ThredUp, 2023).

İkinci el giysi alımı, sürdürülebilir giyim alışkanlıklarını benimsemeye yönelik bir bilinç oluşturabilmektedir. 2030 yılına gelindiğinde, ikinci el giysi platformu kullanıcı sayısının 118 milyon 800 bin kişi aşarak ikinci el giysi pazarının 77 milyar doları aşması beklenmektedir. Bu büyüme hızının, hazır giyim sektöründeki yeni ürün üretiminin büyüme hızından 11 kat daha fazla gerçekleşeceği öngörülmektedir. Türkiye’de de kurumsal ikinci el giysi satışına yönelik girişimlerin 2025 yılına kadar 100 milyon dolarlık bir hacme hızla ulaşması beklenmektedir. Bu pazar çeşitli büyüklükteki yatırımcılar arasında ilgi görmektedir. Lüks moda markaları,  rneğin Gucci ve Prada, müşteriye doğrudan e-ticaret ve mobil ticaret uygulamalarına başlamıştır. H&M, web sitesinde “ nceden Sevilen” adlı bir bölümde ikinci el giysilerin yanı sıra Asos, Nike ve Zara gibi markaların ürünlerini satışa sunmaktadır. Benzer şekilde, Decathlon kullanılmış kar botlarını müşterilerinden toplayıp satışa sunmakta, Lc Waikiki ise ikinci el ürünlerin bulunduğu bir web sayfasını test aşamasında yayınlamaktadır (Türkdemir, 2022).

Dünya genelinde ve Türkiye’de, ikinci el giysi satın alımını sağlayan birçok online platform faaliyet göstermektedir. Bu platformlar aracılığıyla temin edilen ikinci el giysiler, daha önce kullanılmış, hiç giyilmemiş veya etiketi üzerinde bulunan kullanılmamış ürünleri içerebilmektedir. Küresel pazarda ikinci el giysilerin satıldığı; Vestiaire Collective, Swap, The Real Real, Oxfam, Tradesy,

Refashioner, Grailed, Poshmark ThredUP, Asos Marketplace, SnobSwap, Vinted, Depop, Craigslist, Idle Fish ve Etsy gibi siteler veya toptan teklifler sunan Merkandi Wholesale gibi çeşitli e-ticaret siteleri bulunmaktadır. Türkiye’de ise Gardrops, ModaCruz, Dolap, Zebamo ve tarz2.com gibi çeşitli platformlar mevcuttur (Türkdemir, 2022).

3.2 Giysi Kiralamanın Sürdürülebilirliğe Katkısı

Hazır giyim sektörü ve moda sektörü, her geçen gün paylaşım ekonomisi içinde daha fazla alan kazanmaktadır. Giysi kiralama, sürdürülebilir giyim alışkanlıkları ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir rol oynamaktadır. Business of Fashion ve McKinsey & Company’nin Modanın Durumu (The State of Fashion, 2019) raporu, değişen tüketici taleplerini analiz ederek, giysi kiralama modelini geleceğin en önemli on trendlerinden biri olarak öne çıkarmaktadır (Narin ve Çeğindir, 2022). Özel giysi kiralama servisleri, abonelik tabanlı kiralama platformları ve giysi değişim platformları gibi uygulama biçimleri tüketicilere geniş bir seçenek sunmaktadır. Giysi kiralama, tek kullanımlık giysi satın alımının önüne geçerek, giyim atığının azaltılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Tüketicilere bütçe dostu bir seçenek sunan bu uygulama yeni giysi üretimine olan ihtiyacı azaltarak, doğal kaynakların ve enerjinin daha az tüketilmesine yardımcı olmaktadır.

Son yıllarda, sürdürülebilir hazır giyim bakımından tüketicilerin giysi kiralama uygulamalarını tercih etmeleri artan bir etkiye sahiptir. Ancak bu konunun çevresel etki üzerindeki belirsizliği tartışmaların konusu olmaktadır. 2021 yılında Finlandiya’da yayınlanan bir rapor giysi kiralama konusundaki çevresel etkileri değerlendirmiştir. Raporda giysi kiralama işlemi sırasındaki giysi taşıma ve temizleme süreçlerinin çevresel etkilerinin belirlemesini konusunda eksiklik olduğunu ve sonuçların bu bağlamda sorgulanması gerektiğini vurgulamıştır. Diğer bir taraftan, giysi kiralama hizmeti sunan şirketler, bu yaklaşımın yeni giysi satın almaktan daha sürdürülebilir bir seçenek sunduğunu belirtmektedir. Rent The Runway, Green Story ve SgT iş birliğiyle yürütülen araştırmalar, son 10 yılda giysi kiralamanın 1,3 milyon yeni giysinin üretilmesinden kaynaklanan tasarrufları ortaya koymakta ve bu süreçte önemli ölçüde su, enerji ve karbon salınımı tasarrufu sağlandığını göstermektedir. Bu durum, 10 yılda 67 milyon galondan fazla su, 98,6 milyon kWh enerji ve 44,2 milyon pound CO₂ salınımı

tasarrufu olarak ifade edilmektedir. Bu veriler, kiralama süreçlerinin optimize edilmesi, tüketicilerin bilinçli bir şekilde kiralama yapmaları ve sürdürülebilir moda nın daha geniş bir kitleye yayılması açısından önem arz etmektedir (Chan ve Dinçsoy, 2021).

Giysi kiralama uygulaması Avrupa, Uzak Doğu ve Amerika bölgelerinde büyük bir ilgi görmektedir. Giysi kiralama alanında faaliyet gösteren dünya genelinde ve Türkiye’de birçok online platform bulunmaktadır. Dünya çapında moda kiralamada lider olan Rent the Runway, HURR Collective, MyWardrobeHQ, Le Tote, RagFair, FTF Closet by Fashion to Figure, Nuuly, Mine for Nine, Fjong; Türkiye’de ModaCruz Kira, KiralaGiy, MyRentalDress, Davet  ok Elbisem Yok, Elbise Kirala, Chartersbaks Kiralık Elbisem gibi online platformlar bulunmaktadır (Narin ve  e indir, 2022).

3.3 Rol Modellerin Sürdürülebilir Tüketime Katkısı

Sürdürülebilirlik, toplumdaki sanatçılar, politikacılar ve diğer figürler tarafından farklı zamanlarda dile getirilen bir vurgu ile, tüketicilere sahip oldukları ürünleri tekrar kullanmanın iyi bir tercih olduğunu işaret etmektedir. Sürdürülebilir yaşam tarzını desteklemek amacıyla toplumdaki etkili kişiler, bu öneme dikkat çekmektedir. Bu vurgulama, çeşitli ödül törenleri, film galaları, açılış törenleri ve kutlamalar gibi ortamlarda rol modellerin giysi tercihleri ile gösterilmektedir.

 ngiliz kraliyet ailesinin bazı isimlerinin günlük organizasyondan balo ve resmi davetlere kadar giysi tercihlerini belirli aralıkla tekrar kullanımı gözlenmektedir. Galler Prensesi Catherine, giysilerini, farklı aksesuar ve makyaj ile tekrarlı kombinler şeklinde farklı etkinliklerde kullanmaktadır. Bu tutum, küresel ısınma ve iklim krizi mücadelesi yönünden giysi atı ı ve tüketimin sınırlandırılması yaklaşımıyla toplumda rol oynamaktadır. Giyim tarzını, durmuş bir saat gibi olarak tanımlayan  ngiltere kralı III. Charles, sürdürülebilir moda dünyasına önemli bir katkıda bulunmak amacıyla YOOX Net-A-Porter ile i  birliği yaparak The Modern Artisan isimli özel bir koleksiyonu 2020 yılında piyasaya çıkarmıştır.



Şekil 2. a) Prensesin farklı yıllardaki aynı giysi tercihi örneği b) III. Charles'ın iş birliğiyle The Modern Artisan koleksiyonu (Akçura, 2021a; 2021b)

(Şekil 2). Kaşmir, yün ve organik ipek gibi doğal lifler, koleksiyonun temelini oluştururken dayanıklılığı ve uzun ömürlü kullanımı vurgulayan tasarımlar hızlı moda karşı olarak tasarlanmıştır. Üretim sürecinde ise kumaşlardan arta kalan atıklar okul projeleri gibi sosyal sorumluluk projelerinde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Bu koleksiyon, sürdürülebilir moda konusunda önemli bir rol örneği temsil etmektedir ve bu alandaki ilerlemeyi yansıtmaktadır (Akçura, 2021a; 2021b).



Şekil 3. Sanatçıların sürdürülebilir giysi örnekleri; a) Jane Fonda b) Laura Dern c) Cate Blanchett d) Saoirse Ronan e) Emma Watson (Akçura, 2021b; Navab, 2023)

Oscar  d l töreni, Cannes film festivali gibi uluslararası sanat platformlarındaki sanatçıların giysi tercihi davranışları sürdürülebilirlik kavramı açısından toplumda rol oynamaktadır. Bu yaklaşımla 2014 ve 2021 yıllarında gerçekleşen ödül törenlerinde aynı elbiseyi giyen Jane Fonda, 2020 yılında katıldığı iki farklı ödül töreninde elbisesini ileri dönüşüm ile farklı şekilde tekrar kullanan Saoirse Ronan, 1995 ve 2013 yıllarında aynı elbiseyi giyen Laura Dern (Akçura, 2021b), 2015 ve 2023 yılları arasında farklı giysileri farklı organizasyonlarda giyen Cate Blanchett (Navab, 2023) sürdürülebilirlik alanında dikkat çeken isimler arasında yer almaktadır. 2016 yılında tamamı sürdürülebilir malzeme ve kumaşlardan üretilmiş bir kıyafet giyen Emma Watson sürdürülebilir bakış açısını destekleyen bir yaklaşımla sergilemiştir (Akçura, 2021b) (şekil 3).

SONUÇ

21. yüzyılda, sürdürülebilirlik, çok sayıda disiplini içeren ve disiplinler arası çalışmayı gerektiren bir kavram haline gelmektedir. Bu kavram, sanayi ve toplum boyutunda gün geçtikçe daha çok tartışılmakta ve önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirlik artık bir geçici trend olmanın ötesine geçerek gele eğin kendisi haline gelmektedir. Sürdürülebilirlik hedefleri, küresel düzeyde toplumların gündeminde yer almakta ve sürdürülebilirlik kavramı giderek daha fazla vurgulanmaktadır.

Hazır giyim sektöründe sürdürülebilir üretim ve tüketim, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları içeren önemli bir konudur. Hazır giyim sektöründe sürdürülebilir üretim, uluslararası ve Türk hazır giyim markaları tarafından çeşitli stratejilerle benimsenmektedir. Üretim süreçlerini düzenleme,  evre dostu malzeme kullanma, geri dönüşen malzemeleri kullanarak ürün üretme gibi işlemler, sürdürülebilir faaliyetler zinciri olarak öne çıkmaktadır. Dijital teknoloji gelişiminin hazır giyim üretimine yansımaları olan dijital numuneler, hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlik çabalarına önemli katkı sağlamaktadır. Tasarım ve üretim süreçlerinde dijital numune faaliyetlerinin kullanımı, fiziksel numunelerin oluşturulmasında kullanılan kaynakları azaltarak ve atık oluşumunu minimize ederek sürdürülebilirlik potansiyeli sunmaktadır. Hazır giyim sektöründeki hızlı üretim sürdürülebilir moda etkisi ile de değişime uğramaktadır. Moda sektörünün sürdürülebilir yaklaşımla yavaş moda ve sessiz lüks moda kavramları üretimi ve tüketimi daha sınırlı hale getirerek üretim çeşitliliğini azaltmakta, ürün kalitesini

olumlu yönde etkilemekte, giysi değiştirme sıklığını azaltarak tüketimi azaltmayı teşvik etmektedir; böylece kaynak kullanımı ve atık yönetimini açısından sürdürülebilirliği desteklemektedir. Hazır giyim sektöründeki sürdürülebilirlik anlayışı, tüketici ve tüketim açısından ikinci el giysi satın alma ve giysi kiralama faaliyetlerini içererek, yeniden kullanma unsurlarını vurgulayan etkili ve pratik yöntemlerle şekillenmektedir. Ürün tüketim döngüsü perspektifinden bakıldığında, ikinci el giysi satın alma ve giysi kiralama, giysilerin kullanım süresini artırarak giyim atığının azalmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, hazır giyim üretimi ve hazır giyim tüketimi alanlarında hammaddelerin verimli kullanımı, geri dönüşüm uygulamaları, moda anlayışının farklılaşması, ürünlerin yeniden kullanım potansiyelinin geliştirilmesi gibi çalışmalar, kaynakların daha etkili kullanılmasını ve çevre dostu uygulamaların benimsenmesini teşvik etmektedir. Tüketicilerin farkındalık düzeyinin artması ve markaların sürdürülebilirlik konusundaki çabaları, sektörün gelecekte daha sürdürülebilir bir yöne ilerlemesini desteklemektedir. Hazır giyim sektörünün ekolojik, ekonomik ve etik bileşenleri arasındaki zincirin devamlılığı sürdürülebilir üretim ve sürdürülebilir tüketim uygulamaları ile olumlu değişikliklere katkıda bulunmaktadır ve bu süreç güçlenmeye devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçura, L. (2021a). *Kraliyet aileleri ve sürdürülebilir moda*, <https://www.plumemag.com/kraliyet-aileleri-ve-surdurulebilir-moda/> (Erişim Tarihi: 5 Ocak 2023).
- Akçura, L. (2021b). *Dikkat çeken sürdürülebilir kırmızı halı kombinleri*, <https://www.plumemag.com/dikkat-ceken-surdurulebilir-kirmizi-hali-kombinleri/#:~:text=K%C4%B1rm%C4%B1z%C4%B1%20hal%C4%B1da%20s%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir%20olman%C4%B1n%20bir%C3%A7ok,yaratmak%20gibi%20%C3%A7e%C5%9Fitli%20yollara%20ba%C5%9Fvurulabilir> (Erişim Tarihi: 5 Ocak 2023).
- Akkaya, D. (2020). *Burberry'nin sürdürülebilirlik adımı*, <https://www.elle.com.tr/moda/moda-haberleri/burberrynin-surdurulebilirlik-adimi> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Alpat, F. E. (2011). *Yavaş moda nedir. Akdeniz Sanat*, 4(8).

- Akdeniz, P. C., & Dursun, Y. (2022). *Sürdürülebilir tüketim motivasyonunda sürdürülebilir moda kavramının etkisi*. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(1), 79-110.
- Angeles, R. (2013). *Understanding Nike's "Considered Index" green initiative using the technology-organization-environment framework*. *CONF-IRM 2013 Proceedings*. 53.
- Ateş, T., Asma, A., & S el, B. (2020). *Sürdürülebilir moda üretiminde tasarımcının rolü*. *İstanbul Aydın Üniversitesi G zel Sanatlar Fakültesi Dergisi*, 12(6), 99-111.
- Aydın, M.  ., & Topan, E. S. (2019). *Sürdürülebilir moda anlayışı ile recycle kuma lar üzerine ürün geli tirme*. *The Journal of Social Sciences*, 36(36), 267-276.
- Beymen. (2024). *D nyaya s z m z var*, https://www.beymen.com/beymen-promise-c-2367?utm_source=plumemag&utm_medium=beymen_promise_native&utm_campaign=kasim_2023 (Erişim Tarihi: 13 Mart 2024).
- Cascale. (2023), *Our members*, <https://apparelcoalition.org/manufacturers/> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Chan, E. & Dinçsoy, D. (2021). *Giysilerinizi kiralamak gerçekten daha sürdürülebilir mi*, <https://vogue.com.tr/sosyal-etki/giysilerinizi-kiralamak-gercekten-daha-surdurulebilir-mi> (Erişim Tarihi: 5 Ocak 2023).
-  akır, H., & Eroglu, N. S. (2023). *Tekstil ve hazır giyim markalarına ait seçilen bazı ürünlerin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi*. *Turkish Journal of Fashion Design and Management*, 5(2), 47-66.
- Deniz, S. (2023). *Walmart tedarik zinciri*, https://www.academia.edu/9550262/Walmart_Tedarik_Zinciri (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Elle. (2021). *H&M Group 2020 sürdürülebilirlik raporunu açıkladı*, <https://www.elle.com.tr/extra/radarimizda/hm-group-2020-surdurulebilirlik-raporunu-acikladi> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Gedik, Y. (2020). *Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma*. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
- Görgülü, D. (2023). *Logolara elveda moda dünyasının yükselen trendi sessiz lüks kavramı nedir*, <https://listelist.com/sessiz-luks-nedir/> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Hançer, E. T. (2021). *Tekstil ve hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlik: Geri kazanılmış iplik tedarikçisi seçimi üzerine bir uygulama*, *Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer*

Halisdemir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- İşçioğlu, T. E., & Yurdakul, D. (2018). *İkinci el giyim motivasyonları ve sürdürülebilirlik üzerine keşifsel bir araştırma. Pazarlama Teorisi ve Uygulamaları Dergisi*, 4 (2), 253-280.
- Kıgılı. (2024). *Tomorrow ecoline*, <https://corporate.kigili.com/tomorrow> (Erişim Tarihi: 13 Mart 2024).
- Koca, E., Öz, C. & Artaç, B. Y. (2016). *Hazır giyim sektöründe sürdürülebilirliğin yöneticiler açısından değerlendirilmesi. Tekstil ve Mühendis*, 23(103), 220-230.
- Koton. (2023). *Yaşama Saygı manifestomuz*, <https://www.koton.com/yasama-saygi-manifestosu> (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2023).
- Lc Waikiki. (2023). *LCW Green*, <https://www.lcwaikiki.com/tr-TR/TR/lp/lcw-surdurulebilirlik-21> (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2023).
- Levi's. (2019). *How Levi's is saving water*, <https://www.levistrauss.com/2019/03/25/world-water-day-2019-saving-h2o/> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Mangır, A. F. (2016). *Sürdürülebilir kalkınma için yavaş ve hızlı moda. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 19(41. yıl özel sayısı), 143-154.
- Mangır, A. F. (2023). *Döngüsel ekonomi özelinde tekstil ve hazır giyim sektöründe sürdürülebilirliğin temel belirleyicileri: Dünya ve Türkiye örnekleri. Third Sector Social Economic Review*, 58(3), 2323-2339.
- Mavi. (2024a). *Sürdürülebilirlik hedefleri*, <https://www.mavi.com/sustainability/highlights.html> (Erişim Tarihi: 13 Mart 2024).
- Mavi. (2024b). *Mavi'nin sürdürülebilirlik yolculuğu*, <https://www.mavi.com/sustainability/index.html> (Erişim Tarihi: 13 Mart 2024).
- Metlioğlu, H. H., & Yakın, V. (2021). *Tekstilde sürdürülebilirlik: Hızlı moda markalarının sürdürülebilirlik stratejileri. OPUS International Journal of Society Researches*, 18 (Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı), 1883-1908.
- Metlioğlu, H. H., & Yılmaz, H. (2021). *Covid-19 sürecinde moda tasarımında sürdürülebilirlik yaklaşımları. İdil*, 88 (2021 Aralık): s. 1747-1757.
- MMS (Minimalism Made Simple). (2021). *Ten key problems with fast fashion*, <https://www.minimalismmadesimple.com/home/fast-fashion-problems/> (Erişim tarihi: 5 Ocak 2023)
- Mudo. (2023). *Daha iyi bir gelecek için sorumlu üretim*, <https://www.mudo.com.tr/surdurulebilirlik> (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2023)

- Narin, S., & eindir, N. (2022). *Tüketicilerin giysi kiralama modeline bakış açıları. Akademik Sanat, (16), 1-15.*
- Navab, A. (2023). *Twice as nice: 7 times Cate Blanchett recycled red carpet outfits – from Alexander McQueen at T r awards nights to her Armani and Versace mash-up, the Oscar winner walks the talk on sustainability,* <https://www.scmp.com/magazines/style/celebrity/article/3212952/twice-nice-7-times-cate-blanchett-recycled-red-carpet-outfits-alexander-mcqueen-tar-awards-nights> (Erişim Tarihi: 6 kasım 2023)
- Necef,  . K., Tama, D., & Serkan, B. O. Z. (2020). *Moda endüstrisinde uygulanan sürdürülebilirlik stratejilerine  rnekler. Turkish Journal of Fashion Design and Management, 2(2), 67-78.*
- Network. (2023). *N-Green,* <https://www.network.com.tr/content/n-green> (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2023).
- Nivogo, (2023). *2021 sürdürülebilir moda trendleri,* <https://nivogo.com/2021-surdurulebilir-moda-trendleri/> (Erişim tarihi: 5 Kasım 2023)
- Okşar, G. (2021). *Sürdürülebilir tüketim davranış ve teknoloji kabul modeli: Letgo ve Dolap uygulamaları  rneği. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.*
-  zg n, C., & Ayvaz, K.M. (2017). *Tekstil ve modada sürdürülebilirlik. Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi, 3(1), 110-119.*
- Özkum, E.  ., & üreyen, M. (2020). *Dijital giysi tasarımı yazılımları ve kadın giyiminde kullanım olanakları. Uluslararası Disiplinlerarası ve Kültürlerarası Sanat, 5(11), 29-49.*
- Penti. (2023). *Sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek istiyoruz,* <https://www.penti.com/tr/surdurulebilirlik> (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2023).
- SDG. (2023). *Stella McCartney, karma tekstil geri dönüşüm girişimine öncülük ediyor,* <https://sdgmapturkey.com/haber/stella-mccartney-karma-tekstil-geri-donusum-girisimine-onculuk-ediyor/> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Starostinetskaya, A. (2021). *Stella McCartney unveils world's first vegan mushroom leather pants,* <https://vegnews.com/2021/3/stella-mccartney-vegan-mushroom-leather-pants> (Erişim tarihi: 13 Mart 2024)
- Stella McCartney. (2024). *Frayme mylo shoulder bag,* <https://www.stellamccartney.com/gb/en/women/frayme-bag/frayme-mylo%E2%84%A2%E2%8F-B8%8F-shoulder-bag-7B0047WP01731000.html> (Erişim Tarihi: 13 Mart 2024).

- Tatman, D., Soydan, A. S., & Gümüş, B. (2022). *Konfeksiyonda dijital numune ile fiziksel numune üretim süreçlerinin verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılması. Verimlilik Dergisi*, 156-171.
- The North Face. (2023). *Sürdürülebilirlik, The North Face*, <https://www.thenorthface.com.tr/surdurulebilirlik> (Erişim tarihi: 5 Kasım 2023)
- ThredUp, (2023). *At ThredUp, we believe in a sustainable fashion future*, <https://www.thredup.com/about> (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2023).
- Tiber, B., & Yücel, S. (2018). *Hazır giyim endüstrisinde çalışan tasarımcıların sürdürülebilir moda'ya yönelik yaklaşımları. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60), 955-971.
- Türkdemir, P. (2019). *Faydacılıktan hazcılığa: Sürdürülebilir giysi tüketim davranışı. Beykoz Akademi Dergisi*, 7(2), 17-30.
- Türkdemir, P. (2022). *Sürdürülebilirlik bağlamında döngüsel moda: İkinci el giysi satın alma niyetinin tüketim değerleri perspektifinden incelenmesi. Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(2), 106-120.
- Uzun, B., & Canikli, S. (2023). *Stil ve sorumluluğun buluşması: Moda, sürdürülebilir kalkınma ve finans. Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 45(2), 122-140.
- Ünlü, A. (2023). *Moda dünyasının yükselen trendi: Sessiz lüks*, <https://www.ekonomim.com/hafta/moda-dunyasinin-yukselen-trendi-sessiz-luks-haberi-693666> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Vogue. (2020). *Sürdürülebilir modanın doğa dostu markaları*, <https://vogue.com.tr/trend/surdurulebilir-modanın-doga-dostu-markalari?p=7> (Erişim Tarihi: 5 Kasım 2023).
- Yücel, S., & Tiber, B. (2018). *Hazır giyim endüstrisinde sürdürülebilir moda. Tekstil ve Mühendis*, 25(112), 370-380.

3. BÖLÜM

KANSERİN GENOMİK ve SİSTEMATİK YAKLAŞIMLARLA İNCELENMESİ

Arş. Gör. Dr. Muhammet ÇELİK

Kafkas Üniversitesi

Biyoloji Bölümü

muhammet.celik@kafkas.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-0624-2556>

GİRİŞ

Kanser, vücuttaki hücrelerin kontrolsüz bir şekilde çoğalmasıyla karakterize edilen ve çeşitli formlarda ortaya çıkabilen bir hastalıktır. Kanserın temel mekanizması, genetik mutasyonlar ve çevresel etmenlerin etkileşimiyle başlar. Bu mutasyonlar, hücre döngüsünü düzenleyen genlerde meydana gelir ve hücrelerin normal büyüme ve bölünme süreçlerini bozarak anormal çoğalmalarına neden olur (Babaç ve ark., 2023; Koca ve ark., 2022).

Kanserın birçok türü bulunmaktadır; bunlar arasında meme kanseri, prostat kanseri, akciğer kanseri ve kolorektal kanser gibi yaygın türler yer alır. Kanserın tedavi süreci, hastanın genel sağlık durumu, kanserin evresi ve türü gibi birçok faktöre bağlıdır. Tedavi yöntemleri genellikle multidisipliner bir yaklaşım gerektirir ve cerrahi müdahale, kemoterapi, radyoterapi ve immün terapiler gibi çeşitli yöntemleri içerebilir. Örneğin, kemoterapi, kanser hücrelerini hedef alarak onların büyümesini durdurmayı amaçlayan bir tedavi yöntemidir, ancak bu süreçte sağlıklı hücrelere de zarar verebilir (Körükçü ve ark., 2017). Kanser

tedavisinin bir diğer önemli yönü de hastaların yaşam kalitesini artırmaktır. Kanser hastaları, tedavi sürecinde fiziksel, psikolojik ve sosyal sorunlarla karşılaşabilirler. Bu nedenle, palyatif bakım ve destekleyici tedavi yöntemleri, hastaların yaşam kalitesini artırmak için büyük önem taşır (Güçlüel, 2023).

Kanserin önlenmesi de önemli bir araştırma alanıdır. Sağlıklı yaşam tarzı seçimleri, düzenli egzersiz, dengeli beslenme ve sigara ile alkol kullanımının azaltılması gibi önlemler, kanser riskini azaltmada etkili olabilir (Şeref & Akbulut, 2023; Yılmaz & Özer, 2022). Bunun yanı sıra, erken teşhis yöntemleri de kanserin başarılı bir şekilde tedavi edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Erken teşhis, hastalığın daha erken evrelerinde müdahale edilmesine olanak tanır ve bu da tedavi başarısını artırır (Çakmak & Nural, 2018).

1. KANSER OLUŞUMU

Kanser oluşumu, karmaşık bir biyolojik süreçtir ve genellikle genetik, çevresel ve yaşam tarzı faktörlerinin etkileşimi sonucunda gerçekleşir. Kanser gelişiminde birçok mekanizma rol oynamaktadır. Bu mekanizmalar arasında genetik mutasyonlar, hücresel stres, inflamasyon ve immün yanıt gibi faktörler bulunmaktadır. Bu yazıda, kanser oluşumunu etkileyen temel faktörler ve mekanizmalar detaylandırılacaktır.

1.1. Genetik Mutasyonlar

Kanserin temelinde genetik mutasyonlar yatmaktadır. Genetik mutasyonlar, DNA'daki kalıtsal değişikliklerdir ve bu değişiklikler, hücrelerin normal büyüme ve bölünme süreçlerini etkileyebilir. Özellikle proto-onkogenlerin aktivasyonu ve tümör baskılayıcı genlerin inaktivasyonu, kanserin gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Gürler, 2014). Örneğin, p53 gibi tümör baskılayıcı genlerin kaybı, hücre döngüsünün kontrolsüz bir şekilde ilerlemesine neden olabilir (Hassani ve ark., 2022).

1.2. Metabolizma ve Çevresel Faktörler

Hormonlar, kanser gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin,

östrojenin meme kanseri üzerindeki etkisi iyi bilinmektedir. Obezite ve insülin direnci gibi metabolik durumlar da kanser riskini artırabilir. D vitamini gibi bazı hormonların, kanser gelişimini önleyici etkileri olduğu gösterilmiştir (Aksu & Sarıyer, 2020). Ayrıca, beslenme alışkanlıkları ve diyet bileşenleri de kanser oluşumunu etkileyebilir (Atabilen & Akbulut, 2019).

Çevresel etmenler, kanser oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Kimyasal maddeler, radyasyon ve enfeksiyonlar gibi çevresel faktörler, hücrelerde genetik değişikliklere yol açabilir. Örneğin, aflatoksin gibi kanserojen maddeler, belirli kanser türlerinin gelişiminde etkili olabilir (Özbay ve ark., 2019)

1.3. Epigenetik Değişiklikler

Epigenetik değişiklikler, genlerin ifade edilme biçimini etkileyen kalıtsal değişikliklerdir ve kanser gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. DNA metilasyonu ve histon modifikasyonları gibi epigenetik mekanizmalar, kanser hücrelerinin özelliklerini değiştirebilir (Pehlivanoglu ve ark., 2019). Bu değişiklikler, hücrelerin kanserleşmesine ve tümör oluşumuna katkıda bulunabilir.

2. KANSER TÜRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Kanser türleri, hücre kökenine göre çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bu sınıflandırma, kanserin hangi hücre tipinden kaynaklandığını ve hangi dokularda geliştiğini belirlemek için önemlidir. Genel olarak kanser türleri, epitel hücrelerinden (karsinomlar), bağ dokusu hücrelerinden (sarkomlar), kan hücrelerinden (hematolojik kanserler) ve sinir hücrelerinden (nöroblastomlar) kaynaklanan kanserler olarak dört ana gruba ayrılmaktadır (Roy ve ark., 2017).

Karsinomlar, epitel hücrelerinden kaynaklanan en yaygın kanser türleridir. Bu tür kanserler, vücudun iç ve dış yüzeylerini kaplayan hücrelerden oluşur. Örneğin, meme kanseri, akciğer kanseri, prostat kanseri ve kolon kanseri bu grupta yer alır

Sarkomlar, bağ dokusu hücrelerinden kaynaklanan kanserlerdir ve genellikle kas, yağ, kemik veya kıkırdak dokularında gelişir. Bu tür kanserler, karsinomlara göre daha nadir görülmektedir. Örneğin, osteosarkom ve liposarkom gibi türler

bu grupta yer alır. Sarkomlar, genellikle daha genç bireylerde görülür ve tedavi süreçleri karsinomlara göre farklılık gösterir (Ersoy ve ark., 2014).

Hematolojik kanserler, kan hücrelerinden kaynaklanan kanserlerdir ve genellikle kan, kemik iliği veya lenfatik sistemde gelişir. Bu tür kanserler arasında lösemi, lenfoma ve multipl myelom bulunmaktadır. (Şanlı ve ark., 2018).

Sinir hücrelerinden kaynaklanan kanserler, genellikle nöroblastom ve glioblastom gibi türleri içerir (Visvader, 2011). Bunların yanı sıra, bazı kanser türleri daha az yaygın olan hücrelerden kaynaklanabilir. Örneğin, teratomlar, germ hücrelerinden kaynaklanan tümörlerdir ve genellikle yumurtalık veya testislerde görülür (Tuncer, 2023).

3. KANSER GENOMİĞİ

Kanserin genetik yapısı, hücrelerin nasıl davrandığını, hangi genlerin aktif olduğunu ve hangi genetik mutasyonların hastalığın ilerlemesine katkıda bulunduğunu anlamamıza yardımcı olur. Bu bağlamda, kanser genomu, genetik mutasyonlar, epigenetik değişiklikler ve genetik etkileşimler gibi çeşitli unsurları içermektedir. Genetik mutasyonlar, DNA'daki kalıtsal değişikliklerdir ve hücrelerin normal büyüme ve bölünme süreçlerini etkileyebilir. Özellikle proto-onkogenlerin aktivasyonu ve tümör baskılayıcı genlerin inaktivasyonu, kanserin gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Örneğin, p53 gibi tümör baskılayıcı genlerin kaybı, hücre döngüsünün kontrolsüz bir şekilde ilerlemesine neden olabilir (Çetin & Aktaş, 2023). Kanser genomu, bu mutasyonların tanımlanması ve tedavi süreçlerinde nasıl kullanılabileceği üzerine yoğunlaşmaktadır.

Epigenetik değişiklikler, genlerin ifade edilme biçimini etkileyen kalıtsal değişikliklerdir ve kanser gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. DNA metilasyonu ve histon modifikasyonları gibi epigenetik mekanizmalar, kanser hücrelerinin özelliklerini değiştirebilir. Özellikle, birçok kanserin epigenetik modifikasyonlardan kaynaklandığı saptanmıştır. Bu durum, kanserin erken teşhisi, gelişim takibi ve epigenetik ilaçlar üzerine çalışmalara zemin hazırlamaktadır (İnan, 2021).

Kanser genomu, genetik anormalliklere dayalı hedefli tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Kanser hücrelerinde bulunan spesifik genetik anormallikler, normal hücrelerde bulunmayan hedefler olarak

kullanılabilir. Bu durum, kanser tedavisinde daha etkili ve yan etkileri azaltan stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Örneğin, HER2 geninin aşırı ekspresyonu, meme kanseri tedavisinde trastuzumab gibi hedefe yönelik tedavi ajanlarının kullanılmasına olanak tanımaktadır (Erdoğan & Özkan, 2015).

4. KANSERDE BİYOLOJİK YOLAKLAR

Kanserde biyolojik yollar, kanser hücrelerinin büyümesi, yayılması ve tedaviye yanıtı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu yollar, hücrelerin sinyal iletimi, metabolizması ve gen ekspresyonu gibi temel biyolojik süreçleri düzenler. Kanser oluşumu ve ilerlemesi, bu biyolojik yolların bozulması veya anormal aktivasyonu ile ilişkilidir (Babaç ve ark., 2023).

4.1. Apoptoz Yolu

Apoptoz, hücre ölümünü düzenleyen bir süreçtir ve kanser gelişiminde kritik bir rol oynamaktadır. Kanser hücreleri, apoptozdan kaçma yeteneği kazanarak kontrolsüz bir şekilde çoğalabilirler. Apoptoz yolları, genellikle p53, Bcl-2, ve caspase gibi proteinler aracılığıyla düzenlenir. Örneğin, p53 tümör baskılayıcı geni, DNA hasarına yanıt olarak apoptozu indükleyebilir (Toptaş & Alagöz, 2016). Kanser tedavisinde, apoptozun indüklenmesi hedeflenerek, kanser hücrelerinin yok edilmesi sağlanabilir.

4.2. Sinyal İletim Yolları

Kanser hücrelerinin büyüme ve yayılmasını düzenleyen birçok sinyal iletim yolu bulunmaktadır. Örneğin, PI3K/Akt/mTOR yolu, hücre büyümesi ve metabolizmasını kontrol ederken, MAPK/ERK yolu hücre çoğalması ve farklılaşmasını etkilemektedir. Bu yolların anormal aktivasyonu, kanserin ilerlemesine katkıda bulunabilir. Örneğin, mTOR inhibitörleri, kanser tedavisinde kullanılan hedefe yönelik tedavi ajanları arasında yer almakta ve bu yolların inhibe edilmesiyle kanser hücrelerinin büyümesi engellenmektedir (Pasanen ve ark., 2013).

4.3. Metabolizma Yolları

Kanser hücreleri, normal hücrelerden farklı olarak, enerji üretiminde ve metabolizmanın düzenlenmesinde değişiklikler göstermektedir. Warburg etkisi olarak bilinen bu durum, kanser hücrelerinin oksijen varlığında bile anaerobik glikoliz yoluyla enerji üretmesini ifade etmektedir. Bu metabolik değişiklikler, kanser hücrelerinin büyümesini ve yayılmasını destekler. Örneğin, glikoliz inhibitörleri, kanser tedavisinde potansiyel bir hedef olarak araştırılmaktadır (Matthews ve ark., 2022).

5. KANSER TEDAVİ YÖNTEMLERİ

Kanser tedavi yöntemleri, hastalığın türüne, evresine ve hastanın genel sağlık durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Günümüzde, kanser tedavisinde en yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında cerrahi, kemoterapi, radyoterapi, immünoterapiler ve hedefe yönelik tedavi bulunmaktadır. Bu yöntemlerin her biri, kanserin biyolojisine ve hastanın bireysel özelliklerine göre özelleştirilmiş yaklaşımlar gerektirmektedir (Çakır ve ark., 2019; Baykara, 2016).

Cerrahi müdahale, kanser tedavisinin en eski ve en yaygın yöntemlerinden biridir. Tümörlerin fiziksel olarak çıkarılması, kanserin yayılmasını önlemek ve hastalığın tedavisinde önemli bir adım olarak kabul edilir. Özellikle erken evre kanserlerde cerrahi tedavi, hastaların iyileşme şansını artırmaktadır (Karakoç, 2020).

Kemoterapi, kanser hücrelerini öldürmek veya büyümelerini durdurmak amacıyla kullanılan ilaç tedavisidir. Genellikle sistemik bir tedavi yöntemi olarak uygulanır ve kanserin vücutta yayılmasını önlemeye yardımcı olur. (Çobanoğlu & Oğuzhan, 2023, Güler ve ark., 2020).

Radyoterapi, kanser hücrelerini hedef alarak yok etmeyi amaçlayan bir diğer tedavi yöntemidir. Yüksek enerjili ışınlar kullanarak kanserli hücrelerin DNA'sını hasarlandırır ve bu sayede hücrelerin çoğalmasını engeller (Chandra ve ark., 2021).

İmmün terapiler, bağışıklık sistemini güçlendirerek kanserle savaşmayı amaçlayan yenilikçi tedavi yöntemleridir. Bu tedavi türü, vücudun doğal savunma mekanizmalarını harekete geçirerek kanser hücrelerini hedef almaktadır. (Onur ve ark., 2018).

Hedefe yönelik tedavi yöntemleri, kanser hücrelerinin belirli özelliklerini hedef alarak tedavi etmeyi amaçlamaktadır. Bu tedavi türü, genellikle moleküler biyoloji ve genetik araştırmaların sonuçlarına dayanarak geliştirilmiştir. Örneğin, bazı kanser türlerinde belirli gen mutasyonları tespit edilerek, bu mutasyonları hedef alan ilaçlar kullanılabilir (Zengin & Büyükbayram, 2019; Çakmak & Kapucu, 2018). Hedefe yönelik tedavi, genellikle daha az yan etkiye sahip olması ve sağlıklı hücrelere daha az zarar vermesi nedeniyle tercih edilmektedir (Tomrukçu & Köse, 2020).

Son yıllarda, kanser tedavisinde tamamlayıcı ve alternatif tıp yöntemlerinin kullanımı da artmıştır. Bu yöntemler, hastaların tedavi süreçlerinde psikolojik ve fiziksel destek sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. (Alpay, 2019; Özdemir ve ark., 2021).

6. KANSERDE SİSTEM BİYOLOJİSİ

Böl ve ele geçir yaklaşımı, karmaşık biyolojik sistemleri daha küçük ve daha kolay incelenebilir birimlere ayırarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntem, son birkaç on yıldır bireysel genler ve proteinlerin kimyasal yapılarını ve işlevlerini başarılı bir şekilde incelemek için kullanılmıştır (Regenmortel, 2004). Ancak, biyolojik sistemlerin karmaşıklığı, yalnızca moleküler düzeyde ele alındığında yeterince anlaşılmayan beklenmedik özellikler taşıyabilir. Özellikle kanser fenotiplerini, tek tek moleküler bileşenlerin mekanizmalarıyla eksiksiz bir şekilde açıklamak her zaman mümkün olmamaktadır. (Kreeger & Lauffenburger, 2010).

Sistem biyolojisi ise indirgemeci yaklaşımın ötesine geçerek, daha geniş bir perspektiften biyolojik sistemlerin bütüncül ve karmaşık özelliklerini değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. Bu yöntem, yalnızca bireysel bileşenlerin değil, zaman ve bağlam açısından farklı faktörlerin

etkileşimlerini de eş zamanlı olarak analiz etmektedir. Dinamik sistemleri anlamada daha indirgemeci yaklaşımlara önemli bir tamamlayıcı olarak görülmektedir (Ahn ve ark, 2006).

Genomik araştırmalar, yalnızca organizmaların genetik yapısını değil, aynı zamanda fonksiyonel genetik ile bireyler arasındaki hastalık ve sağlık risk değişkenliklerini de inceleyerek, insan popülasyonlarına dair yeni içgörüler sağlamıştır (1000 Genomes Project Consortium ve ark., 2010). Bu, biyolojik

araştırmalara sistematik bir perspektif kazandırmış ve genomik projelerin uygulama alanlarını genişletmiştir.

Uluslararası projeler ve konsorsiyumlar, kanser genom araştırmaları

ve geniş çaplı veri paylaşımı konularında önemli katkılar sağlamıştır. Örneğin: The Cancer Genome Atlas (TCGA), 33 farklı kanser türüne ait 20.000'den fazla primer tümör ve eşleştirilmiş normal örnekleri moleküler olarak karakterize etmiş ve 2.5 petabayttan fazla veri oluşturmuştur. Bu veriler, kanserin moleküler mekanizmalarını anlamak, teşhis ve tedavi yaklaşımlarını geliştirmek için kullanılmaktadır. TCGA programı sona ermiş olsa da, veriler güncel biyoinformatik iş akışları ile işlenerek Genomic Data Commons (GDC) aracılığıyla erişilebilir durumdadır (Tomeczak ve ark, 2015).

Catalogue of Somatic Mutations in Cancer (COSMIC), kanserle

ilişkili somatik mutasyonları içeren kapsamlı bir veritabanıdır. Kasım 2023 itibarıyla COSMIC v99 sürümü, 43.820 tam genom ve 29.230 yayın kaynaklı toplam 1.527.131 örnek içermektedir (Sondka ve ark, 2023). Bu veritabanı, kanser genetiği araştırmalarında sıkça kullanılmakta ve onkogenlerin etkinleşmesi veya tümör baskılayıcı genlerin inaktivasyonu gibi süreçlerin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Gen Ekspresyon Omnibusu (GEO), mikrodarray ve yeni nesil dizilim

teknolojileri kullanılarak toplanan bir milyondan fazla örnek içeren bir başka büyük veritabanıdır. GEO, gen ekspresyonu ile ilgili geniş çaplı analizlerin yapılmasına olanak tanıyarak biyolojik yolların ve süreçlerin anlaşılmasını sağlamaktadır (Edgar ve ark, 2002).

Bu kaynaklar, kanser araştırmalarında moleküler veri kullanımı açısından standart laboratuvar protokollerini destekleyen ve geniş erişilebilirlik sunan örneklerdir. TCGA konsorsiyumunda, çeşitli kanser türlerinde klinik sonuçlarla ilişkili alt türler, genetik, transkriptomik, proteomik ve yolak verilerinin birleştirilmesiyle elde edilmiştir (Cline ve ark, 2013). METABRIC konsorsiyumu ise, 2.000 meme kanseri örneğini inceleyerek genetik ve transkriptomik profillere dayalı on yeni alt grup keşfetmiştir (Curtis ve ark, 2012).

Kanser araştırmaları, geniş çaplı multi-omik veri setlerinin sunduğu olanaklardan büyük ölçüde yararlanmaktadır. Bu tür verilerin analizi ve entegrasyonu, özellikle hastalık alt türlerinin belirlenmesi, prognostik biyobelirteçlerin tanımlanması ve kanser biyolojisinin daha derinlemesine anlaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Prognostik biyobelirteçler, hastaların

sağ kalım sürelerini öngörmeye kullanılırken, kanser alt tiplerinin tespiti, daha etkili ve kişiselleştirilmiş tedavi seçenekleri sunma potansiyeli taşır. Ayrıca, kanser mekanizmalarına ilişkin daha ayrıntılı bilgiler, hastalığın fenotipik özelliklerinin daha doğru yorumlanmasını mümkün kılar (Al-Tashi ve ark, 2023).

Klinik veriler, veri bütünleştirme sürecinde önemli bir yer tutmaktadır ve bu, sağ kalım modelleriyle desteklenmiştir (Chen ve ark, 2015). Biyobelirteçler ile hasta sağ kalımı arasındaki ilişkiler üzerinde çalışan bu modeller, genellikle tek bir moleküler veri kaynağı yerine çoklu veri setlerini kullandığında daha güçlü tahmin performansı sergilemektedir.

SONUÇ

Kanserin oluşumu, genetik mutasyonlar, mikrobiyota, metabolizma, çevresel faktörler ve epigenetik değişiklikler gibi birçok etkenin karmaşık bir etkileşimini içermektedir. Kanser türlerinin hücre kökenine göre sınıflandırılması, hastalığın tedavisinde etkili stratejiler geliştirmek için önemlidir. Bu sınıflandırma, farklı hücre tiplerinden kaynaklanan kanser türlerinin tedavi yaklaşımlarını ve prognozlarını belirler.

Kanser biyolojisinin anlaşılması ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi, genomik ve sistem biyolojisi yaklaşımlarıyla derinleşmiştir. Genetik ve epigenetik değişimlerin yanı sıra biyolojik yollar ve metabolik süreçlerin birlikte ele alınması, kanser fenotiplerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak tanımıştır. Bu bağlamda, multi-omik verilerin entegrasyonu ve TCGA ile COSMIC gibi uluslararası projelerin katkıları, hastalık alt türlerinin daha hassas tanımlanmasını ve kişiselleştirilmiş tedavi stratejilerinin geliştirilmesini desteklemiştir.

Bu tür projeler, geniş çaplı moleküler verilerin analizi ve klinik uygulamalardaki kullanımını kolaylaştırmış, özellikle biyobelirteçlerin tanımlanmasında ve sağ kalım modellerinin doğruluğunda önemli ilerlemeler sağlamıştır. Apoptoz, sinyal iletim yolları ve metabolik süreçlerin yanı sıra genetik ve epigenetik mekanizmalar, kanserin biyolojisini ve tedaviye yanıtını anlamada temel teşkil etmektedir. Gelecekteki çalışmalar, bu bütünleştirici yaklaşımların daha da geliştirilerek yenilikçi tedavi yöntemleri sunmasını ve hastaların yaşam kalitesini artırmayı hedeflemelidir.

KAYNAKÇA

- 1000 Genomes Project Consortium, & Durbin, R. M. (Corresponding Author). (2010). A map of human genome variation from population-scale sequencing. *Nature*, 467(7319), 1061–1073.
- Ahn, A. C., Tewari, M., Poon, C. S., & Phillips, R. S. (2006). The limits of reductionism in medicine: could systems biology offer an alternative?. *PLoS medicine*, 3(6), e208.
- Aksu, B. M., & Sarıyer, E. T. (2020). Kolorektal kanser ve d vitamini *Sağlık Hizmetleri ve Eğitimi Dergisi*, 4(2), 39-44
- Al-Tashi, Q., Saad, M. B., Muneer, A., Qureshi, R., Mirjalili, S., Sheshadri, A., ... & Wu, J. (2023). Machine learning models for the identification of prognostic and predictive cancer biomarkers: a systematic review. *International journal of molecular sciences*, 24(9), 7781.
- Alpay, M. (2019). Kansere yeni yaklaşımlar: akciğer kanserinde in vitro antianjiyogenik tedavi. *Konuralp Tıp Dergisi*, 11(1), 126-131.
- Atabilen, B. and Akbulut, G. (2019). Different mechanisms and the role of nutrition in the formation of colorectal cancer. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 39(1), 89-107.
- Babaç, M., Ekinci, M., & İlem-özdemir, D. (2023). Kansere tanısı ve tedavisinde kullanılan monoklonal antikorlar. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 47(1), 295-310.
- Baykara, O. (2016). Kansere Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 154-165.
- Chandra, R. A., Keane, F. K., Voncken, F. E., & Thomas, C. R. (2021). Contemporary radiotherapy: present and future. *The Lancet*, 398(10295), 171-184.
- Chen, P., Huhtinen, K., Kaipio, K., Mikkonen, P., Aittomäki, V., Lindell, R., ... & Hautaniemi, S. (2015). Identification of prognostic groups in high-grade serous ovarian cancer treated with platinum–taxane chemotherapy. *Cancer research*, 75(15), 2987-2998.
- Cline, M. S., Craft, B., Swatloski, T., Goldman, M., Ma, S., Haussler, D., & Zhu, J. (2013). Exploring TCGA pan-cancer data at the UCSC cancer genomics browser. *Scientific reports*, 3(1), 2652.

- Curtis, C., Shah, S. P., Chin, S. F., Turashvili, G., Rueda, O. M., Dunning, M. J., (2012). The genomic and transcriptomic architecture of 2,000 breast tumours reveals novel subgroups. *Nature*, 486(7403), 346-352.
- Çakır, P. A., Atılğan, E., & Yılmaz, S. (2019). Cerrahi operasyon geçirmemiş jinekolojik onkoloji hastalarında üriner inkontinans değerlendirmesi. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 6(2), 293-298.
- Çakmak, S. & Nural, N. (2018). Kanser hastalarında oral mukozitin değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences*, 10(4), 319-329.
- Çakmak, S. & Kapucu, S. (2018). Oral antikanser ilaç kullanan kanser hastalarında telefon ile yapılan izlemin ilaç uyumuna etkisi: sistematik derleme. Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, 5(3), 230-246.
- Çetin, B., & Aktaş, H. (2023). Gıda ve Genom İnteraksiyonu: Beslenme Genomiği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 362-374.
- Çobanoğlu, A., & Oğuzhan, H. (2023). Kemoterapi Tedavisi Alan Kanser Hastalarında Aleksitimi ve Psikolojik İyi Oluş: Tanımlayıcı ve İlişkisel Bir Çalışma. *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences*, 15(2), 490-498.
- Çolak, S., Vural, F., & Bilik, Ö. (2022). Prostat kanserli hastaların yaşadığı psikososyal sorunlar ve hemşirelik yaklaşımları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 15(2), 233-239.
- Edgar, R., Domrachev, M., & Lash, A. E. (2002). Gene Expression Omnibus: NCBI gene expression and hybridization array data repository. *Nucleic acids research*, 30(1), 207-210.
- Erdoğan, A., & Özkan, A. (2015). Strategies to optimize the molecularly targeted anti-cancer agent combinations. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 24(4), 432-451.
- Ersoy, A., Orhan, S., Ayar, Y., Gözden, H. E., & Özkocaman, V. (2014). Renal transplantasyon sonrası miyelodisplastik sendrom. *Türkiye Klinikleri Journal of Nephrology*, 9(2), 59-61.
- Güçlüel, Y., & Kendirkıran, G. (2023). Kanser tedavisi sonrası iş yaşamı. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 10(4), 677-682
- Güler, E. M., Hira, H., Kaleli, H., & Kocyigit, A. (2020). Dialil Disülfid ve Dialil Trisülfid'in İnsan Prostat Kanser Hücreleri Üzerine Sitotoksik, Genotoksik ve Apoptotik Etkileri. *Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 17(2), 266-277.

- Gürler, M. Y., Demir, G., Moueminoglou, F., Apaydin, S., & Nuray, L. Ü. Y. (2014). The effects of chemotherapy on C-reactive protein and quality of life in cancer patients. *Türk J Oncol*, 29, 1-10.
- Hacıoğlu, C. and Kar, F. (2022). Cytochalasin b treatment showed antiproliferative effects in u87 glioblastoma cells via nrf2 signaling pathway. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 92-98.
- Hassani, M., Odemis, D., Doğan, T., Tuncer, S., & Yazici, H. (2022). Uveal malign melanoma hastalarının serum/ plazmasında yüksek mir-454 ekspresyonu. *Sağlık Bilimlerinde İleri Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 14-19.
- İnan, S. (2021). Genin ötesine geçmek: biyoloji eğitiminde epigenetik. *İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 74-89.
- Karakoç, M. D. (2020). Onkoloji hastalarının tamamlayıcı ve alternatif tedavi yöntemlerini kullanma durumları. *Pamukkale Medical Journal*, 13(1), 69-80.
- Koca, G., Seydou, S., & Yıldırım, O. (2022). Overview of current approaches in cancer immunotherapy and limiting effects of immunotherapy. *Turkish Journal of Clinics and Laboratory*, 13(1), 153-165.
- Körükçü, Ö., Arıkan, F., Küçükçakal, A., & Coşkun, H. Ş. (2018). Kemoterapi tedavisi gören kanser hastalarının cinsellik algılarının ve cinsel bakım gereksinimlerinin belirlenmesi. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 4(1), 25-34.
- Kreeger, P. K., & Lauffenburger, D. A. (2010). Cancer systems biology: a network modeling perspective. *Carcinogenesis*, 31(1), 2-8.
- Matthews, H. K., Bertoli, C., & de Bruin, R. A. (2022). Cell cycle control in cancer. *Nature reviews Molecular cell biology*, 23(1), 74-88.
- Onur, E., Nalbantsoy, A., & Kışla, D. (2018). Immunotherapy and potential use of propolis in cancer immunotherapy. *Food and Health*, 231-246.
- Okuyucu, M., & Yücel, İ. (2020). The relationship between peripheral blood count and prognosis in patients with gastric cancer. **Journal of Istanbul Faculty of Medicine - Istanbul Tıp Fakültesi Dergisi*, 83*(1).
- Özbay, S., Sireli, U. T., & Filazi, A. (2019). Nitrosamines, their chemistries and effects on health. *Int J Sci Technol Res*, 5(4), 124-133.
- Özdemir, D., Şatana, K., Deniz, Ö., Çiftçi, M., & Ağca, C. (2021). İfosfamid ve kurkumin kombinasyonunun küçük hücreli dışı akciğer kanseri hücresinde apoptotik biyobelirteçler ve hücre göçü üzerine etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 295-302.

- Pasanen, A. K., Haapasaari, K. M., Peltonen, J., Soini, Y., Jantunen, E., Bloigu, R., ... & Kuittinen, O. (2013). Cell cycle regulation score predicts relapse-free survival in non-germinal centre diffuse large B-cell lymphoma patients treated by means of immunochemotherapy. *European Journal of Haematology*, 91(1), 29-36.
- Pehlivanoglu, B., Aysal, A., Ekmekçi, S., Şahin, Y., Topper, M. H., Gündoğdu, B., ... & Talu, C. K. (2019). Neoplastik hastalıkların moleküler patolojik mekanizmaları. *Güncel Patoloji Dergisi*, 3(2), 62-80.
- Regenmortel, M. H. V. (2004). Reductionism and complexity in molecular biology: Scientists now have the tools to unravel biological complexity and overcome the limitations of reductionism. *EMBO reports*, 5(11), 1016-1020.
- Roy, N. K., Bordoloi, D., Monisha, J., Anip, A., Padmavathi, G., & Kunnumakkara, A. B. (2017). Cancer—An overview and molecular alterations in cancer. *Fusion genes and Cancer*, 1-15.
- Sondka, Z., Dhir, N. B., Carvalho-Silva, D., Jupe, S., Madhumita, McLaren, K., ... & Teague, J. (2024). COSMIC: a curated database of somatic variants and clinical data for cancer. *Nucleic Acids Research*, 52(D1), D1210-
- Şanlı, E., Yalçinkaya, N., & Tüzün, E. (2018). Comparison of the expression levels of PI3K/Akt Pathway factors in Parkinson's disease and lung cancer. *Experimed*, 8(2), 52-57.
- Şeref, B., & Akbulut, G. (2023). Kanserlin önlenmesi ve tedavisinde aralıklı açlığın etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 7(1), 248-255.7(1), 248-255
- Tomczak, K., Czerwińska, P., & Wiznerowicz, M. (2015). Review The Cancer Genome Atlas (TCGA): an immeasurable source of Knowledge. *Contemporary Oncology/Współczesna Onkologia*, 2015(1), 68-77.
- Tomrukcu, D. N & Köse, T. (2020). Doğu karadeniz subpopulasyonunda ağız kanseri bilgi düzeyi ve farkındalığının değerlendirilmesi. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 42(5), 84-89.
- Toptaş, B., & Ateş Alagöz, Z. (2016). Anticarcinogenic effects of curcumin and its analogs. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara*, 40(2), 58-82.
- Tuncer, A. C., Has, S., Bağış, H., & Bozgeyik, E. (2023). Quercetin'in HT-29 ve HCT-116 kolon kanseri hücre hatları üzerine etkisinin RIPK1, RIPK3 ve MLKL genlerinin ekspresyonları ile incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sağlık*

Bilimleri Dergisi, 9(3), 182-187.

Visvader, J. E. (2011). Cells of origin in cancer. *Nature*, 469(7330), 314-322.

Yılmaz, H. K., & Özer, R. M. (2022). Ketojenik diyet ve kanser. *Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(1), 11-19.

Zengin, L., & Büyükbayram, Z. (2019). Palyatif bakım kliniğinde tedavi gören kanser hastalarının hemşirelik bakımından memnuniyet düzeylerinin belirlenmesi. *Journal of Traditional Medical Complementary Therapies*, 2(1).

4. BÖLÜM

TÜRKİYE’DE DOĞALGAZ BASINÇ DÜŞÜRME VE ÖLÇÜM İSTASYONLARINDA VORTEKS TÜPLERİ KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Nuri CEYLAN

Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksek Okulu, Tavşanlı/Kütahya

nuri.ceylan@dpu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-9311-5418>

Esra ÖZBUDAKLAR

Bursagaz Bağlarbaşı Mah. 1. Bakım sok. No:2, Osmangazi/Bursa

esra_ozbudaklar@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-8857-8765>

Dr. Öğr. Üyesi Hasan D. YILDIZAY

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

Bölümü, Kütahya

hasan.yildizay@dpu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-2449-8056>

1.GİRİŞ

Doğal gaz kullanımının ülke çapında her geçen gün artış göstermesi şüphesiz doğal gazın hem konut hem de sanayi kuruluşlarına ulaştırılması için gerekli altyapı çalışmalarının yapılması zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Şehir içi doğal gaz dağıtım hatlarının yapılması ve yüksek basınçlı iletim hatlarından gelen gazın basıncının düşürülerek konut ve sanayi kuruluşlarının kullanımına

sunabilmek için basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple ana iletim hatları yapıldığı esnada şehir içi dağıtım hatlarının da planlamasının yapılması gerekmektedir. Doğal gazın dağıtımı için kurulan sistemlerde en önemli bölümü basınç düşürme ve ölçüm istasyonları oluşturur. Doğal gaz kullanıcılarının talep edeceği basınç ve sıcaklık değerlerindeki gazı sağlayabilmek, istasyondan geçen gazın miktarını tayin etmek ve ölçümünü sağlamak bu istasyonların temel amacıdır. Aynı zamanda bu istasyonlarda doğal gazın filtrasyon işlemi de yapılarak gazın içerisindeki katı partikül ve sıvılardan arındırılması da amaçlanır. Bu çalışmada, doğal gaz dağıtım sistemlerinin temelini oluşturan basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında enerji verimliliğini sağlayabilmek için uygulanabilecek yöntemlerin araştırılması yapılmıştır. Basınç düşürme işlemi için kısılma vanası yerine vorteks tüpü kullanılarak elde edilebilecek avantajlar irdelenmiştir.

Konu ile ilgili olarak literatür araştırması yapıldığında; Zabihi ve Taghizadeh’in (2016), şehir girişindeki istasyonlar ile ilgili İran’da bulunan istasyonlar için çalışma yaparak, 120.000 sm³/h kapasiteli istasyonlar için 3,2 GWh elektrik eldesi sağlanabileceğini ve aynı zamanda geri dönüş süresi olarak yaklaşık 13 yıl olduğu sonucuna ulaştıkları görülmüştür. İki istasyonun çıkışlarının tekilleştirilmesi ve çıkış hatlarının birbirine bağlanması ile birlikte %54 daha fazla oranda elektrik eldesine ulaşılabileceği ve 53.400 USD tutarında da kazanım sağlanabileceğini hesaplamışlardır.

Kostowski (2010), iletim hattı ön ısıtma ve basınç düşürme hattını birlikte analiz ederek inceleme yapmıştır. Gazdaki akışın sabit olmadığı ve düzensiz bir seyir izlediğinin tespiti yapılmıştır. Turbo gaz genişletiricinin tesisat hattına paralel olarak konumlandırıldığı pozisyon üzerinden incelemeler ve ekonomik analiz yapılmıştır. Net şimdiki değer metodu ile yatırımın geri dönüş süresi 7 yıl gibi süre olarak hesaplanmıştır.

Neşeli (2014), iki adet basınç düşürme ve ölçüm istasyonu ile ilgili olarak enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Giriş basıncı ve çıkış basıncı ortalamaları, sıcaklık, debi, ön ısıtma ihtiyacı, kazan, eşanjör enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Sistemin üretebileceği yaklaşık 500 kW kurulu güç ve yıllık elektrik enerjisi değerleri tespit edilmiştir.

Kibriççi (2014), 6 şehir istasyonunun tüketim değerlerini dikkate alarak analiz çalışması yapılmıştır. Şehir istasyonlarında ön ısıtmada harcanan gazın gaz çekiş debilerine oranları ve yıllık paylarının hesaplaması yapılmıştır. Isıtmada

kullanılan gazdan tasarruf elde etmek için kullanılan yöntemlerin ilk yatırım maliyeti, yıllık işletme maliyeti, işletmenin bakımı ve güvenliği bakımından değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çulun (2022), Basınçlı doğal gaz hatlarında vorteks tüpünün ısıtma amacı ile kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Vorteks tüpünün ısıtma amaçlı olarak kullanılabileceği optimum basınç, debi ve ayar parametreleri araştırılmıştır. Vorteks tüpünde değiştirilen parametreler sonucunda ısınma etkileri incelenmiştir. Vorteks tüplerin doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında pilot ısıtıcı şeklinde kullanılabilmelerinin yanı sıra, direkt olarak ısıtma amacı ile de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yüceer (2020), Vorteks tüp kullanım faydaları ve maliyet etkisi açısından Ankara ilinde bulunmakta olan bir doğal gaz basınç düşürme istasyonu için incelenmiştir. Bu istasyonda 2016-2019 yıllarına ait olan veriler kullanılarak vorteks tüpün kullanımından öncesi ve sonrası için ön ısıtmada gerekli olan yakıt tüketim miktarları hesaplanmış ve tüketimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada yapay sinir ağı modellemesi yapılmış ve belirtilen yıllara ait olan verilerle modelin eğitimi tamamlanarak 2020 yılının verileri ile bir aylık değerler üzerinden testi tamamlanmıştır. Enerji geri kazanımı hususunda vorteks tüp uygulamasının etkinliğini destekler sonuçlar elde edilmiştir.

Yılmaz vd. (2007), Erzurum RMS/A istasyonunda yapılan incelemeye göre ısıtılarak şehir içi dağıtımı sağlanan doğal gaz miktarı ve gazın ısıtılması aşamasında sarf edilen gaz miktarı tespit edilmiştir. Isıtma işleminde vorteks tüplerin kullanılması sayesinde harcanacak miktarda gaz tasarrufu sağlanmış olacağı ve ısıtıcı sisteminin kullandığı elektrik enerjisinden de tasarruf sağlanacağı sonucu elde edilmiştir. Erzurum RMS/A istasyonu ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar ile vorteks tüp kullanımının önem taşıyan faydalar sağlayabileceği gösterilmiştir.

2. DOĞALGAZIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ, TAŞINMASI VE DAĞITIMI

Genel olarak doğal gazın hacimsel bileşimine bakıldığında metan %85' ten daha fazla oranlarda bulunur. Oranı etkileyen kriterler gazın üretiminin yapıldığı proses ve çıkarıldığı bölgeye göre farklılık göstermektedir. Bunun yanı sıra, %3 ila 8 oranında etan, %1 ila 2 oranında propan ve %1'den daha düşük oranlarda

pentan ve bütan bulunabilmektedir. Doğal gazın bileşiminde bunlardan başka, azot, karbondioksit, hidrojen sülfür ve helyum gibi bileşikler ve elementler de bulunabilir. Yukarıda ifade edilen oranlarda gazlardan oluşan bir gaz karışımı olan doğal gazın faz davranışlarını bilmek hem depolanması hem de taşınması için kriterleri belirleyebilmek adına önem taşır (Beşergil, 2013). Doğal gazın kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Doğal gaz, çoğunlukla tüketici bölgelerinden uzakta bulunan alanlarda çıkartılan ve bu sebeple de uzak mesafelere ulaştırılması gerekli olan bir enerji kaynağıdır. Doğal gazın üretildiği yerden tüketileceği bölgelere etkin ve verimli olarak taşınabilmesi yeterli kapasitede uygun boru hattı şebekelerinin kurulumu ihtiyacını doğurmaktadır. Doğal gazın, boru hatları aracılığıyla taşınmasının olanaksız olduğu durumlarda gemilerle taşıma işlemi yapılmaktadır.

Doğal gaz ile benzer gazlar için 1 bar ya da orta basınçtaki seviyelerinde çiğ noktası sıcaklığı oldukça düşüktür. Gazı sıvılaştırmak gazın sürekli sıkıştırılması ve yoğunlaştırılması ile sağlanabilir. Ancak doğal gaz bu yöntemle sıvılaştırılmak istenilirse ortam sıcaklığında 1200 bar basıncın üzerindeki değerlere çıkılması gerekmektedir.

Tablo 1: Doğalgazın Kimyasal Kompozisyonu

Bileşenleri	Kimyasal Formülü	Oranlar (%)
Metan	CH ₄	Min %82
Etan	C ₂ H ₆	Max %12
Propan	C ₃ H ₈	Max %4
Bütan	C ₄ H ₁₀	Max %2,5
Oksijen	O ₂	Max %0.5
Azot	N ₂	Max %5,8
Karbondioksit	CO ₂	Max %3
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	Max %5,35
Pentan ve Diğer Ağır Karbonlar		Max %1

Kaynak: İGDAŞ, 2014

Bu yöntem pratik olarak pek elverişli olmamaktadır. Soğutarak sıvılaştırma yöntemi ile doğal gaz 1 bar basınçta çığ noktası sıcaklığı olan -161 derecenin altına soğutulmakta ve hacmi 600 kez küçültülmektedir. Bu işlem ile doğal gaz sıvı faza geçmekte ve LNG (Liquified Natural Gas) adını almaktadır. Sıvılaştırılmış doğal gazın stoklama ve taşıma işlemleri için sıcaklığını koruması gerekmektedir. Bu sebeple korumanın sağlanabilmesi için LNG kriyojenik tanklar kullanılmaktadır. Doğal gaz tankerlerle taşındıktan sonra, taşınan limanlarda tekrardan gaz fazına geçirilerek iletim şebekelerine sunulmakta veya mevcut sıvı halinde ileri bir zamanda kullanılmak üzere depolanması gerçekleştirilmektedir. (Çoşkun, 2004, s. 32-33).

Doğal gaz iletim şebekeleri, yeraltı ve yer üzerine döşenen farklı çaplardaki borular, fittingsler, basınç istasyonları, vanalar ve ölçüm istasyonlarından oluşmaktadır. İletim hattı aracılığıyla taşınan doğalgaza uygulanan basınç, sistem içerisindeki doğal gazın hacmi yaklaşık 400 ila 600 kez azalmakta, yüksek miktarlardaki gazın uzak mesafelerdeki tüketim bölgelerine iletilmesine imkân sağlamaktadır. Doğal gaz iletimi esnasında yapılan yatırımların büyük çoğunluğunu boru hattı ekipmanları (yaklaşık %70-80) ve bu hatların döşenmesi oluşmaktadır. Yatırımların diğer bölümü basınç istasyonları, ölçüm ekipmanları, vanalar, uzaktan kontrol ekipmanları, bilgisayar ve donanımları, tesis edilen binalardan oluşmaktadır (Bülbül 2007).

Doğal gaz taşımacılığı teknolojisinin gelişmesi doğal gaz tüketiminde artış meydana gelmesinde önemli rol oynamaktadır. Doğalgazın boru hatları ile taşınması yüksek basınç altında gerçekleştirilmektedir. Doğal gaz taşımacılığı teknolojisinin gelişmesi doğal gaz tüketiminde artış meydana gelmesinde önemli rol oynamaktadır. LNG gemiler ile uzak mesafelere ulaştırılmakta ve tesislerde tekrar gazlaştırma işlemi gerçekleştirilerek boru hatları ile taşınmaktadır.

Boru hatları, gün içinde kesintisiz çalışan, verimli ve güvenilir sistemler ile kurulu olarak işletilmektedir. Boru hatlarının önemli bölümleri; borular, vanalar, SCADA sistemleri ve ölçüm ve kompresör istasyonlarıdır.

Çelik boruların çoğunlukla, 6 ile 48 inç arasındaki değişik çaplarda imalatı yapılmaktadır. İletim hatlarında kullanılan borular farklı özellikte ve sınıflarda çelik malzemelerden üretilmektedir. Doğal gazın basınçlandırılması işlemi sayesinde uzun mesafelerde taşınan gazın daha küçük çaplarda taşınmasına olanak sağlanmakta ve taşıma kolaylığı da elde edilmektedir. Orta ve yüksek basınçlarda çelik borular kullanılırken alçak basınçta doğal gazın taşınması için

polietilen borular kullanılmaktadır.

Ulusal iletim hatlarında doğal gazın iletimi yüksek basınçta (35-70 bar), çelik borular ile sağlanır. Şehir içi dağıtım hattında orta basınçta (12-19 bar) ve çelik hatlar ile doğal gazın taşınımı gerçekleştirilir. Şehir içi dağıtımı alçak basınç (4 bar) ve polietilen borular aracılığıyla devam ederek alçak basınç tüketimi gerçekleştiren nihai tüketim noktalarına ulaştırılır.

Doğal gaz boru hatları projelendirilirken TS 8954 standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Boru çapı, hat uzunluğu ve talep edilen debi gibi kriterlere bağlı olarak hat basıncı farklılık gösterir. Boru hatlarında potansiyel enerji kayıp ya da kazançları ve sürtünmeden kaynaklı kayıplar nedeniyle basınç değişiklikleri meydana gelir (Köse, 2014).

Boru hatları ile taşınan doğal gazın akış esnasında basınçlı kalabilmesi için belirli aralıklarla sıkıştırılarak basınçlandırılması gerekmektedir. Basınçlandırma işlemi için hat üzerine kompresör istasyonları yerleştirilir. İstasyonlar boru hatları üzerinde belirlenen noktalara yerleştirilerek; doğal gazın talep edilen basınçlarda tüketim merkezlerine ulaştırılmasında önemli rol oynar. Bu istasyonlarda doğal gaz ile bulunan sıvıları ayırmak için sıvı ayırıcılar ve katı partikülleri ayırabilmek için filtreler de mevcuttur.

Doğal gazın basınçlandırılması işlemi sayesinde gazın daha küçük çaplarda taşınmasına olanak sağlanmakta ve taşıma kolaylığı da elde edilmektedir.

Dağıtım şebekesi, çeşitli çaplardaki borular ile şehir girişlerine ulaşan yüksek basınçlı doğal gaz iletim hattından taşınan doğalgazın basıncının düşürülerek tüketicilere dağıtımını sağlayan sistem olarak tanımlanmaktadır. Tüketicilere dağıtılmasına imkân veren sistem olarak tanımlanmaktadır (Aytaş, 2014).

Doğal gaz, kaynağından çıkarılmasının ardından yüksek basınçta boru hatları vasıtasıyla taşınarak şehirlerin giriş bölümlerine getirilirler. Şehir girişlerinde doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında (RMS/A) basıncı düşürülerek şehir içi dağıtım hatlarına verilirler. A tipi basınç düşürme ve ölçüm istasyonları şehir içi dağıtımını sağlanacak doğal gaza, filtrasyon, ölçüm, ısıtma, basınç düşürme ve kokulandırma, uygulamalarının yapıldığı tesisler olarak görülebilir.

12 -19 bar basınç aralıklarında RMS/A’dan çıkan doğal gaz, farklı çaplarda izolasyonlu çelik borular ile şehir içindeki basınç düşürme istasyonlarına gelir. Basınç düşümü yapılarak şehir içine gaz dağıtımını yapılır.

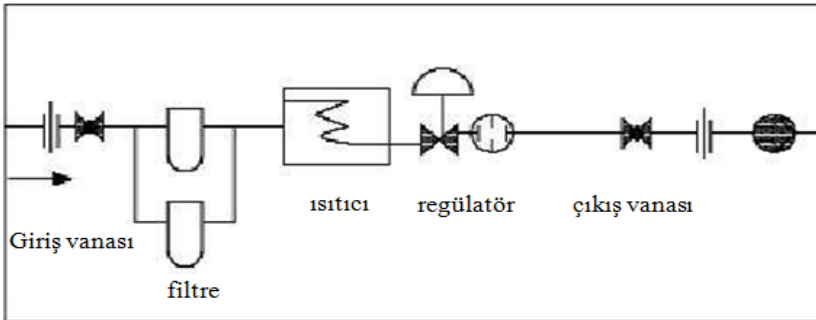
35 ila 70 bar aralığında şehir giriş istasyonları olan RMS/A girişine gelen

doğal gaz 12 ila 19 bar basınç aralıklarına düşürülürler. Dağıtım hattında ikinci kademe olarak RMS/B' lerde 4 bar'a düşürülerek şehir içi dağıtımına sunulur. İhtiyaç dahilinde son tüketim noktasında RMS/C tipindeki istasyonlar da kurula bilinmektedir.

3. DOĞAL GAZ BASINÇ DÜŞÜRME VE ÖLÇÜM İSTASYONLARI

Yüksek basınçlı iletim hatları ile taşınan doğal gaz şehir girişlerinde istasyonlar vasıtasıyla basınç düşürme işlemine tabii tutulurlar. Taşınma mesafeleri kısaldığından ve talep edilen basınç sınıfı daha düşük olduğundan dolayı bu işleme ihtiyaç duyulur. Tüketim noktalarına kadar taşınma esnasında basınç düşümü kademeli olarak gerçekleşmektedir. Bu amaç ile tasarlanan basınç düşürme istasyonları 3 değişik kategoridedir.

RMS; Reducing and Metering Station tanımının kısaltılarak yazılmış şeklidir. Yüksek ve orta basınçta A, B tipi olarak iki ayrı çeşidi vardır. A tipi RMS 'ler ana çelik hattaki ve yüksek basınç sınıfında olan gazın basıncını düşürmeyi sağlayan istasyonlardır. A tipi RMS 'lerde giriş basıncı 35-70 bar, çıkış basıncı ise 12-19 bar aralığındadır. A tipi RMS'lerde basınç düşürme işlemi gerçekleştirilen doğal gazın dağıtım hattına iletimi sağlanır. Gaz talebinde bulunan tesislere bağlantı hattı yapılmakta ve tesislerin girişine konulan B tipi istasyonlar ile gaz çıkış basınçlarına müşterinin talebi doğrultusunda ayarlanma yapılmaktadır. 4 bar altında da kapasite ve tüketim basınçlarına C tipi istasyonlar da kullanılmaktadır.

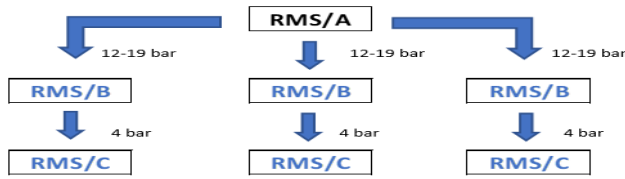


Şekil 1: Basınç Düşürme ve Ölçüm İstasyonu Akış Şeması (Özbudaklar 2024)

(RMS-A) A Tipi Basınç Düşürme İstasyonu şehirlerin girişinde bulunurlar. Bu istasyonlarda 35-75 bar aralığında iletim hatlarından gelen yüksek basınçlı gazı 12 ila 19 bar aralıklarına düşürme işlemi gerçekleşir. Basınç düşümünde ilk kademeyi oluştururlar.

(RMS-B) B Tipi Basınç Düşürme İstasyonu ikinci kademe basınç düşüşünün gerçekleştiği istasyonlardır. Şehir içi dağıtımında bölge regülatörü ismiyle de anılırlar. 12-19 bar arasındaki basınca sahip olan doğal gaz bu istasyonlar vasıtasıyla 4 bar basınç seviyesine düşürülmektedir. Bu istasyonların giriş hattı çelik borulardan oluşurken çıkış hattı polietilen borular ile yapılır.

(RMS-C) C Tipi Basınç Düşürme İstasyonlarının giriş basıncı 4 bar olup çıkış basıncı son tüketicinin basınç ihtiyaçlarına göre değişiklik göstermektedir. 3 ayrı kategoride olan kademeli basınç düşümünün şematik gösterim oluşturulmuştur. Şekil 2’de doğal gazın dağıtım sistemindeki kademeli basınç düşümü şematik olarak gösterilmiştir,



Şekil 2: Kademeli Basınç Düşümü Şematik Gösterimi (Özbudaklar 2024)

Basınç düşürme istasyonlarında basınç düşürülmesinin beraberinde gazın sıcaklığı da düşer. Yaklaşık olarak 1 bar basınç düşümünde sıcaklıkta 0,5 °C kadar bir düşüş gerçekleşir. Bu durum yaklaşık olarak 70’bara kadar olan basınçlar için geçerli bir durumdur. A tipi bir basınç düşürme ve ölçüm istasyonunun giriş basıncının 70 bar ve çıkış basıncının da 19 bar olduğu kabul edilirse; regülatörde gazın basıncının düşürülmesi sonucu gazın sıcaklığında 25,5 °C düşüş meydana gelir. Basınç düşürülmesi işlemiyle birlikte sıcaklıkta da düşüş meydana gelmekte ve soğuyan gaz regülatörün pilotlarında donmaya sebebiyet vermektedir. Bu sebeple gaz sıcaklığının istenilen sıcaklık değerine getirilmesi gerekmektedir.

Doğal gaz boru hatlarındaki gazın sıcaklığını etkileyen faktörler; toprak sıcaklığı, atmosfer sıcaklığı ve basınç düşürülmesi işlemidir. Sıcaklığın belirli

seviyeler altına düşmesi neticesinde sıvı hidrokarbon damlacıklarının oluşumu gerçekleşebilir. Çevredeki sıcaklıkların akışı sağlanan gaz sıcaklığından ve de hidrokarbonların çiğlenme noktası sıcaklığından daha düşük olması durumunda önem arz etmektedir. Basınç düşürülmesi işleminde ise Joule-Thompson etkisi sonucunda gaz sıcaklığında hızlı bir düşüş görülür.

Boru hattının geçtiği derinliklerdeki toprak sıcaklığı gazın sıcaklığına etki eden faktörlerdendir. Kompresör istasyonlarından çıkan gazın sıcaklığı yaklaşık olarak 38-49 °C aralığında değişmektedir. Kompresör istasyonlarından çıkan gazın toprak altında taşınması sağlanır. Gazın çevresinde bulunan toprak sıcaklığıyla akışı sağlanan doğal gazın sıcaklığı arasında oluşan fark sebebiyle gazın sıcaklığı hızlı bir düşüş gösterir. Sıvı hidrokarbon damlacıkları oluşması ihtimali, toprağın sıcaklığının hidrokarbon çiğ noktasının altında ya da yakınlarında olduğu zamanlarda mevcuttur. Bu ihtimal ile soğuk iklimlerde karşılaşılır. Don hattı üzerinde olan boru hatları 0 °C'nin altında sıcaklıklara sahip olabilirler. Don hattı; donun toprağın içine işlemesi ve toprak sıcaklığının 0°C'ye düşebileceği derinliktir. Ülkemizde soğuk bölgelerdeki boru hatlarının yerleşimi don hattının daha aşağılarındadır. Bu sebeple boru hatlarında donma noktasının altına düşülmesi ihtimali düşüktür.

Kış aylarında toprak altında sıcaklığında olan gaz toprak üzerine çıktığında çevre sıcaklığı ihmal edilse dahi sadece basınç düşürme işlemi ile 25,5 °C'lik bir sıcaklık düşümünün sonucunda ısıtılma yapılmaksızın gazın sıcaklığı – 21,5 °C' olacaktır. Oluşan düşük sıcaklıklar, hidrokarbon yoğunlaşmalar, donacak suyun katı formda metan hidratlarını oluşturabilmesi sebebiyle konutsal, ticari tüketicilere ait hatların donmasına neden olacaktır. Bu durum regülatör kontrol ekipman borularında oluşabilecek hidratların gaz akışında kesinti oluşturmalarına, yüksek basınçtan koruyan cihazların çalışmasının durmasına sebebiyet verir. Bu sebeple gaz basıncının düşürülmesinin gaz sıcaklığını büyük ölçüde etkilediği görülmektedir.

4. VORTEKS TÜPLERİNİN BASINÇ DÜŞÜRME İSTASYONLARINDA KULLANIMI

Vorteks tüpler ilk defa 1928 yılında Ranque tarafından keşfedilmiştir. Daha sonra 1947 yılında Hilsch tarafından geliştirilmiştir. (RVT) Ranque Vorteks Tüpü, (HVT) Hilsch Vorteks Tüpü ve (RHVT) Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü şeklinde

adlandırılmaktadırlar. Vorteks tüpler, yalnızca basınçlı gazlarla çalışırlar, kontrol vanaları dışında hareket eder parçaları bulunmayan mekanik cihazlardır.

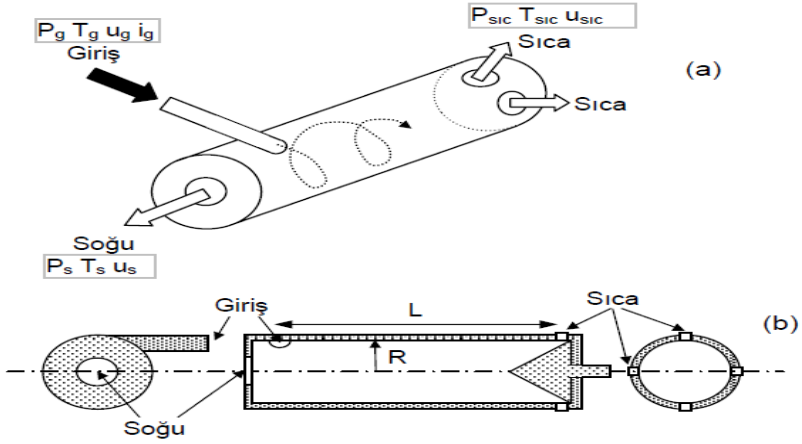


Şekil 3: Vorteks Tüp (Özbudaklar 2024)

Vorteks tüpler, tüpün içerisine teğet bir şekilde giriş yapan basınçlı gazın akımını giriş gazının sıcaklığından yüksek sıcaklıkta ve giriş gazının sıcaklığından düşük sıcaklıkta olmak üzere düşük basınçta iki ayrı akım olarak ayırır. RHTV Vorteks tüpler gazın ısıtılması, soğutulması, temizlenmesi, kurutulması gaz karışımlarının ayrışımı ve doğal gazın sıvılaştırılması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 3’de vorteks tüp, ve Şekil 4’de ise vorteks tüpün çalışma şematiği ve tüp geometrisi gösterilmiştir.

Vorteks tüpleri kontrol vanaları dışında hareket eder parçaları bulunmayan mekanik cihazlar olduklarından arıza riskleri son derece düşük olmakta ve bu durum kullanımlarını avantajlı hale getirmektedir.

Vorteks tüpleri yaygın olarak doğalgaz basınç düşürme istasyonlarında kullanılmaktadır. Vorteks tüplerinin kullanımıyla doğalgaz basınç düşürme istasyonlarında enerji verimliliğine önemli katkılar sağlanabilmektedir.



Şekil 4: Vorteks Tüpü (a) Çalışma Şematiği ve Parametrelerin Tanımı. (b) Tüp Geometrisi (Özbudaklar 2024)

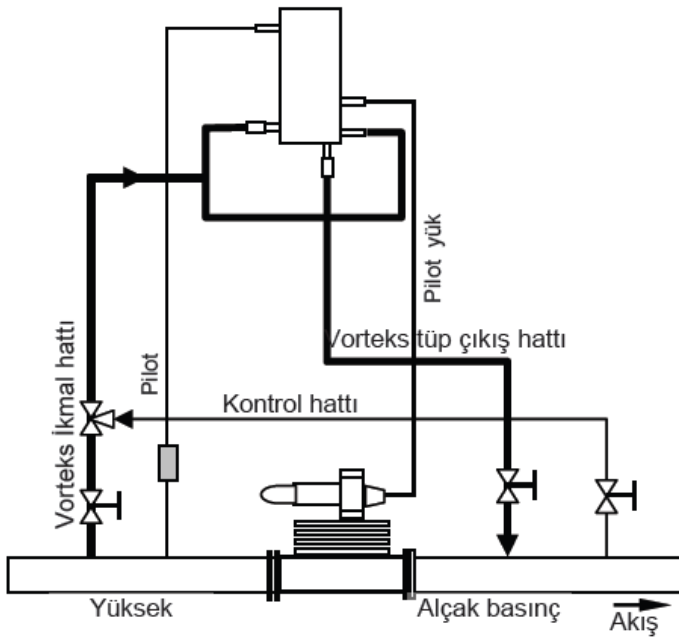
Doğal gazın basıncının düşürülmesi aynı zamanda sıcaklığının da düşmesine sebep olur. Doğal gazın bileşimine bağlı kalarak 1 bar basınç düşümüne karşılık yaklaşık $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' sıcaklık düşüşü gerçekleşir. Bu durum doğal gazın içerisinde bulunan küçük su zerreciklerinin donarak sistem üzerinde sıkıntılar oluşmasına yol açabilmektedir. Basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında oluşacak sıcaklık düşümü dolayısıyla doğal gaz regülatöre girmeden önce ısıtılır. Bu amaçla ısıtma için ihtiyaç duyulan enerjiyi elde edebilmek amacıyla ısıtma sistemlerinden yararlanılır. Tesis edilen kazanlarda yakıt olarak doğal gaz kullanılarak enerji elde edilir.

Bu ısıtıcılara alternatif bir çözüm olarak vorteks tüplerin kullanımı ile doğal gazın yakılmasına ihtiyaç duyulmadan gerekli olan ısı sağlanabilir. Vorteks tüp girişinin istasyon girişindeki gaz hattı ile bağlantısı sağlanır. Tüpün soğuk olan uç kısmından çıkış yapan soğuk akımlı gaz ısı değiştiriciye gider ve soğutma işlemini tamamlar. Sıcak uçtan çıkan akım ise regülatörü ısıtmasının ardından ısı değiştiriciden gelen sıcaklık seviyesi artmış olan soğuk akımlı gaz ile birleşir. Bu birleşen akım istasyon çıkış hattı borusuna bağlanmış olur.

Vorteks tüplerin gaz basıncının düşürülmesine yönelik tasarlanma özelliği olduğundan dolayı regülatör olarak da kullanımı sağlanabilir. Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında çıkış basınçları oldukça hassas belirlenmiş olduğundan dolayı vorteks tüpler regülatörlerle beraber kullanılmalıdır. Böylelikle daha

güvenilir bir tasarım sağlanmış olur. Böylece vorteks tüpler mevcut halinde regülatörler ve ısıtıcıların bulunduğu istasyonlarda doğal gazın ısıtılmasında ihtiyaç duyulan gerekli olan enerjinin kullanımını azaltma ve soğutma işlevini gerçekleştirmek için de kullanılabilirler (Yılmaz vd., 2007).

Doğal gazın ön ısıtma işlemi “vorteks pilot gazı ısıtıcısı” şeklinde isimlendirilen cihazların kullanımı ile de yapılabilir. Ortasındaki bölümleri vorteks tüp olan bu cihazlar ile sıcak olan gazın sahip olduğu ısı enerjisinin vorteks tüp cidarına montajı yapılmış ısı değiştiricisinden geçiş yapan pilot gazına aktarımı sağlanır. Üretilmiş olan ısı akışının bir miktarı donmayı engellemek için basınç düşümü giriş lülelerini ısıtma amaçlı kullanımı sağlanır (Köse, 2014). Şekil 5’de tek hattan oluşan bir vorteks pilot gazı ısıtıcısının şematik olarak gösterimi ve Şekil 6’da ise vorteks ısıtıcı montajı yapılmış doğalgaz hattının bir fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 5: Tek Hattan Oluşan Vorteks Pilot Gazı Isıtıcısı (Özbudaklar 2024)



Şekil 6: Vorteks Isıtıcı Montajı Yapılmış Doğalgaz Hattı (Özbudaklar 2024)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya nüfusundaki artış, sanayileşme, kentleşme ve teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacını her geçen gün daha da arttırmaktadır. Bu nedenle; günümüzde enerji verimliliği önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu durum enerjiyi verimli kullanma ve her türlü oluşan kayıp enerjiden faydalanma ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

Basınç düşürme ve ölçüm istasyonları, yüksek basınçta şehir girişine gelen gazın basıncının düşürülerek kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilmesi için kurulan yerlerdir. Bu istasyonlarda doğal gazın basıncının düşürülmesiyle birlikte enerji kaybı da oluşmaktadır.

Basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında basınç düşürmek maksadıyla vorteks tüplerin kullanımı birtakım avantajlar sağlayacaktır. Bunlar; basınç düşürme görevini yerine getirmek, basınç düşürme regülatörlerinin iş yükünü azaltarak güvenli çalışmasını sağlamak, gazın ısıtılmasında ihtiyaç duyulan enerjinin tüketimini kaldırmak olarak sıralanabilir. Doğal gazın ısıtılması için vorteks tüpler kullanıldığında ısıtıcı kullanılması gerekmez ya da ısıtıcıların iş yükü azalır. Böylelikle hem yakıttan tasarruf sağlanmış olur hem de yanma ürünlerinin çevreye atılması önlenmiş olur.

Mevcut sistemlerde eşanjördeki suyu ısıtmak için kullanılan kazan tesisatı da bir doğalgaz iç tüketimi oluşturmaktadır. Bu yakıt tüketimini ortadan kaldırmak için alternatif çözüm önerisi olarak eşanjör yerine vorteks tüp gaz ısıtıcıları kullanılırsa bu yakıt tüketimini ortadan kaldıracaktır.

Oklahoma Üniversitesi’nde katalitik ısıtıcıların yerine vorteks ısıtıcıların kullanılmasının üzerine yapılan bir araştırmada mali analizler yapılmıştır. Bu analizlerde vorteks ısıtıcıların ekonomik anlamda tasarruf sağlayacağını kanısına varılmıştır. Yapılmış olan bu çalışmada elde edilen tasarrufların yıllık yakıt masrafları, bakım masrafları, ısıtıcı değiştirilmesi ve arızalarının ortadan kaldırılması gibi nedenlerden kaynaklandığı ifade edilmektedir (Yılmaz vd., 2007).

Mevcutta bulunan istasyonlar için vorteks tüp ile kullanılabilir duruma getirilmesi ya da yeni yapılacak istasyonlarda vorteks tüplü istasyonlar olacak şekilde kurulabilmesi için tüm istasyonlara detaylı olarak tekno-ekonomik analizler yapılmalıdır.

Sistemin ülkemizde bulunan diğer istasyonlarda da uygulanması ekonomik fayda sağlayacaktır. Uygulanabilir istasyonlarda değerlendirmeler yapılarak fayda oranları hesaplanmalıdır. Vorteks tüp sistemi, kurulum maliyetleri açısından ele alındığında, istasyonlarda ön ısıtma ihtiyacını azaltmak ya da ortadan kaldırmak için değerlendirilebilir. Aynı zamanda bu istasyonlarda ön ısıtma ihtiyacı için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma imkânı da sağlanabilir. Bunu sağlayabilmek adına her bir istasyon için teknik ve ekonomik analizler yapılarak uygulanabilirliği değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Aytaş, E. (2014), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında gaz genleşme motoru kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Beşergil, B. (2013), *Ref. e_makaleleri, petrol, petrol kimyası , yakıtlar yağlar*. Erişim adresi: https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/1_11.html
- Çoşkun, S. (2004). “*Doğal gazın sıvılaştırılmasında kullanılan klasik kaskad soğutma sisteminin matematiksel analizi*” Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9(1), 32-33
- Çulun, S. (2022), *Basınçlı doğal gaz hatlarında vorteks tüpünün ısıtma amaçlı olarak kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması*, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, *Doğal gaz piyasası aylık sektör raporu listesi*. (2023, 10 Temmuz). Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-95-1007/dogal-gazaylik-sektor-raporu>
- İstanbul Gaz ve Doğal Gaz Dağıtım Anonim Şirketi, *Doğal gazın kimyasal kompozisyonu*. (2014, 1 Ocak). Erişim adresi: <https://www.igdas.com.tr>
- Keleşoğlu, S. (2006), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında enerji geri kazanımının teknik ve ekonomik etüdü*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kibritçi, A. (2014), *Şehir içi doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında (rms-a) enerji tasarruf imkanlarının incelenmesi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Köse, D. (2014), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında enerji geri kazanımının teknik ve ekonomik etüdü*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Özbudaklar, E. (2024), *Doğalgaz Basınç Düşürme ve Ölçüm İstasyonlarında Enerji Verimliliği*, Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya
- Yılmaz, M., Çelik, A., Kaya, M. ve Bakırcı, K. (2007, 25-28 Ekim). “*Vorteks tüplerin Türkiye’deki doğal gaz boru hatlarında kullanım olanakları*” VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Yüceer, U. İ. (2020). *Energy recovery at natural gas pressure reduction stations*, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

5. BÖLÜM

GENLEŞME TÜRBİNLERİNİN TÜRKİYE’DE DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KULLANIM OLANAKLARI VE BİR GENLEŞME TÜRBİNİ SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Nuri CEYLAN

Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksek Okulu, Tavşanlı/Kütahya

nuri.ceylan@dpu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9311-5418

Esra ÖZBUDAKLAR

Bursagaz Bağlarbaşı Mah. 1. Bakım sok. No:2, Osmangazi/Bursa

esra_ozbudaklar@hotmail.com

ORCID: 0009-0002-8857-8765

Dr. Öğr. Üyesi Abtullah TUĞCU

Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksek Okulu, Tavşanlı/Kütahya

abtullah.tugcu@dpu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7911-4198

GİRİŞ

Bu çalışmada; doğalgaz dağıtım sistemlerinin temelini oluşturan basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında enerji verimliliğini sağlayabilmek için uygulanabilecek yöntemlerden biri olan genişleme türbinlerinin kullanımı

araştırılmıştır. Bu amaçla Anadolu’da bulunan bir şehrimize ait 2 ayrı (RMS-A) tipi basınç düşürme ve ölçüm istasyonunun bir yıllık verileri baz alınarak genleşme türbinlerinin kullanımıyla elektrik üretim potansiyeli incelenmiş ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Doğalgaz birçok sektörde hem yakıt hem de hammadde olarak kullanılmaktadır. Diğer fosil yakıtlara kıyasla emisyonları açısından temiz ve çevre dostu olarak nitelendirebileceğimiz bir enerji kaynağıdır (Rojey vd., 1997).

Doğalgazın dağıtımı için kurulan sistemlerde en önemli bölümü basınç düşürme ve ölçüm istasyonları oluşturur. Doğalgaz kullanıcılarının talep edeceği basınç ve sıcaklık değerlerindeki gazı sağlayabilmek, istasyondan geçen gazın miktarını tayin etmek ve ölçümünü sağlamak bu istasyonların temel amacıdır. Aynı zamanda bu istasyonlarda doğalgazın filtrasyon işlemi de yapılarak gazın içerisindeki katı partikül ve sıvılardan arındırılması da amaçlanır.

Doğalgazın basıncının düşürülmesi aynı zamanda sıcaklığının da düşmesine sebep olur. Doğal gazın bileşimine bağlı kalarak 1 bar basınç düşümüne karşılık yaklaşık 0,5 °C’ sıcaklık düşüşü gerçekleşir. Bu durum doğal gazın içerisinde bulunan küçük su zerrelerinin donarak sistem üzerinde sıkıntılar oluşmasına yol açabilmektedir. Basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında oluşacak sıcaklık düşümü dolayısıyla doğal gaz regülatöre girmeden önce ısıtılır. Bu amaçla ısıtma için ihtiyaç duyulan enerjiyi elde edebilmek amacıyla ısıtma sistemlerinden yararlanılır. Tesis edilen kazanlarda yakıt olarak doğalgaz kullanılarak enerji elde edilir. Bu durum enerji kaybı yaratmaktadır. Genleşme türbinleri kullanılarak doğalgazın ısıtılması için gerek duyulan enerjiden tasarruf edilmekte ve elektrik üretimi yapılarak verimlilik iyileştirilmektedir.

Literatür araştırması yapıldığında Köse (2014), tarafından doğalgaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında kayıp enerji geri kazanımı için Trakya bölgesinde bulunan mevcut basınç düşürme istasyonlarında inceleme yapılmış ve enerji geri kazanımının olanaklı olup olmadığına dair çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre enerji geri kazanım yöntemleri ve uygulanabilecek istasyonların seçimi yapılarak sınıflandırılmıştır. Enerji geri kazanımı uygulanması planlanan genleşme türbini ve vorteks tüplerin teknik anlamda uygunluğu araştırılmış, türbin için maliyet analizleri yapılmıştır. Ortalaması 20.000 m³/h debinin üzerinde çekişi olan istasyonlar için türbin uygulamasının ekonomik olacağı bu debinin altındaki istasyonlar için ise vorteks tüp uygulamalarının ekonomik açıdan daha uygun

olacağı görülmüştür.

Yılmaz vd. (2007), Erzurum (RMS/A) istasyonunda yapılan incelemeye göre ısıtılarak şehir içi dağıtımı sağlanan doğalgaz miktarı ve gazın ısıtılması aşamasında sarf edilen gaz miktarı tespit edilmiştir. Isıtma işleminde vorteks tüplerin kullanılması sayesinde harcanacak miktarda gaz tasarrufu sağlanmış olacağı ve ısıtıcı sisteminin kullandığı elektrik enerjisinden de tasarruf sağlanacağı sonucu elde edilmiştir. Erzurum (RMS/A) istasyonu ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar ile vorteks tüp kullanımının önem taşıyan faydalar sağlayabileceği gösterilmiştir.

Aytaş (2014), İstanbul ilindeki doğalgaz basınç düşürme istasyonlarında debi, basınç gibi parametreler incelenmiştir. Genleşme motoru kullanılarak elektrik üretilmesi açısından Ambarlı (RMS/A) istasyonu uygun bulunmuştur. Ambarlı (RMS/A) istasyonu üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde 12MW 'lık enerji üretim kapasitesinin olduğu tespiti yapılmıştır. Geri ödeme oranı metodu ile sistemin yaklaşık 4 yıl gibi bir sürede kar etmeye başlayacağı öngörülmüştür.

Yeniçağ (2020), Doğalgaz basınç düşürme istasyonları için aylık bazı doğalgaz çekiş miktarları ve ortalaması alınmış işletme değerleri irdelenmiştir. Çalışmada yüksek basınçlı doğalgazın basınç düşümünden sonra ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin bir kısmını güneş paneli ile karşılamak amaçlanmıştır. 1440 sm³/h çekişli bir istasyonda, ısıtma için gerekli olan enerji miktarı 426.477,36 kcal/gün, enerji üretimi için kurulacak sistem ise, günde 202.803,2 kcal/gün enerji üretecek şekilde hesaplanmıştır. Sistemin kendini amorti edeceği süre 5 yıl olarak hesaplanmıştır.

Üçok (2018), İzmir ilindeki basınç düşürme ve ölçüm istasyonları için turbo gaz genleştiricilerinin kullanılarak, elektrik enerjisi üretebilme kapasitesi incelenmiş, teknik ve ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler ile enerjinin geri kazanılabilir olması bakımından Kemalpaşa (RMS/A), Tüpraş (RMS/A), Aliğa II (RMS/A) ve Buca (RMS/A) istasyonlarında gaz genleşme türbini kullanımının ekonomik anlamda avantaj sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Kostowski (2010), iletim hattı ön ısıtma ve basınç düşürme hattını birlikte analiz ederek inceleme yapmıştır. Gazdaki akışın sabit olmadığı ve düzensiz bir seyir izlediğinin tespiti yapılmıştır. Türbin tipi gaz genleştiricinin tesisat hattına paralel olarak konumlandırıldığı pozisyon üzerinden incelemeler ve ekonomik analiz yapılmıştır. Net şimdiki değer metodu ile yatırımın geri dönüş süresi 7 yıl

gibi süre olarak hesaplanmıştır.

Neşeli (2014), iki adet basınç düşürme ve ölçüm istasyonu ile ilgili olarak enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Giriş basıncı ve çıkış basıncı ortalamaları, sıcaklık, debi, ön ısıtma ihtiyacı, kazan, eşanjör enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Sistemin üretebileceği yaklaşık 500 kW kurulu güç ve yıllık elektrik enerjisi değerleri tespit edilmiştir.

Üçok (2018), İzmir ilindeki basınç düşürme ve ölçüm istasyonları için türbin tip gaz genleştiricilerinin kullanılarak, elektrik enerjisi üretebilme kapasitesi incelenmiş, teknik ve ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler ile enerjinin geri kazanılabilir olması bakımından Kemalpaşa (RMS/A), Tüpraş (RMS/A), Aliğa II (RMS/A) ve Buca (RMS/A) istasyonlarında gaz genleşme türbini kullanımının ekonomik anlamda avantaj sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Aytaş (2014), İstanbul ilindeki doğalgaz basınç düşürme istasyonlarında debi, basınç gibi parametreler incelenmiştir. Genleşme türbini kullanılarak elektrik üretilmesi açısından Ambarlı (RMS/A) istasyonu uygun bulunmuştur. Ambarlı (RMS/A) istasyonu üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde 12MW ‘lık enerji üretim kapasitesinin olduğu tespiti yapılmıştır. Geri ödeme oranı metodu ile sistemin yaklaşık 4 yıl gibi bir sürede kar etmeye başlayacağı öngörülmüştür.

2. (RMS/A) TİPİ DOĞALGAZ BASINÇ DÜŞÜRME VE ÖLÇÜM İSTASYONLARI

Yüksek basınçlı iletim hatları ile taşınan doğalgaz şehir girişlerinde istasyonlar vasıtasıyla basınç düşürme işlemine tabii tutulurlar. Taşınma mesafeleri kısaldığından ve talep edilen basınç sınıfı daha düşük olduğundan dolayı bu işleme ihtiyaç duyulur. Tüketim noktalarına kadar taşınma esnasında basınç düşümü kademeli olarak gerçekleşmektedir. Bu amaç ile tasarlanan basınç düşürme istasyonları (RMS/A), (RMS/B) ve (RMS/C) tipi olmak üzere 3 değişik kategoridedir. Bu çalışmada ise Anadolu’da bulunan bir şehrimize ait 2 ayrı (RMS/A) tipi basınç düşürme ve ölçüm istasyonunun bir yıllık verileri dikkate alınmıştır.

(RMS-A) Tipi Basınç Düşürme İstasyonu şehirlerin girişinde bulunurlar. Bu istasyonlarda 35-75 bar aralığında iletim hatlarından gelen yüksek basınçlı gazı 12 ila 19 bar aralıklarına düşürme işlemi gerçekleştirir. Basınç düşümünde ilk

kademeyi oluştururlar.

İstasyon kurulumundaki temel hedef, basınç düşürülmesidir. Filtre ve ısıtıcı benzeri ekipmanlar, regülatör öncesi sağlıklı bir sistem kurulmasını hedefleyen ekipmanlardır. İstasyonlarda basınç düşürülmesi işlemi regülatörler vasıtasıyla yapılmaktadır.

Regülatörlerin genel olarak yay tahrikli ve pilot tahrikli çeşitleri vardır. Yay tahrikli regülatörlerde yayın talep edilen çıkış basıncına göre ayarlaması yapılır. Çıkış basıncı, yayın kuvvetinden daha düşük olur ise, yay diyaframı ittirir ve vana açılır. Pilot tahrikli regülatörlerde de ana kriter çıkıştaki basıncının istenen değeridir. Çıkış basıncında oluşan minimum basınç değişimlerinin vanaya iletimi sağlanır.

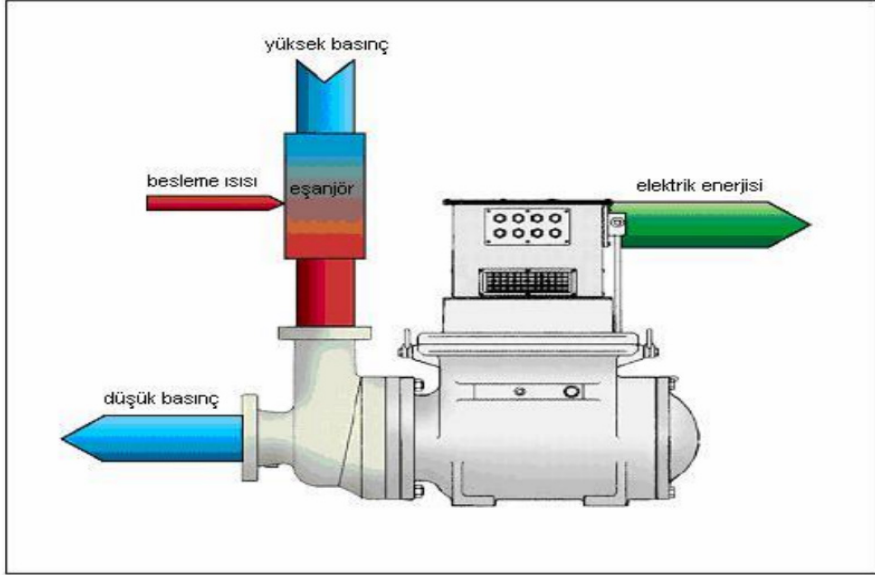
Regülasyon işlemi, birbirlerine seri olarak bağlanan iki adet pilot tahrikli regülatör vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Regülatörler, diyaframlara etki eden basınç farkı doğrultusunda açılma ve kapanma hareketi gösterir. Regülatörün çıkış tarafından sonrasından alınan basınç değerleri üst taraftan verilerek kapatma hareketi için etki yaparken pilot ile iletilen sinyaller doğrultusunda açma için etkisi, üstten verilerek kapatma yönünde etkileme yapılırken, pilottan iletilen sinyal doğrultusunda açma hareketi için etkilemektedir. Gaz çıkışındaki basınç düşük ise vana açılma hareketi yapacaktır.

3. GENLEŞME TÜRBİNLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Genleşme türbinleri buhar türbinine benzeyen kendi eksenleri etrafında dönen genleşme türbinleridir. Temel olarak basınç düşürmek amacı için kullanılmasının yanı sıra aynı zamanda mekanik enerji de sağlamaktadır.

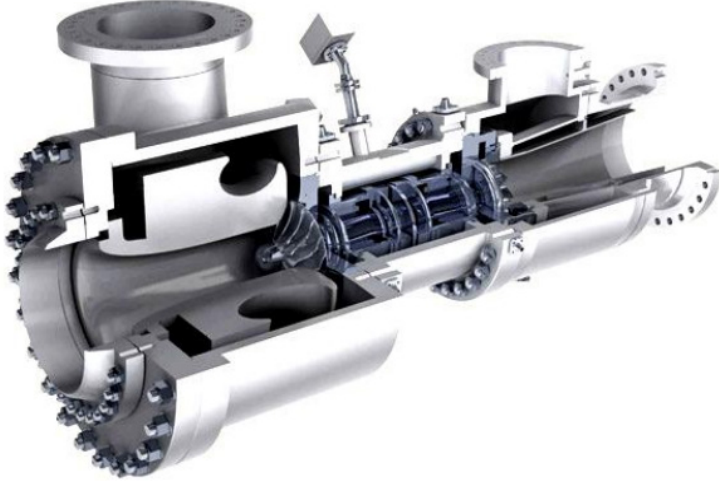
Standart basınç düşürme regülatörleri genel olarak tasarım parametreleri doğrultusunda kademeli olarak basıncı düşürmektedir. Gaz genleşme türbini ise doğalgazın kademeli bir şekilde genişletilmesini sağlamakta ve talep edilen çıkış basınç değerinde dağıtım şebekesine iletmektedir. İlk kademede akış kılavuz vanaları içerisinden geçer ve bir miktar basınç düşümü gerçekleşir. İkinci kademede de çarkın içerisinden geçerek istenilen basınç değerine düşürülür. Türbinin içinde hem ısı kaybı hem de aynı zamanda basınç düşüşü olur. Türbin çarkı böylelikle statik ısı enerjisini kinetik enerjiye dönüştürür, gazın basıncını düşürerek iş elde edilmesini sağlar. Enerji kazanımı uygulamasında, genleşmeden elde edilen enerji jeneratöre iletilir. Genleşme türbini ve jeneratörün aralarında

dişli kutusu yer almaktadır (Üçok, 2018). Şekil 1’de genleşme türbinin çalışmasının şematik gösterimi ve Şekil 2’ de ise genleşme türbininin kesit görüntüsü verilmiştir.



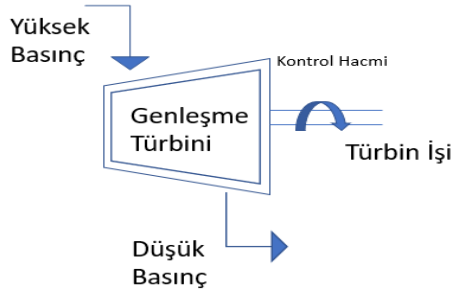
Şekil 1: Genleşme Türbinin Çalışmasının Şematik Gösterimi (MTG RMG) (Üçok, 2018)

Genleşme türbininde basıncın düşürülmesi işlemi doğalgazın türbin kanatlarına çarpması ile iş elde edilmesi şeklinde gerçekleşir. Genleşme türbini bulundurulması planlanan basınç düşüm istasyonunun, standart bir basınç düşürme istasyonuna paralel bir şekilde kullanımı sağlanabilir. İstasyonda tam kapasiteli ve güvenli olarak çalışma gerçekleştirebilmek amacıyla genleşme türbininin mevcut çalışma aralıklarının dışında çalışılmalıdır (Üçok, 2018).



Şekil 2: Genleşme Türbin Kesit Görünümü (Üçok, 2018)

Genleşme türbinli sistemler; basınç farkından enerji eldesi sağlayabilmek için tasarımı yapılmış sistemlerdir. Bu sisteme ait şema aşağıda Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3: Genleşme Türbinli Sistem için Şematik Görünüm (Özbudaklar 2024)

Doğalgazın basınç düşürme işlemi sonrasında sıcaklık da düşer. Bu sıcaklık düşümü genleşme türbininde 1 barlık basınç düşümü için yaklaşık olarak 1,5 °C kabul edilmektedir. Eşanjör çıkışındaki basınç ile türbin girişindeki basınç değerleri eşit olarak kabul edilmektedir. Şekil 4’ de A ve B ile gösterilen

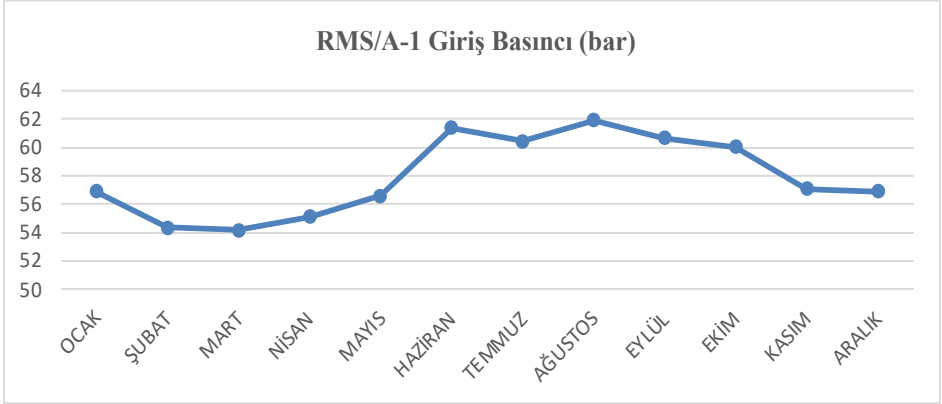
The diagram illustrates a gas turbine cycle. It starts with a compressor (Genleşme Türbini) that takes in air at state 1 (pressure P_1 , temperature T_1 , enthalpy h_1) and compresses it to state 2 (pressure P_2 , temperature T_2 , enthalpy h_2). The compressed air then enters the combustor (Isı Değiştirici) where fuel is added and ignited. The hot gases expand through the turbine (Türbin Giriş), which drives the compressor. The turbine inlet is at state 3 (pressure P_3 , temperature T_3 , enthalpy h_3). The exhaust gases exit the turbine at state 4 (pressure P_4 , temperature T_4 , enthalpy h_4) and are then cooled in the combustor before being exhausted to the atmosphere (Gaz Çıkışı).

4. GENLEŞME TÜRBİNİ KULLANILABİLİRLİĞİNİN (RMS/A) VERİLERİ BAZINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

(RMS/A-1) için 2022 yılı işletme verileri irdelenmiştir. 2022 Ocak ayı doğal gaz çekiş miktarı 189,4 m³/h olarak kayıtlara geçmiştir. Bu çekiş değeri çok küçük miktarda olduğundan dolayı ocak ayı içerisinde istasyonun çalışmadığı düşünülerek hesaplamalarda göz ardı edilecek ve kalan 11 aylık süre dikkate alınacaktır.

4.1. (RMS/A)-1 Giriş Basıncı

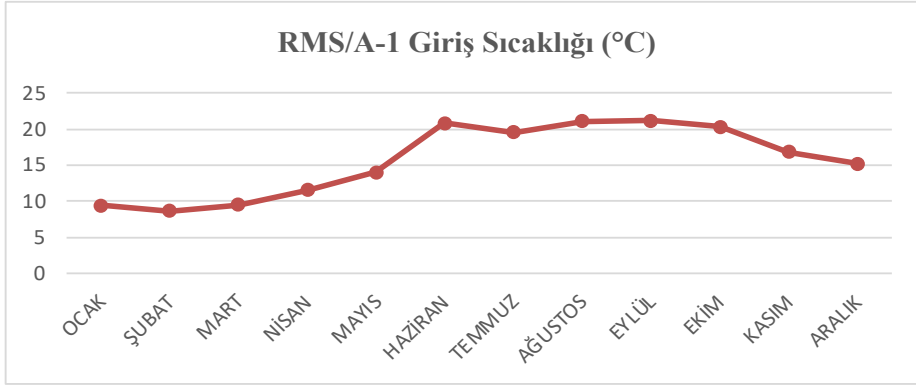
(RMS/A-1) için 2022 yılı doğal gaz (RMS/A) giriş basıncı verileri 54,2 -61,9 bar değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İlgili istasyonun 2022 yılına ait verilerinde giriş basınç değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5: (RMS/A-1) 2022 Yılı Giriş Basıncı Verileri

4.2. (RMS/A-1) Ön Isıtma Öncesinde Giriş Sıcaklığı

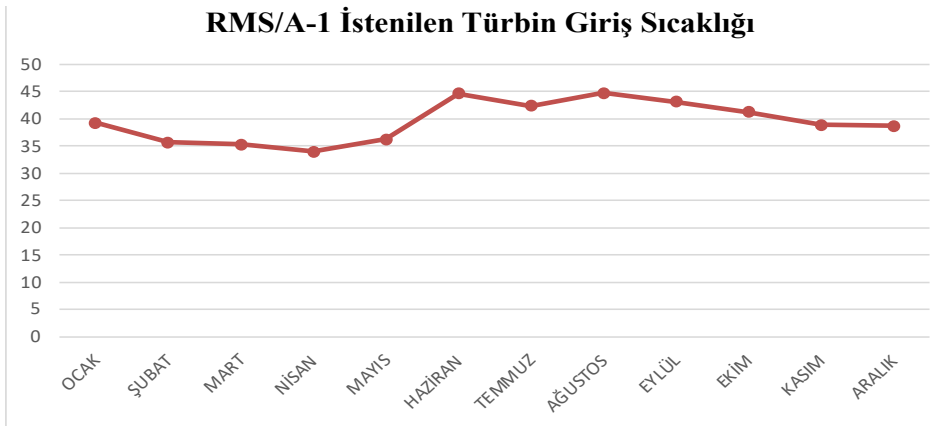
(RMS/A-1) için 2022 yılında doğal gazın istasyon giriş sıcaklık değerleri 8,7-21,2 °C arasında değişim göstermektedir. Yaz döneminde (RMS/A-1) girişi sıcaklık verilerinin, farklı zamanlardaki verilerden daha yüksek olduğu, 21,2 °C ile en yüksek ortalamanın eylül ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durum gaz genleştirici ile elde edilecek güç miktarına pozitif olarak etki etmektedir. Ön ısıtmaya duyulan ihtiyaç bu dönemde daha az olacaktır. 2022 yılı için ön ısıtmanın öncesindeki giriş sıcaklığı verileri Şekil 6’da verilmektedir.



Şekil 6: (RMS/A-1) 2022 Yılı Giriş Sıcaklığı Verileri

4.3. (RMS/A-1) Türbin Girişinde Olması İstenen Giriş Sıcaklığı

(RMS/A-1) için 2022 yılı doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonunda türbin girişi öncesi olması istenilen giriş sıcaklığı 34 - 45 °C aralığındadır. Bu hesaplama basınç kaybının sıcaklık düşüşü üzerindeki etkisinin 10 barlık basınç düşüşünde, 15 °C sıcaklık düşüşü olduğu kabulü ile hesaplanmıştır. Türbin girişinde olması istenen giriş sıcaklık değeri giriş ve çıkıştaki basınç farkının düşmesi sonucunda düşük değerler içermektedir. Bunun sonucu olarak ön ısıtma ihtiyacı için harcanacak olan doğal gazın oranını düşürmekte olup genleşme türbininin sağlayabileceği güç eldesini ise negatif olarak etkilemektedir. (RMS/A-1) için 2022 yılı türbin girişinde olması istenen giriş sıcaklığı değerleri Şekil 7’de verilmiştir.



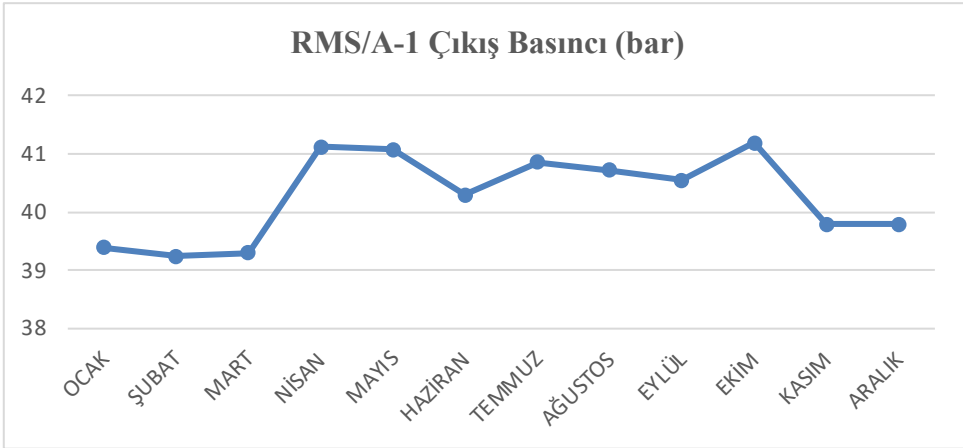
Şekil 7: (RMS/A-1) 2022 Yılı İstenilen Türbin Giriş Sıcaklığı

4.4. (RMS/A-1) Çıkış Sıcaklığı

(RMS/A-1) çıkış sıcaklığının değeri çıkış hattı ile istasyon çıkışından sonraki orta basınçtaki hat şebekeleri üzerinde hasarlara sebebiyet verebilir. Çıkış sıcaklıkları faturalandırmaya esas değer olan 15 °C altına düşürülmemesi amaçlanmaktadır. Ön ısıtmada avantaj sağlayabilmek adına çıkış sıcaklığı 15 °C'nin altındaki değerlerde tutulabilir. Ancak böyle bir durumda boru hattı, hat üzerindeki ekipmanlar için hasarlar meydana getirmeyecek seviyelerde olmalıdır.

4.5. (RMS/A-1) Çıkış Basıncı

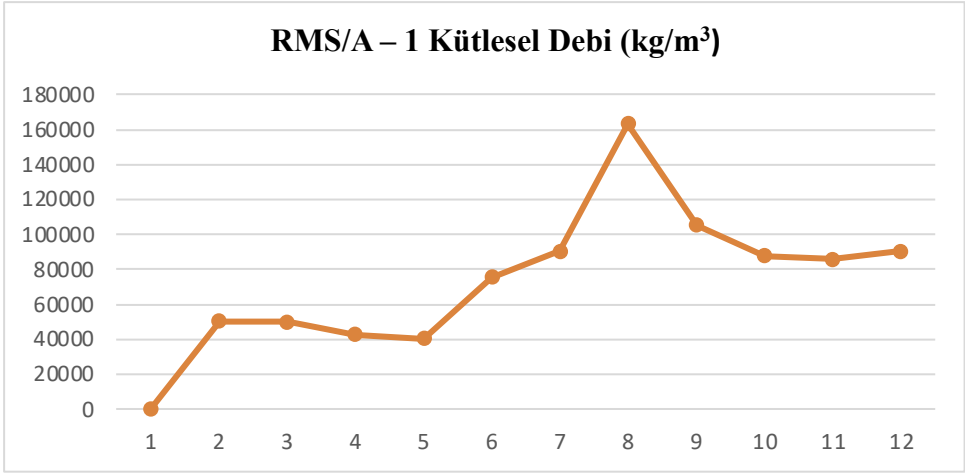
(RMS/A-1) için 2022 yılı basınç düşürme ve ölçüm istasyonu çıkış basıncı yaklaşık olarak 40 bar olduğu görülmektedir. Çıkış basıncının yüksek oluşu basınç farkının azalttığından dolayı genleşme türbini tarafından sağlanabilecek güç verisini negatif yönde etkilemektedir. (RMS/A-1) için 2022 yılı aylık ortalama çıkış basınçları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: (RMS/A-1) 2022 Yılı Çıkış Basıncı Verileri

4.6. (RMS/A-1) Kütlesel Debi

Yoğunluk değerinin 0,79 kg/Sm³ kabulü ile hacimsel debi değerlerinin 51.166 - 206.480 Sm³/h olması sonucunda (RMS/A-1) için 2022 yılı verilerine göre kütlesel debi 40.421 - 163.119 kg/h aralığındadır. 2022 yılı için kütlesel debi değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. (RMS/A-1) 2022 Yılı Kütlesel Debi Verileri

(RMS/A-1) için 2022 yılı işletme verileri irdelenmiştir. 2022 Ocak ayı doğal gaz çekiş miktarı 189,4 m³/h olarak kayıtlara geçmiştir. Bu çekiş değeri çok küçük miktarda olduğundan dolayı ocak ayı içerisinde istasyonun çalışmadığı düşünülmüş hesaplamalarda göz ardı edilmiş ve kalan 11 aylık süre dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada (RMS/A) istasyonlarında gaz genleşme türbini kullanılarak elde edilecek elektrik enerjisinin hesaplaması yapılmıştır. Bu kapsamda bir önceki bölümde yer alan değerler dikkate alınmıştır. İlk olarak (RMS/A-1) için hesaplamalara yer verilmiştir. Hesaplamalarda türbin çıkışında elde edilmesi istenen sıcaklığı elde edebilmek için Hammerschmidt korelasyonu kullanılmıştır.

Tablo 1: (RMS/A-1) 2022 Yılı Aylık Ortalama İşletme Verileri

Aylar	Aylık Giriş Basıncı Ortalaması (bar)	Aylık Giriş Sıcaklığı Ortalaması (°C)	Aylık Çıkış Basıncı Ortalaması (bar)	Aylık Hacimsel Debi Ortalaması (m³/h)
Ocak	56,9	9,4	39,4	189
Şubat	54,3	8,7	39,2	63 586
Mart	54,2	9,5	39,3	63 278
Nisan	55,1	11,5	41,1	53 911
Mayıs	56,6	14,0	41,1	51 166
Haziran	61,4	20,8	40,3	95 376
Temmuz	60,4	19,6	40,9	114 632
Ağustos	61,9	21,1	40,7	206 480
Eylül	60,6	21,2	40,5	133 360
Ekim	60,1	20,3	41,2	111 185
Kasım	57,1	16,8	39,8	108 821
Aralık	56,9	15,2	39,8	114 479
Ortalama	58,1	16,2	40,4	101 479

$$T = 8,9 \times P^{0,285} \quad (1)$$

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$$

$$T = 8,9 \times (40,4 \times 14,5)^{0,285} = 54,73^\circ\text{F}$$

$$T = (54,73 - 32) / 1,8$$

$$T = 12,63^\circ\text{C}$$

olarak bulunur. Bu değer hesaplamalarda yaklaşık olarak 13 °C olarak dikkate alınmıştır.

Genleşme türbininde gerçekleşen her 1 bar basınç düşümüne karşılık olarak 1,5 °C sıcaklık kaybı meydana geldiği varsayımı ile hesaplama yapılacaktır. Toplam basınç kaybı ortalama değer üzerinden göz önüne alındığında giriş sıcaklığı 40°C olarak ele alınmıştır. Hesaplama debi miktarlarından yola

çıkarak öncelikli olarak maksimum enerji bulunacaktır. Türbin girişindeki gazın %100 metan ve özgül ısısının (cp) sabit olduğu kabulü yapılmıştır.

$$C_p = 2,2537 \text{ kJ / kg. } ^\circ\text{C}$$

Birim kütledeki iş,

$$w = h_g - h_{\dot{\varsigma}} = c_p (T_g - T_{\dot{\varsigma}}) \quad (2)$$

$$w = 2,2537 \times (40 - 13) = 60,85 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

$$\dot{V} = 101.479,8 \text{ Sm}^3/\text{h}$$

$$d = 0,79 \text{ kg / m}^3$$

$$\dot{m} = 101.479,8 \times 0,79 = 80.169,04 \text{ kg/h}$$

$$\dot{W} = \dot{m} \times w \quad (3)$$

$$\dot{W} = 80.169,04 \text{ kg/h} \times 60,85 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W} = 4.878.286,08 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{W} = 4.878.286,08 \text{ kJ/h} / 3600 = 1.355,08 \text{ kw}$$

$$1.355,08 \text{ kw} = 1,36 \text{ MW}$$

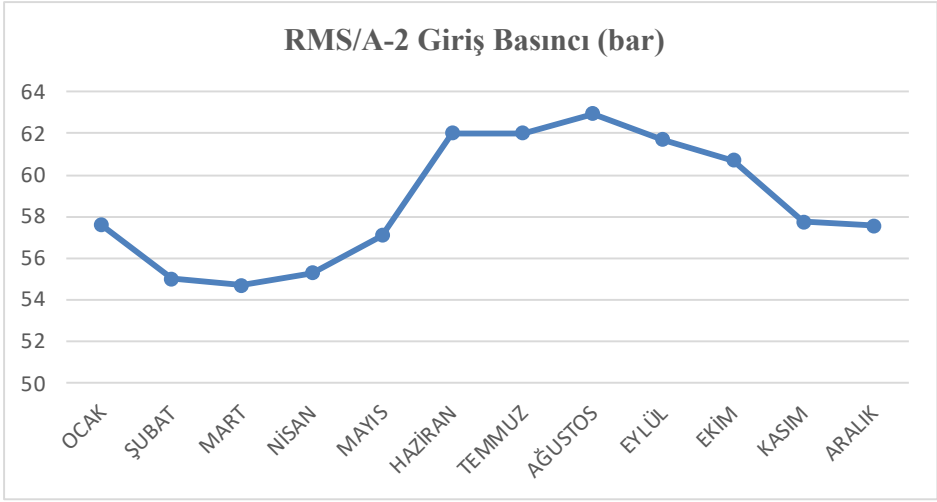
Sistemin verimi % 95 kabul $\eta_{sis} = 0,95$ olup;

$$P = \dot{W} \times \eta_{sis} \quad (4)$$

$$P = 1,36 \times 0,95 = 1,29 \text{ MW olur.}$$

4.7. (RMS/A-2) Giriş Basıncı

(RMS/A-2) için 2022 yılı doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonu giriş basıncı verileri 54,7.-63 bar değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İlgili istasyonun 2022 yılına ait verilerinde giriş basınç değerleri Şekil 10’da gösterilmiştir.



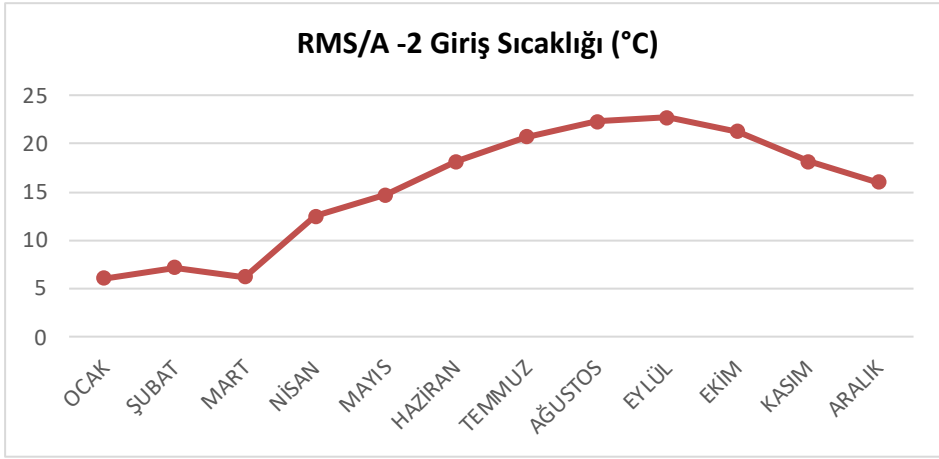
Şekil 10: (RMS/A-2) 2022 Yılı Giriş Basıncı Verileri

4.8. (RMS/A-2) Ön Isıtma İşlemi Öncesinde Giriş Sıcaklığı

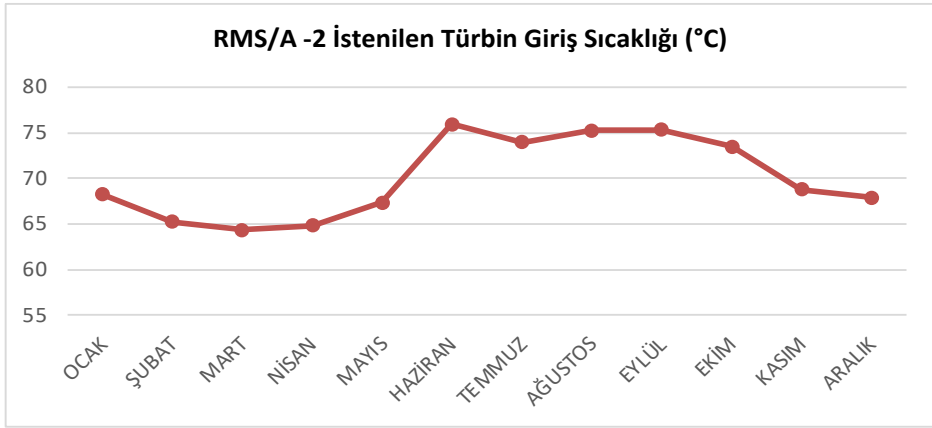
(RMS/A-2) için 2022 yılı doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonu giriş sıcaklığı (6,1-22,8 °C) aralığında değişim göstermektedir. Genel olarak yaz döneminde (RMS/A-2) giriş sıcaklık verilerinin, diğer zamanlardaki verilerden daha yüksek olduğu, ancak 22,8 °C ile en yüksek ortalamanın eylül ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durum gaz genleştirici ile elde edilecek güç miktarına pozitif yönde etki etmektedir. Ön ısıtmaya duyulan ihtiyaç bu dönemde daha az olacaktır. 2022 yılı için ön ısıtmanın öncesindeki giriş sıcaklıkları Şekil 11’de gösterilmiştir.

4.9. (RMS/A-2) Türbin Girişinde Olması İstenen Giriş Sıcaklığı

(RMS/A-2) için 2022 yılı doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonunda türbin girişi öncesi olması istenilen giriş sıcaklığı 64-76 °C aralığındadır. Bu hesaplama basınç kaybının sıcaklık düşüşü üzerindeki etkisinin 10 barlık basınç düşüşünde, 15 °C sıcaklık düşüşü olduğu kabulü ile hesaplanmıştır. (RMS/A-2) için 2022 yılı türbin girişinde olması istenilen giriş sıcaklığı değerleri Şekil 12’de verilmiştir.



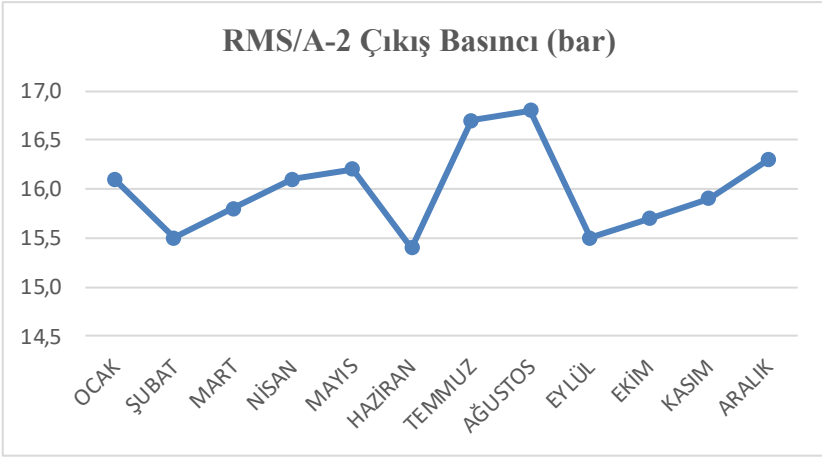
Şekil 11: (RMS/A-2) 2022 Yılı Giriş Sıcaklık Verileri



Şekil 12: (RMS/A-2) İstenilen Türbin Giriş Sıcaklığı

4.10. (RMS/A-2) Çıkış Basıncı

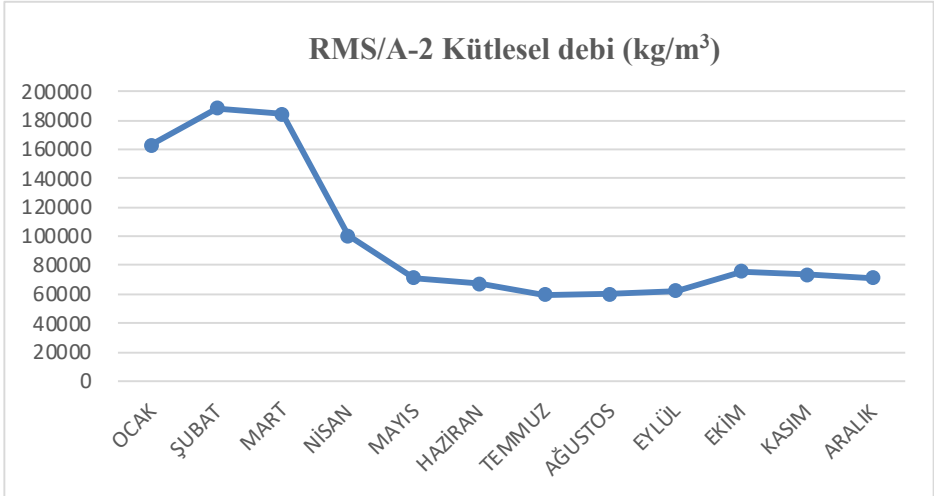
(RMS/A-2) için 2022 yılı doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonu çıkış basıncı yaklaşık olarak 16 bar olduğu görülmektedir. (RMS/A-2) için 2022 yılı aylık ortalama çıkış basınçları Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13: (RMS/A-2) 2022 Yılı Çıkış Basıncı Verileri

4.11. (RMS/A-2) Kütlesel Debi

Yoğunluk değerinin $0,79 \text{ kg/Sm}^3$ kabulü ile hacimsel debi değerlerinin $75.419\text{-}238.255 \text{ Sm}^3/\text{h}$ olması sonucunda (RMS/A-2) için 2022 yılı verilerine göre kütlesel debi $59.581\text{-}188.221 \text{ kg/h}$ aralığındadır. 2022 yılı için kütlesel debi değerleri Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14: (RMS/A-2) 2022 Yılı Aylık Ortalama İşletme Verileri

2022 yılı için aylık ortalama işletme verileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo.2: (RMS/A-2) 2022 Yılı Aylık Ortalama İşletme Verileri

Aylar	Aylık Ortalama Giriş Basıncı (bar)	Aylık Ortalama Giriş Sıcaklığı (°C)	Aylık Ortalama Çıkış Basıncı (bar)	Hacimsel Debi (m ³ /h)
Ocak	57,6	6,1	16,1	206 273
Şubat	55,0	7,2	15,5	238 255
Mart	54,7	6,2	15,8	233 525
Nisan	55,3	12,5	16,1	126 829
Mayıs	57,1	14,7	16,2	90 205
Haziran	62,0	18,2	15,4	85 402
Temmuz	62,0	20,7	16,7	75 419
Ağustos	63,0	22,3	16,8	75 938
Eylül	61,7	22,8	15,5	78 775
Ekim	60,7	21,3	15,7	96 022
Kasım	57,8	18,2	15,9	93 200
Aralık	57,6	16,0	16,3	90 200
Ortalama	58,7	15,5	16,0	124 170,3

Hesaplamalarda türbin çıkışında elde edilmesi istenen sıcaklığı elde edebilmek için Hammerschmidt korelasyonu kullanılırsa;

$$T = 8,9 \times P^{0,285}$$

$$T = 8,9 \times (16 \times 14,5)^{0,285} = 42^{\circ}\text{F}$$

Çıkış sıcaklığı 6 olarak dikkate alınmıştır. Enerji kazanım değerleri, regülatör kullanılması durumu ve genleşme türbini kullanılması durumunda oluşacak ön ısıtma ihtiyaçları aşağıda hesaplanmıştır.

Birim kütledeki iş,

$$T = (42 - 32) / 1,8$$

$$T = 5,57^{\circ}\text{C}$$

olarak bulunur.

$$w = hg - hç = cp (Tg - Tç)$$

$$w = 2,2537 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (70 - 6)^\circ\text{C} = 144,24 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{V} = 124.170,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$d = 0,79 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = 124.170,3 \times 0,79 = 98.094,54 \text{ kg/h}$$

$$\dot{W} = \dot{m} \times w$$

$$\dot{W} = 98.094,54 \text{ kg/h} \times 144,24 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W} = 14.149.156,4 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{W} = 14.149.156,4 \text{ kJ/h} / 3600 = 3.930,32 \text{ kw}$$

$$3.930,32 \text{ kw} = 3,93 \text{ MW}$$

Sistemin verimi % 95 $\eta_{sis} = 0,95$ olup;
kabul edilirse

$$P = \dot{W} \times \eta_{sis}$$

$$P = 3,93 \times 0,95 = 3,73 \text{ MW} \text{ olur.}$$

Genleşme türbini kullanılması durumunda gerekli olan ön ısıtma ihtiyacı;

$$Q_t = \dot{m}_{dgaz} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (5)$$

$$Q_t = 98.094,5 \text{ kg/h} * 2,2537 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (70 - 15,5)^\circ\text{C}$$

$$Q = 12.048.623 \text{ kJ/h}$$

$$Q_t = 12.048.623 \text{ kJ/h} / (4,1867 \text{ kJ/kcal}) = 2.877.832,9 \text{ kcal/h}$$

1 m³ doğalgazın alt ısı değeri 8250kcal/m³ kabulü ile ihtiyaç duyulan doğal gaz debisi;

$$2.877.832,9 \text{ kcal/h} / (8250 \text{ kcal/m}^3) = 348,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak bulunur.

Kısılma vanası (regülatör) kullanılması durumunda gerekli olan ön ısıtma ihtiyacı;

$$Q_{kv} = 98.094,5 \text{ kg/h} * 2,2537 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} * (27 - 15,5)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{kv} = 2.542.370 \text{ kJ/h} = 607.249 \text{ kcal/h}$$

olarak hesaplanır. İhtiyaç duyulan doğal gaz debisi ise;

$$607.249 \text{ kcal/h} / (8250 \text{ kcal/m}^3) = 73,61 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bulunur.}$$

Kısılma vanası ve türbin kullanılması durumunda hesaplanan ön ısıtma ihtiyaçları ve gerekli saatlik gaz debisi Tablo 3 ve Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 3: (RMS/A-2) Ön Isıtma İhtiyacı (Türbin)

İstenilen Türbin Girişi Sıcaklığı (°C)	Ön Isıtma Enerjisi (kJ/h)	Ön Isıtma Enerjisi (kcal/h)	Ön Isıtmada Kullanılan Doğal gaz Debisi (m ³ /h)
70	12 048 623	2 877 833	348,8

Tablo 4: (RMS/A-2) Ön Isıtma İhtiyacı (Regülatör)

İstenilen Regülatör Giriş Sıcaklığı (°C)	Ön Isıtma Enerjisi (kJ/h)	Ön Isıtma Enerjisi (kcal/h)	Ön Isıtmada Kullanılan Doğal gaz Debisi (m ³ /h)
27	2 542 370	607 249	73,61

Yapılan inceleme neticesinde 2 ayrı istasyon için tüm yıl boyu sistem üzerinden geçecek gazın tamamının türbinden geçmesi koşulu ile üretebilecekleri enerji miktarları hesaplanmıştır. Uygulanacak genleşme türbini sisteminin (RMS/A-1) ve (RMS/A-2) için geçen debi miktarlarının yüksek olduğu ancak çıkış basıncına bağlı olarak (RMS/A-2) istasyonunda daha yüksek oranda türbin gücü elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. (RMS/A-2) debi miktarlarının 75.419 Sm³/h ile 238.255 Sm³/h arasında olduğu için genleşme türbininin bu istasyonda

kurulmasının daha uygun olduğu görülmüştür. Bu sebeple sistemin ekonomik analizi (RMS/A-2) için yapılmıştır.

5. GENLEŞME TÜRBİNİ SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Ekonomik analizin yapılması için yıllık değer metodu kullanılacaktır. Bu metotla para girişi çıkışları için yıllık değer bazında kıyaslama yapılabilir; gelir ve gider ayrımları yapılarak net kar hesaplanır. (YENK) (RMS/A-2)'de yıllık üretim yapılabilecek elektrik miktarının hesabı yapılmıştır. Hesaplamalarda yıllık geri dönüş miktarını bulmak için elektriğin fiyatı 0,075 \$/kWh, doğal gazın ise 0,56 \$/ Sm³ olarak değerlendirilmiştir. Kredinin geri ödenme süresi ve Yatırım ömrünün 20 yıl olduğu değerlendirilecek ve yıl bazında %95 çalışma performansı öngörülerek yıllık olarak 8.322 saat kullanım kabulü yapılmıştır. Yıllık faiz oranı %8 alınmıştır.

$$E_e = P_{an} \Delta t e_e \quad (6)$$

P_{an} = Radyal Türbin gücü, Δt = yıllık işletme saati, e_e = elektrik birim fiyatı'dır.

$$\begin{aligned} E_e &= 3.730 \text{ kw} \times 8.322 \text{ h} \times 0,075 \text{ \$/kWh} \\ &= 2.323.080 \text{ \$ /Yıl} \end{aligned}$$

Yıllık gider hesabı için;

Ön ısıtmada harcanacak enerji gideri (C_E), geri ödeme maliyeti (C_K), yıllık bakım ve onarım giderleri (C_O) bulunacaktır.

$$C = C_k + C_E + C_O \quad (7)$$

$$C_k = I_A \left(\frac{1}{i_n} \right) \quad (8)$$

$$\left(\frac{1}{i_n} \right) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (9)$$

Kullanılması tasarlanan genleşme türbininin (turbo expander) maliyeti ve kurulum giderleri de dahil toplam 5.500.000 \$'dır.

Ön ısıtma için harcanan enerji gideri;

$$C_E = C_Q + C_p \quad (10)$$

$$C_Q = Q_{yıl} \cdot e_d \quad (11)$$

$$C_{Qnet} = C_{Qtürbin} - C_{Qregülatör} \quad (12)$$

$$C_{Qtürbin} = 348,8 \text{ Sm}^3/h \cdot 8.322 \text{ h} \cdot 0,56 \text{ \$/Sm}^3$$

$$C_{Qtürbin} = 1.625,520 \text{ \$ / yıl}$$

$$C_{Qregülatör} = 73,61 \text{ Sm}^3/h \cdot 8.322 \text{ h} \cdot 0,56 \text{ \$/Sm}^3$$

$$C_{Qregülatör} = 343.046 \text{ \$ / yıl}$$

$$C_{Qnet} = 1.282.474 \text{ \$ / yıl}$$

Yardımcı üniteler için enerji maliyeti

$$C_p = 0,02 \cdot P_{an} \cdot \Delta t \cdot e_e \quad (13)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 3.730 \text{ kw} \cdot 8.322 \text{ h} \cdot 0,075 \text{ \$/kwh}$$

$$C_p = 46.561,59 \text{ \$ / yıl}$$

Üretilen toplam genişletirici gücünün %2’si yardımcı ünitelerde sarfiyat olarak kabul edilmiştir.

Tesisin bakım – onarım giderlerinin maliyeti,

$$C_o = 0,05 \cdot P_{an} \cdot \Delta t \cdot e_e \quad (14)$$

$$C_o = 0,05 \cdot 3.730 \text{ kw} \cdot 8.322 \text{ h} \cdot 0,075 \text{ \$/kWh}$$

$$C_o = 116.403,98 \text{ \$ / yıl}$$

Bakım onarım giderinin üretilen toplam genişletirici gücünün %5’i kadar olduğu kabulü yapılmıştır.

Yıllık toplam gider;

$$C = 2.005.627 \text{ \$ / yıl}$$

Yıllık elde edilen kar,

$$G = E_e - C \quad (15)$$

$$G = 2.328.080 - 2.005.627 \text{ \$ /yıl}$$

$$G = 322.453 \text{ \$ /yıl}$$

Yapılan maliyet analizinde (RMS/A-2) istasyonu için genişleme türbini sisteminin ekonomik anlamda uygun olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacını her geçen gün daha da arttırmaktadır. Bu yüzden kullanılan ve geliştirilen bütün sistemlerde enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır. Bu durum enerjiyi verimli kullanma zorunluluğunu ve kayıp enerjiden faydalanma ihtiyacını doğurmaktadır.

Basınç düşürme ve ölçüm istasyonları, yüksek basınçta şehir girişine gelen gazın basıncının düşürülerek kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilmesi için kurulan yerlerdir. Bu istasyonlarda doğal gazın basıncının düşürülmesiyle birlikte enerji kaybı da oluşmaktadır.

(RMS/A) tipi doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında enerji verimliliğini amaçlayan bu çalışmada vorteks tüplerin istasyonlarda kullanım olanaklarından bahsedilmiş, genişleme türbini kullanılarak istasyonlarda elde edilebilecek güç hesaplanmış ve maliyet analizi yapılmıştır. Anadolu’da bulunan bir şehrimizden alınan 2 farklı (RMS/A) doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonunun 2022 yılı işletme verileri ve ay bazında doğal gaz çekiş miktarları incelenmiştir. İnceleme yapabilmek için tüm yıl boyunca doğal gaz çekişinin aktif olarak sürdüğü istasyonlar seçilmiştir. Genleşme türbini aracılığıyla yüksek basınçtaki doğal gazın, basınç düşürme işleminin gerçekleştirilerek şehir içi dağıtım hattına verilirken oluşan kayıp enerjinin kullanılabilir verimli enerjiye dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Yüksek basınçlı doğal gazın sahip olduğu potansiyel enerjinin dönüşümünde genişleme türbini aracılığıyla basınç düşürülürken oluşacak türbin gücünün, jeneratöre iletilerek elektrik enerjisi üretilmesi hedeflenmiştir.

Yapılan hesaplamalarda, yıl içerisinde istasyondan geçen debi miktarına bağlı olarak (RMS/A-1)’in 1.290 kw, (RMS/A-2)’nin ise 3.730 kw değerinde

güç üretilebileceği görülmüştür.

(RMS/A-2) istasyonunda daha yüksek türbin gücü elde edilebileceği ve istasyon debi değerlerinin de 75.419 Sm³/h ile 238.255 Sm³/h arasında olmasından dolayı genleşme türbin sisteminin bu istasyonda kurulmasının daha uygun olacağı öngörülmüştür. Bu sebeple (RMS/A-2) istasyonunda genleşme türbininin kullanımı için ekonomik analiz yapılmıştır. Bu analiz neticesinde ekonomik anlamda uygun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Sistemin ülkemizde bulunan diğer istasyonlarda da uygulanması ekonomik fayda sağlayacaktır. Uygulanabilir istasyonlarda değerlendirmeler yapılarak fayda oranları hesaplanmalıdır. Genleşme türbini sistemi, kurulum maliyetleri açısından ele alındığında, istasyonlarda ön ısıtma ihtiyacını azaltmak ya da ortadan kaldırmak için değerlendirilebilir. Aynı zamanda bu istasyonlarda ön ısıtma ihtiyacı için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma imkânı da sağlanabilir. Bunu sağlayabilmek adına her bir istasyon için teknik ve ekonomik analizler yapılarak uygulanabilirliği değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Aytaş, E. (2014), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında gaz genleşme motoru kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Cengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2008). *Teknik mühendislik yaklaşımıyla* (5. Baskı). İzmir: İzmir Güven Kitapevi.
- Çoşkun, S. (2004). “Doğal gazın sıvılaştırılmasında kullanılan klasik kaskad soğutma sisteminin matematiksel analizi” Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 9(1), 32-33
- Çulun, S. (2022), *Basınçlı doğal gaz hatlarında vorteks tüpünün ısıtma amaçlı olarak kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması*, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl.
- Keleşoğlu, S. (2006), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında enerji geri kazanımının teknik ve ekonomik etüdü*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kibritçi, A. (2014), *Şehir içi doğal gaz basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında (rms-a) enerji tasarruf imkanlarının incelenmesi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.

- Köse, D. (2014), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında enerji geri kazanımının teknik ve ekonomik etüdü*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Neşeli, M. A. (2014), *Thermoeconomic analysis of production of electricity on natural gas pressure reducing stations*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Özbudaklar, E. (2024), *Doğalgaz Basınç Düşürme ve Ölçüm İstasyonlarında Enerji Verimliliği*, Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- Rojey A., Jaffret C., Cornot-Gandolph S., Durand B., Jullin S., Valais M. (1997), *Natural gas production, processing, transport*. Paris: Editions Technip.
- Uraltaş, Y. (2018), *Doğal gaz basınç düşürme ve ölçme istasyonlarında (rms-a istasyonu) elektrik enerjisi üretim imkanlarının incelenmesi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Üçok, T. (2018), *Doğal gaz basınç düşürme istasyonlarında enerji geri kazanımında turbo gaz genleştirici kullanımı ve teknik analizi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- Yeniçağ, Ö. (2020). *Rms-a istasyonlarında enerji verimliliğinin artırılması*, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
- Yılmaz, M., Çelik, A., Kaya, M. ve Bakırcı, K. (2007, 25-28 Ekim). “Vorteks tüplerin Türkiye’deki doğal gaz boru hatlarında kullanım olanakları” VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Yüceer, U. İ. (2020). *Energy recovery at natural gas pressure reduction stations*, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.