



BURSA TECHNICAL
UNIVERSITY

TREEFOR

TREE AND FOREST
AĞAÇ VE ORMAN

Volume: 6 Issue: 1 Year: 2025 e-ISSN: 2757-5349
Cilt: 6 Sayı: 1 Yıl: 2025



TREE AND FOREST
AĞAÇ VE ORMAN

Yıl (Year): 2025 - Cilt (Volume): 6 - Sayı (Issue): 1 - e-ISSN: 2757-5349

İmtiyaz Sahibi - Owner

Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR Bursa Teknik Üniversitesi

DERGİ YAYIN KURULU
EDITORIAL BOARD

Baş Editör – Editor in Chief

Prof. Dr. Neşat ERKAN Bursa Teknik Üniversitesi

Editör Yardımcıları – Assistan Editors

Prof. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Gül SARIKAYA	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Kamil ERKEN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Nevzat GÜRLEVİK	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Doç. Dr. Şükrü Teoman GÜNER	Bartın Üniversitesi

Alan Editörleri – Subject Editors

Prof. Dr. Eylem DİZMAN TOMAK	Bursa Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Gül SARIKAYA	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Bahadır ALTUN	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Dr. Mustafa BATUR	Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü

Dil Editörleri – Language Editors

Prof. Dr. Anıl AKIN TANRIÖVER	Bursa Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mesut UYSAL	Bursa Teknik Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri – Layout Editors

Dr. Öğr. Üyesi İnanç TAŞ	Bursa Teknik Üniversitesi
Arş. Gör. Edanur AYHAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Arş. Gör. Özgenur AYKIN	Bursa Teknik Üniversitesi

Web

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>

Yazışma Adresi

Bursa Teknik Üniversitesi
Mimar Sinan Yerleşkesi
Mimar Sinan Mahallesi, Mimar Sinan Bulvarı, Eflak Caddesi, No:177,
16310 Yıldırım/BURSA

Telefon

0(224) 300 37 95

TREE AND FOREST
AĞAÇ VE ORMAN

e-ISSN: 2757-5349

A peer-reviewed journal, published twice a year (June, December) by Bursa Technical University
Yılda iki sayı olarak (Haziran, Aralık) yayınlanan hakemli bir dergidir. Bursa Teknik Üniversitesi tarafından yayınlanmaktadır.

TREE AND FOREST is a peer-reviewed journal published online and open access. The journal is published in Turkish and English and two issues per year. Scientific articles are published on forest engineering, forest industrial engineering and landscape architecture studies. Articles sent to our journal must be original studies that have not been published in a publication before. Priority is given to studies based on original research and a limited number of compilation articles are published.

AĞAÇ VE ORMAN – TREE AND FOREST online ve açık erişimli yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergi dili Türkçe ve İngilizce'dir ve yılda iki sayı yayınlanmaktadır. Orman mühendisliği, orman endüstri mühendisliği ve peyzaj mimarlığı çalışma konularında bilimsel makaleler yayınlanmaktadır. Dergimize gönderilen makalelerin daha önce bir yayın organında yayınlanmamış orijinal çalışmalar olması gerekmektedir. Orijinal araştırmaya dayalı çalışmalara öncelik verilmekte, sınırlı sayıda derleme makale yayınlanmaktadır.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

	<i>Derleme/Review</i>
Kâğıt geri dönüşümünde temiz üretim / Clean production in paper recycling	1-15
Mesut YAŞAR, Arif KARADEMİR, Lale ÇAĞLAR, Mürşit TETİK	
	<i>Derleme/Review</i>
Atık kağıt üretim süreçlerinde formasyon ve atıkların yönetimi / Formation, wire retention and wastes in waste paper mill	16-28
Arif KARADEMİR, Hülya VARLIBAŞ BAŞBOĞA, Lale ÇAĞLAR	
	<i>Araştırma makalesi/Research article</i>
Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun Fidanlığı / Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun Nursery	29-34
Erhan KILIÇ	
	<i>Araştırma makalesi/Research article</i>
Marmara florasının doğal bitki türleri ile çatı bahçesi tasarımı: Bursa Teknik Üniversitesi örneği / Roof garden design with native plant species of the Marmara flora: The case of Bursa Technical University	35-47
Eray GÜMÜŞ, Kamil ERKEN	
	<i>Araştırma makalesi/Research article</i>
İHA verileri ile ağaç parametrelerinin (ağaç boyu ve tepe tacı genişliği) belirlenmesi / Determination of tree parameters (tree height and crown width) with UAV data	48-59
İnanç TAŞ, Abdullah E. AKAY	
	<i>Derleme/Review</i>
Mobilya sanayisinde kullanılan köpüklerin önemi, kullanım alanları ve özellikleri / The importance, applications, and properties of foams used in the furniture industry	60-68
Turan TUGAY, Muhammed Said FİDAN	
	<i>Araştırma makalesi/Research article</i>
Isıl işleme tabi tutulmuş ahşap malzemelerin boyutsal stabilitesi / Dimensional stability of heat-treated wood materials	69-75
Vahit EŞENER, Eylem DİZMAN TOMAK	



Kâğıt Geri Dönüşümünde Temiz Üretim

Clean Production in Paper Recycling

Mesut Yaşar^{1*} , Arif Karademir¹ , Lale Çağlar¹ , Mürşit Tetik¹

¹ Varaka Kâğıt Sanayi AŞ, 10185 Balıkesir, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 2/10/2024
Kabul Tarihi: 20/11/2024

Atıf:

Yaşar, M., Karademir, A., Çağlar, L., & Tetik, M. (2025). Kâğıt Geri Dönüşümünde Temiz Üretim. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 1-15.

*Sorumlu yazar: Mesut Yaşar
E-mail: mesut.yasar@varaka.com

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Kâğıt geri dönüşümü / Paper recycling
Yeşil büyüme / Green growth
Sürdürülebilir üretim / Sustainable production
Enerji verimliliği / Energy efficiency
Temiz Üretim / Clean production

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Kâğıt fabrikalarında temiz üretim, çevresel etkileri minimize etmek amacıyla üretim süreçlerinde uygulanan bir dizi stratejiyi ifade etmektedir. Bu etkiler arasında su kirliliği, enerji tüketimi ve karbon emisyonları, atık yönetimi, hava kirliliği ve doğal kaynakların tükenmesi yer alır. Temiz üretim, bu olumsuz etkileri azaltmak için su geri kazanımı, enerji verimliliği, atıkların geri dönüşümü ve çevre dostu teknolojilerin kullanılması gibi stratejilerle çevreyi korur ve sürdürülebilir üretim süreçleri oluşturur. Temiz üretim yaklaşımıyla, atıkların ve kirliliğin en aza indirilmesi ile doğal kaynakların verimli kullanılması sağlanır. Temiz üretim uygulamaları, daha verimli üretim yöntemlerinin benimsenmesini ve döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulanmasını kapsar. Bu bağlamda, kâğıt üretiminde ham maddelerin etkin bir şekilde kullanımı, atıkların geri dönüştürülmesi ve enerji verimliliğini ön plana çıkarır. Enerji verimliliği, enerji tüketimini azaltarak hem maliyetleri hem de çevresel etkileri düşürür. Atık yönetimi ise, üretim süreçlerinde ortaya çıkan atıkların azaltılması ve geri dönüştürülmesi ile çevresel kirlenmeyi azaltır. Temiz üretim, kâğıt fabrikalarının çevresel izlerini minimize ederken aynı zamanda ekonomik büyümeyi sürdürülebilir hale getirir. Ekonomik büyümenin sürdürülebilir olması, mevcut ekonomik kalkınmanın çevresel ve sosyal sorumluluklarla uyumlu bir şekilde sağlanması anlamına gelir. Çevre dostu teknolojilerin entegrasyonu, bu hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynar ve kâğıt sektörünün sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunur. Kâğıt üretiminde temiz üretim uygulamalarının benimsenmesi hem çevresel koruma hem de ekonomik verimliliği artırma açısından kritik öneme sahiptir.

ABSTRACT

Clean production in paper mills refers to a set of strategies implemented in production processes to minimize environmental impacts. These impacts include water pollution, energy consumption and carbon emissions, waste management, air pollution and depletion of natural resources. Cleaner production protects the environment and creates sustainable production processes with strategies such as water recovery, energy efficiency, waste recycling and the use of environmentally friendly technologies to reduce these negative impacts. With the cleaner production approach, waste and pollution are minimized and natural resources are used efficiently. Cleaner production practices include the adoption of more efficient production methods and the application of circular economy principles. In this context, paper production emphasizes the efficient use of raw materials, recycling of waste and energy efficiency. Energy efficiency reduces both costs and environmental impacts by reducing energy consumption. Waste management reduces environmental pollution by reducing and recycling waste generated in production processes. Clean production minimizes the environmental footprint of paper mills while at the same time sustaining economic growth. Sustainable economic growth means ensuring that current economic development is compatible with environmental and social responsibilities. The integration of environmentally friendly technologies is important in achieving these goals.

1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma, hali hazırda bulunan ve gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynakları dengeli bir şekilde kullanan ve çevreye olan olumsuz etkileri minimize etmeyi hedefleyen bir kavramdır. Bu kapsamda, uluslararası anlaşmalar, çevre koruma yasaları ve yeşil teknoloji yatırımları gibi çeşitli önlemler alınmaktadır. Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma amaçları, ulusal stratejilerle entegre edilmiş olup, çevresel, ekonomik ve toplumsal hedeflere ulaşmayı amaçlayan bir dizi politika benimsenmiştir. Bu amaçlarla yapılan çalışmalar, yerel kalkınma stratejileri ve uluslararası hedeflerle uyumlu bir şekilde düzenlenmektedir. Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma amaçları bu bağlamda belirli bir yol haritası çizmektedir. Şekil 1’de Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma amaçları görülmektedir.



Şekil 1: Türkiye sürdürülebilir kalkınma amaçları (Birleşmiş Milletler, 2024).

Figure 1: Turkey's sustainable development goals (United Nations, 2024).

On sekizinci yüzyılda başlayan modernleşme süreci, insanların doğa üzerindeki olumsuz etkilerini arttırmış, bu durum zamanla doğal kaynakların sınırlı olduğunu ve çevresel etkilerin ciddi sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel bilinçlilik, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için stratejik öncelik haline gelmiştir (Arslantaş, 2008; Karaca, 2007; Cüce, 2018). Küresel ısınma, iklim değişikliği, deniz seviyesinin yükselmesi ve aşırı hava olaylarındaki değişim gibi küresel çapta ciddi sonuçlar doğurabilecek sorunlar ortaya çıkmıştır. Ozon tabakasındaki incelme, UV ışınlarının zararlı etkilerini artırmış ve insan sağlığı üzerinde olumsuzluklara sebep olmuştur. Kuraklık gibi doğal afetlerin sıklığı ve etkisi artarak su kaynaklarının azalması ve tarımsal faaliyetlerin verimliliğinde düşüş gibi sorunlara neden olmuştur (Karaca, 2007; Cüce, 2018). İklim değişikliği, hem küresel hem de bölgesel ölçekte giderek daha ciddi bir tehdit haline gelirken, bu sorunun çözülmesi için küresel düzeyde alınacak önlemler büyük önem taşımaktadır. Avrupa

Birliği'nin Yeşil Mutabakatı (AYM) ve Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), iklim değişikliğini azaltmaya yönelik küresel çağrılardır ve son yıllarda büyük bir dikkat çekmiştir. AYM, AB'nin 2050 yılına kadar karbon nötr olma hedefiyle yeşil enerji, temiz üretim teknolojileri ve karbon piyasaları gibi stratejiler önerirken, SKA'nın 13. hedefi olan "İklim Eylemi" ise küresel ölçekte iklim değişikliğiyle mücadeleyi amaçlamaktadır. Bu iki inisiyatifin detaylıca incelenmesi, iklim değişikliğine karşı alınacak önlemlerin etkinliğini artırmak ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için önemlidir. Hem çevresel hem de ekonomik açıdan bu politikaların uygulanması, gelecekteki iklim politikalarının şekillenmesinde belirleyici olacaktır (Karakuş vd., 2022). Çevreye olan etkilerin önlenmesine ve azaltılmasına yönelik geliştirilen ilk yaklaşım "boru-sonu" (end of pipe treatment) yaklaşımıdır; bu yaklaşım, kirleticilerin ortaya çıktıktan sonra arıtılarak veya seyreltilerek bertaraf edilmesini ifade eder (Özkan vd., 2018). Boru-sonu yaklaşım çalışmalarından sonra, temiz üretim ve kirlilik önleme gibi hem çevresel hem de ekonomik avantajların yer aldığı yaklaşımlar gündeme gelmiştir (Fronzel vd., 2004). Günümüzde işletmeler, sürdürülebilirlik ve çevresel uyumluluk konularına daha fazla odaklanarak üretim süreçlerini ve işletme yönetimlerini çevre dostu hale getirmeye çalışmaktadırlar (Staniskis & Varžinskas, 2010). Temiz üretim, çevresel yükümlülüklerin yerine getirilmesini hedefler ve atık miktarının azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve çevre dostu teknolojilerin benimsenmesi gibi uygulamaları içerir (Adams, 2006). Maddi tasarruf açısından temiz üretim, enerji, su ve ham madde gibi kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar ve üretim maliyetlerini düşürür (Kleiner, 1991). Rekabet gücü açısından temiz üretim uygulamaları, işletmelere rekabet avantajı sağlar çünkü yeşil tüketiciler, çevre dostu ürün ve hizmetlere daha fazla değer vermektedir (Adams, 2006; UNEP, 2011). Çevre dostu yaşam felsefesi, Kızılderili kültüründen örnekler sunarak çevreye duyarlılığı artırmıştır. 1854 yılında Kızılderili Reis Seattle'ın Amerika Başkanı'na yazdığı mektupta yer alan çevreye duyarlılık, çevre bilincinin önemini vurgular (Baird, 1996). Bu anlayış, dünya üzerinde yaşayan herkeste çevreye karşı duyarlılık geliştirmede önemli bir rol oynamıştır (Yalçın, 2010). Türkiye’de de çevre dostu yaşam felsefesi, toplumsal dinamikler, kültür, tarih ve dini altyapı içinde güçlü bir yer tutmaktadır. İslam Peygamberi Hazreti Muhammed (s.a.v)’in hadisleri ve Kur’an-ı Kerim’deki birçok ayette doğanın korunması ve tahrip edilmemesi öğütlenmiştir (Iqbal, 2002; Siddiqi, 2006). Bu bağlamda, temiz üretim

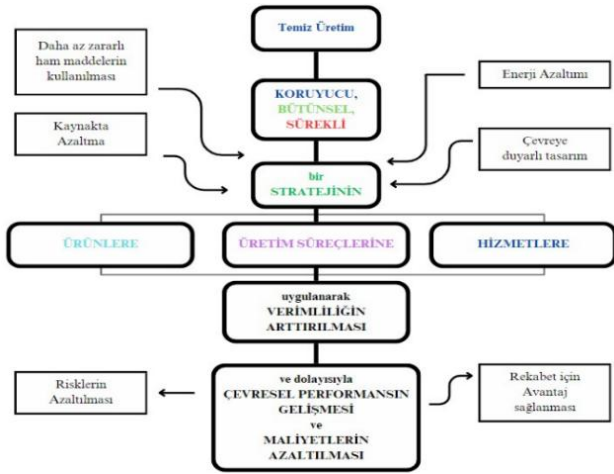
teknolojilerinin benimsenmesi önerilmiştir (Martı, 2021). Çevre dostu teknolojiler, yeşil büyüme, sürdürülebilir üretim ve temiz üretim gibi konular dünya gündeminde önemli bir yer tutmaktadır. “Atık yoktur, kullanılamayan ham madde vardır” anlayışı, verimlilik artırma çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır (UNEP, 2011). Güncel literatür, temiz üretim uygulamalarının sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik verimlilik ve toplumsal gelişim için önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir. Temiz üretim, çevresel etkilerin azaltılmasında ve işletmelerin rekabet gücünün artırılmasında etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için temiz üretim yöntemlerinin yaygınlaştırılması büyük bir önem taşımaktadır. Hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağladığı için, temiz üretim yöntemlerinin benimsenmesi, işletmelerin sürdürülebilir büyüme sağlama potansiyelini artırırken, toplum sağlığını da korumaktadır. Kağıt geri dönüşümü, çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması ve enerji verimliliği açısından önemli bir uygulamadır. Bu bağlamda, temiz üretim yaklaşımının kağıt geri dönüşümünde benimsenmesi, çevresel etkilerin azaltılması, ekonomik verimliliğin artırılması ve toplumsal sorumluluğun yerine getirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Temiz üretim, üretim süreçlerinde atıkların azaltılması, kaynakların daha verimli kullanılması ve çevresel kirleticilerin en aza indirilmesi gibi hedeflerle şekillenen bir üretim yaklaşımıdır. Kağıt geri dönüşüm sürecinde bu yaklaşımın uygulanması, doğal kaynakların korunmasını sağlamak ve atık miktarını azaltarak çevreyi korumak için kritik bir rol oynamaktadır (Fronde vd., 2004; UNEP, 2011). Kağıt üretimi, büyük ölçüde ağaç kesimi ve su gibi sınırlı kaynakların tüketimiyle ilişkilidir. Geleneksel kağıt üretiminde, doğal ormanların yok edilmesi ve büyük miktarda su kullanımı gibi çevresel maliyetler ortaya çıkmaktadır. Temiz üretim yaklaşımı, kağıt geri dönüşümünü teşvik ederek ham madde kullanımını azaltır ve doğal kaynakların tükenmesini engeller (Staniskis & Varžinskas, 2010). Geri dönüşümle, yeni kağıt üretimi için ağaç kesilmesine gerek kalmaz, böylece ormanlar korunur ve biyoçeşitlilik kaybı önlenir. Ayrıca, geri dönüşüm sürecinde kullanılan su miktarı da geleneksel üretim yöntemlerine göre önemli ölçüde azaltılır (Karaca, 2007). Kağıt üretiminde yüksek miktarda enerji kullanımı söz konusudur. Temiz üretim yaklaşımının kağıt geri dönüşümünde uygulanması, enerji verimliliğini artırarak, daha düşük karbon salınımı sağlanmasına yardımcı olur. Kağıdın geri dönüştürülmesi, yeni kağıt üretimine göre çok daha az enerji gerektirir. Bu sayede, karbon salınımı da

azalır ve küresel ısınma ile mücadeleye katkı sağlanır (OECD, 2013). Temiz üretim, geri dönüşüm sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını da teşvik ederek daha sürdürülebilir bir üretim modeli yaratır (Kleiner, 1991). Kağıt geri dönüşümü, atık miktarını ciddi ölçüde azaltır. Temiz üretim yaklaşımı, atıkların minimize edilmesini ve doğru şekilde yönetilmesini hedefler. Geleneksel kağıt üretimi, yüksek miktarda atık üretirken, geri dönüşüm süreci bu atıkları yeniden işleyerek tekrar kullanılabilir hale getirir. Ayrıca, geri dönüşüm sayesinde kağıt üretiminde kullanılan kimyasalların da yeniden işlenmesi sağlanır, bu da çevresel kirliliği azaltır. Geri dönüşüm, doğal kaynaklardan elde edilen ham madde ihtiyacını azaltarak atık depolama alanlarını da küçültür (Adams, 2006). Kağıt geri dönüşümü, işletmelere maddi tasarruf sağlar. Kağıt geri dönüşümünde kullanılan ham madde, yeni kağıt üretimindeki ham maddeye kıyasla daha ucuzdur. Ayrıca, üretim sürecinde kullanılan enerji ve suyun azalması, işletmelerin üretim maliyetlerini düşürür. Temiz üretim anlayışının benimsenmesi, şirketlerin daha rekabetçi hale gelmesine yardımcı olur, çünkü çevre dostu uygulamalar, tüketiciler tarafından giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu da, markaların çevresel itibarını artırarak uzun vadede daha sağlam bir müşteri tabanı oluşturur (Fronde vd., 2004; UNEP, 2011). Çevre dostu üretim yöntemleri, toplumsal bilinç ve çevreye duyarlı tüketicilerin artan taleplerine de cevap verir. Temiz üretim uygulamalarıyla, işletmeler çevresel itibarlarını artırabilir ve toplumsal sorumluluklarını yerine getirmiş olurlar. Kağıt geri dönüşümü, çevreye duyarlı bir yaklaşım olarak, işletmelere toplumsal kabul ve güven kazandırır. Özellikle yeşil tüketicilerin çevre dostu ürünlere olan ilgisi arttıkça, işletmeler bu uygulamaları benimseyerek rekabet avantajı elde ederler. Bu tür uygulamalar, toplumda çevresel farkındalığın artmasına da katkıda bulunur, çünkü her bireyin geri dönüşüm süreçlerine katılımı çevreye duyarlılığını güçlendirir (Adams, 2006). Kağıt geri dönüşüm süreçleri, yerel düzeyde ekonomik büyüme sağlayabilir ve yeni iş olanakları yaratabilir. Temiz üretim yaklaşımı, geri dönüşüm endüstrisinde yerel istihdamı artırır ve sanayi kümelenmeleri oluşturarak bölgesel kalkınma sağlar. Bu da, geri dönüşüm ve çevre dostu üretim teknolojilerine dayalı bir sanayi ekosisteminin gelişmesini destekler (Yalçın, 2010). Kağıt geri dönüşümünde temiz üretim yaklaşımının uygulanması, çevresel, ekonomik ve toplumsal açılardan büyük faydalar sağlar. Doğal kaynakların korunması, atıkların azaltılması, enerji verimliliği ve karbon ayak izinin düşürülmesi gibi çevresel kazanımlar, aynı zamanda işletmelerin ekonomik açıdan da verimli hale gelmelerine yardımcı olur.

Temiz üretim ve kağıt geri dönüşümünün yaygınlaştırılması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, kağıt geri dönüşümünün çevre dostu üretim yöntemleriyle entegrasyonu, yalnızca çevreyi korumakla kalmaz, aynı zamanda toplumsal bilinç ve ekonomik büyüme için de önemli fırsatlar yaratır (UNEP, 2011; Karakuş vd., 2022).

2. Temiz Üretim Kavramı ve Özellikleri

Temiz üretim, endüstriyel üretim süreçlerinin çevreyi kirleten etkilerini azaltmayı amaçlayan ve çeşitli hedefleri olan bir kavramdır. Geleneksel kirlilik kontrolü yaklaşımları, kirliliği üretim sürecinin kaçınılmaz bir sonucu olarak değerlendirir ve bu kirlilik ortaya çıktıktan sonra kontrol etmeye çalışır. Bu yöntemler, atık arıtma ve bertarafına odaklanarak ek maliyetler yaratır. “Temiz üretim ise, kirliliği ve atıkları; üretim, tasarım ve kaynak kullanım aşamalarındaki verimsizliklerden kaynaklanan bir sorun olarak görür ve bu aşamalarda iyileştirmeler yaparak hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlar” (Yücel & Ekmekçiler, 2008). Temiz üretimin şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Temiz üretimin şematik gösterimi (Yücel, 2011).
Figure 2: Schematic representation of cleaner production (Yücel, 2011).

2.1. Sürdürülebilirlik ve temiz üretim

Sürdürülebilirlik sözcüğü, “Bir durum veya herhangi bir şeyin devam etmesini sağlamak, onu devamlı kılmaktır” şeklinde tanımlanmıştır (TDK, 2023). Diğer bir ifadeyle sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri bir arada gözetken bir kalkınma modeli olarak tanımlanır. Bu kavramın temelinde, kaynakların doğru ve adil bir şekilde kullanılması, çevreye en az zararın verilmesi, tüm insanların insana yakışır yaşam standartlarına erişebilmesi ve yenilikçi ürünlerle ekonomiye katkıda bulunulması yer alır (Haleçeli & Yakın, 2021). Birçok çalışma

sürdürülebilirliği araştırmış, farklı yaklaşımlarla ele almış, detaylı olarak tam karşılığını veren bir tanım oluşturma yolunda ilerlemiş ve sürdürülebilirlik tanımlarının altında ekolojik bir kaygı/yaklaşımın belirtileri olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Alma, 2022). Sürdürülebilirlik kavramının kullanımını kabullenen ve onu geniş toplumlardaki farklı kitlelere kazandıran gelişme Brundtland Raporu yani Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun raporu olmuştur. Yaklaşan tehlikelerden firmaların dolayısıyla da ülkenin çıkış yolu olması sebebiyle rapor olumlu karşılanmıştır (Kuhlman ve Farrington, 2010). Genel olarak sürdürülebilirlik, çevre dostu bir yaşam tarzını benimseme ve doğal kaynakları dengeli bir şekilde kullanma amacını taşıyan ve temiz üretimin temelini oluşturan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kavram, kişilerin, işletmelerin ve toplumların mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak için çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan sorumlu bir şekilde hareket etmelerini hedeflemektedir. Sürdürülebilirlik, özellikle hızlı tüketimin ve kaynakların savurgan kullanımının yaygın olduğu gelişmiş toplumlarda çevresel sorunları azaltmayı, ekolojik bütünlüğü korumayı ve karbon ayak izini minimize etmeyi amaç edinmiştir. Gelişmiş toplumlarda, aşırı tüketim ve savurganlık genellikle sosyal, kültürel ve sistematik dinamiklerle ilişkilidir. Toplumlar genellikle sürekli büyüme ve tüketim üzerine odaklanmış halde olduğundan doğal kaynakların hızla tükenmesine ve çevresel sorunların artmasına neden olmaktadır. Kültürel politikalar, reklamlar, tüketim alışkanlıkları ve ekonomik sistemler gibi faktörler, bireyleri aşırı tüketim ve savurganlık eğilimine itmektedirler. Bu nedenle, sürdürülebilirlik çabaları genellikle bu yapıya odaklanarak, toplumun tüketim alışkanlıklarını değiştirmeye ve çevresel etkileri azaltmaya yönelmiştir. Araştırmalar, sürdürülebilirlik çabalarının başarılı olabilmesi için hem bireylerin hem de kurumların davranışlarında ve politikalarında değişiklik yapmalarının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu, sadece kişisel düzeyde bilinçlenmeyi değil, aynı zamanda daha geniş ölçekte politika ve iş stratejilerinin gözden geçirilmesini de sağlar. Sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ile çevre korumasını birleştirerek uzun vadeli refahın sadece bugünkü nesiller için değil, gelecek nesiller için de sürdürülebilir olmasını hedefleri arasına almıştır (Anantharaman, 2018).

3. Temiz Üretimde Çevresel ve Ekonomik Boyutlar

Temiz üretim, yeşil verimlilik ve eko-verimlilik kavramları, çevresel ve ekonomik boyutlarıyla

birlikte ele alınmalıdır. Yeşil verimlilik, çevre dostu üretim süreçlerini ifade ederken, eko-verimlilik ekonomik ve çevresel performansın birlikte optimize edilmesini amaçlar. Çevresel boyut, çevresel risklerin azaltılması ve doğal kaynakların korunması üzerine odaklanırken, ekonomik boyut ise, ekonomik verimliliği artırarak rekabetçiliği desteklemektedir. Bu kavramlar, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği bir arada sağlamayı hedefleri arasına almışlardır. Temiz üretim uygulamaları sayesinde, Avrupa'daki bir kağıt fabrikası 5 yılda enerji maliyetlerinde %30 tasarruf sağlamıştır (Gertsakis & Lewis, 2003). Temiz üretim, yeşil verimlilik ve eko-verimlilik kavramları, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltmayı ve ekonomik verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Bu kavramlar, çevresel ve ekonomik boyutlarıyla birlikte ele alındığında, sürdürülebilir kalkınmanın temel unsurlarını oluştururlar. Küresel düzeyde bu yaklaşımların teşvik edilmesi, çevresel ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir bir gelecek için önemlidir. Temiz üretim uygulamaları, günümüzde sanayinin rekabet koşullarının giderek zorlaşmasıyla birlikte önemini artıran bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenledir ki temiz üretim, sanayinin sürdürülebilirliği ve rekabet gücü açısından kritik bir rol oynamaktadır (Güngör & Felekoğlu, 2018).

4. Temiz Üretim Uygulamalarının Sağladığı Yararlar

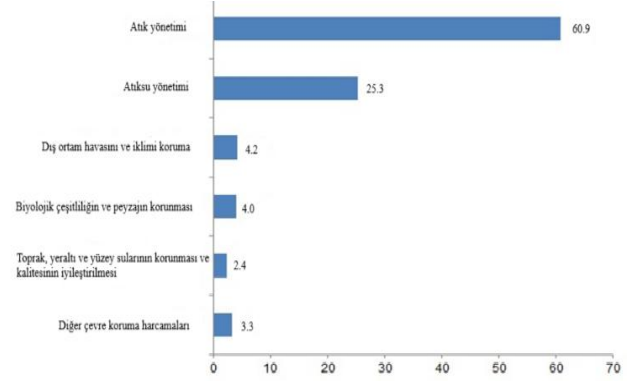
4.1. Kaynak verimliliği

Temiz üretim uygulamaları, ham madde ve enerji kullanımını optimize ederek kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar. Ayrıca, üretim süreçlerinde kaynak tüketimini minimize ederken, maliyetleri azaltır ve işletmelere rekabet avantajı sağlar. Kaynak verimliliğinin artırılması, aynı zamanda üretim süreçlerinde atıkların ve enerji tüketiminin azaltılması gibi çevresel yararları da beraberinde getirir (Kleindorfer vd., 2005).

4.2. Çevresel koruma

Temiz üretim, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik bir yaklaşımı ifade eder ve bu süreçte çeşitli stratejiler kullanılır. Temiz üretim uygulamaları, atık üretimini minimize etmek, su ve enerji tüketimini azaltmak gibi yöntemlerle çevre kirliliğini ve doğal kaynakların tükenmesini önlemeyi amaçlamakta (EPA, 2009) ve çevre koruma harcamalarının (Şekil 3) düşürülmesine katkıda bulunmaktadır. Bu harcamaların büyük bir kısmı atık yönetimine ve enerji verimliliğine yöneliktir, ancak su yönetimi ve hava kirliliği kontrolü gibi alanlara da kaynak ayrılmaktadır. Atık yönetimi açısından temiz üretim, atık miktarını

azaltma, geri dönüşümü teşvik etme ve atıkları yeniden kullanma gibi stratejilerle atık maliyetlerini düşürür (Hervani vd., 2005). Bu uygulamalar, işletmelerin çevresel etkilerini azaltmanın yanı sıra, çevresel performanslarını iyileştirerek itibarlarını artırır (Kleindorfer vd., 2005).



Not: Grafikteki rakamlar yuvarlamadan dolayı toplamı veremeyebilir.

Şekil 3: 2022 yılı konulara göre çevre koruma harcamaları (%), (TÜİK, 2023).

Figure 3: Environmental protection expenditures by 2022 (%), (TÜİK, 2023).

4.3. Yasal uyumluluk

Temiz üretim uygulamaları, çevre mevzuatı ve düzenlemeleriyle uyum sağlamak için tasarlanmıştır. Bu nedenle, işletmelerin yasal gereksinimlere uygunluklarını artırır ve olası çevresel cezaları önlemelerine yardımcı olur (Kleindorfer vd., 2005; Gertsakis & Lewis, 2003).

4.4. İnovasyon ve rekabet gücü

Temiz üretim uygulamaları, işletmelere sürekli iyileştirme ve yenilik fırsatları sunarak daha verimli ve çevre dostu üretim süreçleri geliştirmelerine olanak tanır. Bu durum, işletmelerin rekabet avantajını artırmalarına katkıda bulunur (Zhu vd., 2005; Porter & Van der Linde, 1995).

4.5. İyi itibar

Temiz üretim uygulamaları, çevreye duyarlı bir imaj oluşturarak işletmelerin toplumda olumlu bir algı yaratmalarını sağlar. Bu durum, müşteri sadakati ve marka değeri açısından önemli bir avantaj sağlar ve özellikle çevre bilincine sahip tüketicilerin dikkatini çeker (Hart, 1995; Delmas & Toffel, 2004).

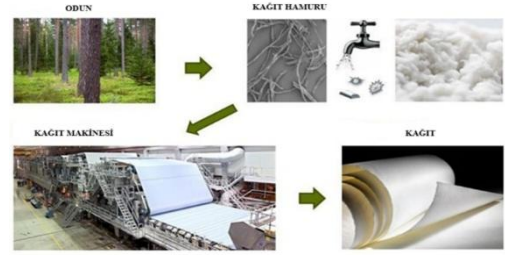
4.6. Malzeme kullanımının optimizasyonu

Temiz üretim uygulamaları, sürdürülebilir üretim süreçlerinin temel unsurlarından biridir ve özellikle malzeme kullanımını optimize etme noktasında önemli faydalar sağlar. Temiz üretim, hammadde kullanımını daha etkin hale getirerek, kaynakların

israfını minimize eder ve üretim süreçlerinde çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur. Bu bağlamda, 3R ilkesi (geri dönüşüm, yeniden kullanım ve atık azaltma) kapsamında geliştirilen stratejiler, hem çevresel sürdürülebilirliği destekler hem de işletmelerin maliyet yapısını iyileştirir (Yücel, 2011). Bu stratejiler, malzeme israfını önleyerek, üretim süreçlerinin daha verimli hale gelmesini sağlar. Geri dönüşüm, yeniden kullanım ve atık azaltma gibi uygulamalar, yalnızca çevresel faydalar sağlamakta kalmaz, aynı zamanda işletmelerin enerji ve hammadde maliyetlerini de önemli ölçüde düşürür. Sanayileşme ve hızlı teknolojik gelişmelerin etkisiyle ortaya çıkan çevresel ve toplumsal sorunlar ise giderek daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu sorunlar arasında çevresel baskıların artışı, hızlı kentleşme, nüfus artışı ve üretim ile pazarlama faaliyetlerindeki genişleme yer almaktadır. Bu dinamikler, doğal kaynakların tükenmesine ve çevresel bozulmaya yol açmaktadır. Ayrıca, üretim süreçlerinin genişlemesi, çevre ve insan sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmakta, bu da daha sürdürülebilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Kaçtıoğlu & Şengül, 2011). Bu bağlamda, temiz üretim uygulamalarının ve çevre dostu teknolojilerin benimsenmesi, bu sorunların çözülmesine yönelik önemli adımlar olarak öne çıkmaktadır.

5. Kâğıt Geri Dönüşümünde Temiz Üretim

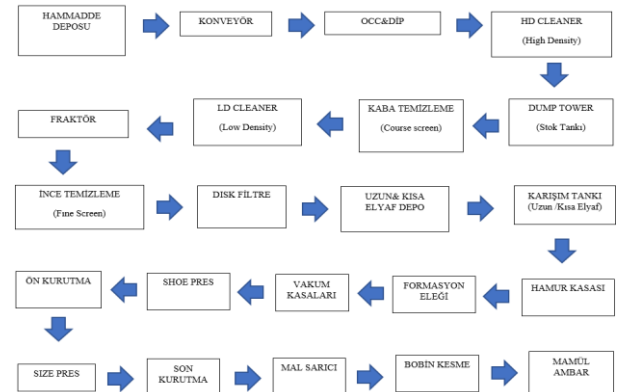
Günümüzde kâğıda benzer ilk malzemenin, M.S. 105 yılında Çin Hanedanlığı döneminde Tsua Lun tarafından böğürtlen ve pirinç saplarından üretildiği belirtilmektedir. Bu erken dönem üretim süreci, kâğıdın kökeninin Çin'e dayandığını ve ilk kâğıt yapımında kullanılan malzemelerin bitkisel liflerden elde edildiğini ortaya koymaktadır. Tsua Lun'un bu yenilikçi yaklaşımı, kâğıt üretiminde kullanılan doğal materyallerin önemini vurgulamakta ve kâğıt yapım teknolojisinin tarihsel gelişiminde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Böğürtlen ve pirinç saplarının kullanımı, malzeme bilimi ve erken endüstriyel süreçlerin anlaşılmasına katkıda bulunmuş ve kâğıdın tarihindeki bu dönüm noktası, kâğıt üretiminin evrimini anlamak için kritik bir referans sağlamıştır (Karademir, 2022; Smook & Kocurek, 2016). Kâğıt üretiminde günümüzde, selülozun başlıca kaynağı olarak ormanlar öne çıkmaktadır. Şekil 4, kâğıt üretiminde kullanılan orman bazlı kaynaklardan selüloz ve kâğıt elde edilmesinin aşamalarını göstermektedir.



Şekil 4: Orman bazlı kaynaklardan selüloz ve kâğıt eldesi (Homa, 2019).

Figure 4: Forest-based resources to obtain cellulose and paper (Homa, 2019).

Orman kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla, özel endüstriyel plantasyonlar, genetik ıslah çalışmaları ve silvikültürel teknikler gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Gün & Yalçın, 2021). Bunun yanı sıra, yıllık bitkiler, tarımsal üretim artıkları ve kullanılmış kâğıt/kartonlar da giderek daha fazla kâğıt üretiminde değerlendirilmektedir (Koç, 2019). Ülkeler arasında atıkların ne kadar etkin bir şekilde geri dönüştürüldüğü ve atık kâğıtlardan ne kadar yeniden kâğıt ve karton üretildiği, genellikle ülke gelişmişlik seviyelerinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Öztürk & Çelik, 2020). Geri dönüşüm oranları ve kâğıt üretimindeki bu döngüsel süreçler, çevresel sürdürülebilirliğin yanı sıra ekonomik ve teknolojik gelişmeleri de yansıtır (Yılmaz, 2022). Ancak, kâğıt üretiminde kullanılan yıllık bitkiler ve atık kâğıtların kalitesi, düzenli temini ve fiyat rekabet avantajı, coğrafi bölgeler, ülkeler ve zaman dilimleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir (Gün & Yalçın, 2021). Bu değişkenlikler, yerel ekonomik koşullar, tarımsal uygulamalar ve teknolojik altyapı gibi faktörlerden etkilenir, bu da kâğıt üretiminde kullanılan alternatif selüloz kaynaklarının etkinliğini ve maliyetini bölgesel düzeyde etkilemektedir (Koç, 2019). Atık kâğıttan geri dönüştürülmüş kâğıt eldesi için kullanılan tipik bir kâğıt makinesi iş akış şeması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Tipik bir kâğıt makinesi iş akış şeması.

Figure 5: A typical paper machine workflow diagram.

Dünyada atık kâğıtların değerlendirilmesinin gerekliliğini gösteren birkaç temel neden bulunmaktadır. Orman kaynaklarının ham madde talebini karşılamada yetersiz kalması, kâğıt üretiminin sürdürülebilirliğini tehdit eden bir sorun olarak öne çıkmaktadır (Diesen, 1998). Katı atık yükünün giderek artması çevresel etkilerin azaltılması ihtiyacını doğurmaktadır (Tudor, 2008). Bir yanda azalan kaynaklar diğer yanda ise çoğalan atıklar ve atık kâğıt işleme teknolojilerindeki gelişmeler, geri dönüşüm sürecini daha verimli hale getirmekte ve atık kâğıtların yeniden kullanımı konusundaki kapasiteyi artırmaktadır (Zhu & Pye, 2009). Ayrıca, tüketicilerin çevreye olan duyarlılığının artması ve dönüştürülmüş kâğıt kullanımına yönelik yasal zorunlulukların başlaması, geri dönüşüm projelerinin ekonomik açıdan cazip hale gelmesini sağlamıştır (Beveridge, 2015). Ülkemizde kâğıt sanayisinin mevcut durumu ve orman kaynaklarının korunması gerekliliği göz önüne alındığında, atık kâğıtların etkili bir şekilde toplanması ve modern yöntemlerle çevresel zararlardan kaçınılarak sürdürülebilir bir şekilde geri kazanılması önem arz etmektedir (Karahan & Karademir, 2019). 1 ton atık kâğıdın geri dönüştürülmesi, 177 kg sera gazı emisyonunun önlenmesine, 4100 kWh enerji tasarrufuna, 17 ağacın korunmasına, 2.5 metre küp depolama alanının azalmasına ve 800 kg ham madde tasarrufu sağlamaktadır (Miller, 2006). Bu veriler, geri dönüşüm sürecinin çevresel ve ekonomik faydalarını açıkça ortaya koymaktadır. Kâğıt üretimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir konudur çünkü kâğıt üretimi, hem doğrudan doğal kaynakları tüketen hem de geri dönüştürülebilen bir malzemedir. Bu üretim süreci, özellikle kullanılan hammadde türüne bağlı olarak çevresel etkileri önemli ölçüde değiştirebilir. Hem birincil hammadde (yani ham ağaçlardan elde edilen selüloz) hem de ikincil hammadde (yani atık kâğıttan geri dönüştürülen selüloz) kullanılarak yapılan kâğıt üretimi, sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen farklı avantajlar sunmaktadır. Atık kâğıdın geri dönüşümüyle yeniden kullanımı, kâğıt endüstrisinin gelişiminin en aza indirilmesi ve ham madde tüketiminin azaltılması açısından kritik bir rol oynar. Atık kâğıdın geri kazanımı sayesinde enerji tüketimi ve su kullanımı önemli ölçüde düşer, bu da üretim sürecinin daha verimli hale getirilmesini sağlar. Ayrıca geri dönüşüm, kâğıt üretimi kimyasal verimliliği de azaltır, dolayısıyla aktivite artışı ve karbon ayak izini engeller. Bu süreç, kâğıt endüstrisinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda üretim maliyetlerini de düşürerek ekonomik açıdan fayda sunar. (Karademir,

2022). Şekil 6'da bir kâğıt fabrikasının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6: Bir kâğıt fabrikasının görüntüsü (Karademir, 2022).

Figure 6: View of a paper factory (Karademir, 2022).

Kâğıt üretiminde, başlangıçta elde edilen ürün genellikle pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Bu pürüzlülüğü gidermek için kâğıdın yüzeyine kaplama uygulanarak daha düzgün bir yüzey elde edilir. Kaplama işlemi, kâğıdın bir veya her iki yüzeyine su, beyaz boya, bağlayıcı ve diğer kimyasalların uygulanmasıyla yapılır. Bu işlem, kâğıt üretim sürecinin bir parçası olarak veya bağımsız bir adım olarak gerçekleştirilebilir. Kaplamada kullanılan kimyasallar, elde edilmek istenen son ürüne ve kullanım amacına göre değişir. Bir diğer yüzey işleme yöntemi ise boyamadır. Boyama işlemi genellikle beyaz bir kaplama tabakası üzerine organik pigmentlerle renk eklenerek yapılır. Pürüzsüz bir yüzey elde etmek için kalenderleme veya perdahlama yöntemleri de kullanılabilir. Bu yöntemlerde, kâğıt, karşılıklı hareket eden silindirler arasından geçirilir. Bu işlemler kâğıdın kalınlığını ve mukavemetini etkileyebilmekte dolayısıyla kâğıdın kullanım amacına ve kalite gereksinimlerine göre uygulanabilmektedir (Tetik, 2021).

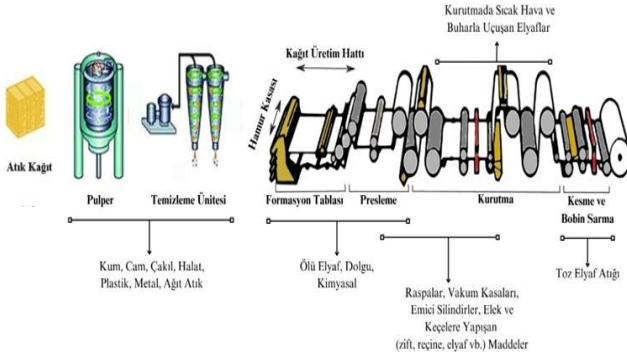
5.1. Kâğıt fabrikası atıkları ve miktarları

Kâğıt fabrikası atıkları, üretim sürecinde ortaya çıkan çeşitli malzeme kalıntıları ve yan ürünlerden oluşur. Bu atıklar, genellikle fabrikaların farklı bölümlerinden (hammadde hazırlığı, üretim, arıtma, paketlenme vb.) kaynaklanır ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir yer tutar. Atıkların yönetimi, üretim süreçlerinin verimliliği, çevresel etkileri ve işletme maliyetleri üzerinde doğrudan etkili olduğu için kâğıt endüstrisinde atık yönetimi büyük önem taşır. Türkiye, dünya genelinde kâğıt üretiminde 16. sırada yer alan önemli bir üretici ülkedir (Tablo 1) (FAO, 2022).

Tablo 1: Dünya Geneline Kâğıt Üretim Sıralaması (FAO, 2022).**Table 1:** Worldwide Cattle Production Ranking (FAO, 2022).

Sıra	Ülke	Yıllık Kâğıt Üretimi (Milyon Ton)
1	Çin	113,3
2	Amerika Birleşik Devletleri	73,8
3	Japonya	27,5
4	Almanya	21,6
5	Kanada	19,2
6	Brezilya	18,5
7	İtalya	10,9
8	Rusya	9,3
9	Kore Cumhuriyeti	8,5
10	Meksika	8,3
11	Hindistan	7,9
12	Endonezya	7,1
13	Şili	6,9
14	Fransa	6,7
15	Polonya	6,4
16	Türkiye	5,8

Kâğıt üretimi, hamur işleme, atık su oluşumu ve diğer yan ürünlerle sonuçlanan karmaşık bir süreçtir. Bu süreç, üretimin farklı aşamalarında çeşitli atık ve kayıplara sebep olmaktadır (Şekil 7).

**Şekil 7:** Kâğıt üretiminin farklı aşamalarında çeşitli atık türleri (Moosavi vd., 2021 revize edilmiştir).**Figure 7:** Different types of paper production various wild species (Moosavi vd., 2021 revised).

Atıkların miktarları, kâğıt fabrikasının büyüklüğüne, üretim yöntemlerine ve kullanılan teknolojilere bağlı olarak değişir. Atık kâğıttan kâğıt üretimi yapan tipik bir firmanın ürettiği kâğıtlar arasında Fluting, Testliner, HP Fluting, HP Testliner, Torba kâğıt, imitasyon kraft vb. kâğıt türleri yer almaktadır. Günlük ortalama 800 ton atık kâğıt işlenerek yaklaşık 720ton/gün üretim yapılabilir. Gelen ham maddenin kalitesi, proses kayıpları ve kesintiler bu miktarları direkt olarak etkilemektedir. Ürün süreç diyagramı Şekil 8'de verilmiştir.

**Şekil 8:** Ürün süreç diyagramı.**Figure 8:** Product process diagram.

Günlük verim ise yaklaşık %90 civarındadır. Üretim aşamaları kısaca açıklanacak olursa, atık kâğıtlar için pulperde hamurlaştırma işlemi yapılır. Pulper içerisinde su molekülleri selüloz ile bağ kurarak bir süspansiyon oluşturmaktadır. Pulper içerisinde kesafet %3-5 civarındadır. Oluşan süspansiyon içerisinde çok fazla kirlilik bulunmakta ve bu kirliliklerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Pulper içerisine atılmış halat, sulu süspansiyon içerisindeki plastik ve naylonu yapıların kendine tutundurmasını sağlamaktadır. Pulper içerisindeki hamur karışıkça halat üzerine kaba cisimler tutunur ve bu sayede atığın uzaklaştırılması ve bu aşamadan sonra hamur içerisindeki ince ve kaba atıkların da yoğunluk farkı ile ayrıştırılması sağlanır. Temizlenmeye ve lifsel olarak ayrılmaya devam eden hamur, hamur kasasına gelmeden önce kimyasal katkıları, boya vb. malzemeler ile güçlendirilir. Hamur kasasında nozzle ve cetvel ağzı yardımıyla formasyon tablasına gönderilen hamurun form alması sağlanır. Bu işlemden sonra presleme ve kurutma hattı ile işleme devam edilir. Pres, kâğıdın suyunu alır ve kurutma kısmına gönderilmesi için ortam hazırlar. Daha sonra kurutma kısmına gelen kâğıt kurutma silindirlerinden geçerek kâğıdın ilk etapta kurutulması hedeflenmektedir. Belirli miktarda kurutulmuş hamur mukavemetin artırılması ve yüzeyel düzgünlük sağlamak amacıyla uygulanacak olan size pres kısmına gönderilir. Size pres kısmında kâğıt üzerine nişasta sürülmektedir. Bu kısımda kurumuş olan kâğıt yeniden ıslandığı için kurutmanın tekrar yapılması gerekmektedir. Size pres kısmından sonra kâğıt yeniden kurutulmakta ve mal sarıcıya gönderilmektedir. Üretim süreci tamamlanmış kâğıdın boyu 6,55 metre, nemi ise %6-8 civarındadır. Üretilen kâğıt son olarak mal sarıcıya gelmekte ve müşterinin istediği boyutlara göre ölçülendirilmektedir. Üretilen kâğıtların her tamponundan örnekler alınmakta ve mukavemet testleri yapılmaktadır. Bu ürünler aslında ambalaj malzemesi üreten firmalar için ham madde niteliğindedir. Dış ortamlarda ve ambalaj malzemesi olarak kullanılacağı için özellikle patlama mukavemeti ve Cobb değerleri önem arz etmektedir. Üretimin yapılması ve geri dönüşümün sağlanması her ne kadar güzel bir işleyiş olsa da bu işleyiş atıkları da beraberinde getirmektedir. Kâğıt üretimi süreci

boyunca başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar atıklar meydana gelmekte ve bu atıkların bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Çıkan atıklar; plastik, halat, kum, çakıl, çamur ve cam gibi çeşitli malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9: Çıkan atıklar; Plastik, halat, kum-çakıl, çamur, cam vb. malzemeler.

Figure 9: The resulting wastes; Plastic, rope, sand-gravel, mud, glass etc. materials.

Bu atıkların bazıları yakılarak enerji üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Bazıları ise çeşitli

projelerde kullanılmak üzere değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ürünü üretirken geri dönüşüm kısmını da düşünmek gerekir. Yüksek mukavemet özelliğine sahip, boya, kimyasal vb. çok çeşitli içeriklere sahip olan ürünler geri dönüşüm kısmında sorunlara sebep olmaktadır. Kağıt fabrikasında hammadde olarak kullanılan geri dönüştürülmüş kağıdın içeriği, geri kazanılan kağıdın geldiği kaynağa ve pazara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu, kağıdın içinde bulunan istenmeyen maddelerin, özellikle kağıt dışı elyafların ve kirleticilerin miktarını etkileyebilir. Sektörde “fire” olarak ifade edilen bu istenmeyen malzemelerden bazıları kum/çakıl, halat ve ağır atıklar şeklinde tablo 2’de verilmiştir. Bunlara ek olarak fabrikalara gelen atık kağıtlarda ne yazık ki değişen ve genelde yüksek oranlarda rutubet bulunmaktadır.

Tablo 2: Tipik bir kâğıt geri dönüşüm fabrikasının kum/çakıl, halat ve ağır atık miktarları atık miktarları.
Table 2: Amounts of sand/gravel, rope and heavy waste of a typical paper recycling factory waste amounts.

Ay	Kum/Çakıl		Halat		Ağır Atık		Atık Toplamı		Hammadde (kg)	Üretim (kg)	Hammadde Verimi
	Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)	Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)	Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)	Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)			
1	70.200	0,36	380.450	1,94	70.200	0,36	2.023.720	10,34	19.566.626	17.576.270	89.83
2	68.400	0,28	371.700	2,09	72.900	0,41	1.980.350	11,12	17.807.967	16.183.430	90.88
3	81.900	0,39	455.000	2,14	82.800	0,39	2.166.990	10,21	21.220.596	19.186.594	90.41

Tablodan da anlaşılabacağı üzere aylık bazda fabrikaya gelen toplam atık kâğıdın yaklaşık %90’ı nihai ürüne dönüşmekte ve ne yazık ki %10’u bertaraf edilmesi gereken atıklar olarak açığa çıkmaktadır. Karışık

içerikli atıklar (compax), üretim sırasında oluşan çamur ve diğer atık miktarları ise tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Tipik bir kâğıt geri dönüşüm fabrikasının üretiminde ortaya çıkan çamur ve diğer atık miktarları.
Table 3: Amounts of sludge and other waste generated in the production of a typical paper recycling factory.

2024 Aylar	Çamur				Plastik				Compax	
	Ağırlık (kg)	Kuru Madde (%)	Net Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)	Ağırlık (kg)	Kuru Madde (%)	Net Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)	Ağırlık (kg)	Hammaddeye Oranı (%)
Ocak	1.341.300	40	536.520	2,74	2.761.000	35	966.350	4,94	870.000	4,45
Şubat	1.252.500	40	501.000	2,81	2.761.000	35	966.350	5,43	850.000	4,77
Mart	1.013.100	40	405.240	1,91	3.263.000	35	1.142.050	5,38	990.000	4,67

Tablodan da görüldüğü üzere, ortaya çıkan farklı yapıdaki atıklar sebebiyle atık oranlarının azaltılması için geri dönüşüm verimliliğini artıracak teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır.

5.1.1. Geri dönüştürülmüş kâğıt üretiminde kullanılan atık azaltma yöntemleri

Atıkların düzgün ayrıştırılmaması, geri dönüşümde verimliliği düşüren temel sorunlardan biridir. Ayrıca, kirli atık kağıtların işlenmesi sırasında ek maliyetler doğmaktadır. Kütle dengesi açısından en büyük kayıpların yaşandığı yer, ham madde kaynağı ve elek altına kaçan kısa elyaflardır. Geri dönüşüm yöntemi

ile kağıt üretimi yapan fabrikalar karmaşık ve komplike bir üretim sistemine sahip olduğundan kütle kayıplarının en fazla görüldüğü kısımlara yönelmek doğru olacaktır. Kâğıt fabrikası ham madde verimi değişiklik göstermekle birlikte (gelen ham maddenin kalitesine bağlı olarak) %90 civarındadır. Geriye kalan yaklaşık %10'luk kısım ise azalt, tekrar kullan, geri kazandır (3R) ilkeleri kullanılarak en az zayıyla işlemlerin yapılmasına çalışılmaktadır. Atıkların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri kazanılmasını temel alan 3R ilkesi çerçevesinde, balya şeklinde temin edilen hammaddelerin nem oranının %10'dan fazla olması ve görsel incelemeler sonucunda içinde karışık malzeme oranının yüksek olduğu tespit edilen ham madde balyalarının ödemeleri sırasında belirli oranlarda fire kesintisi yapılmaktadır. Bu uygulama, kağıt üretimine uygun olmayan hammaddelerin kullanımını sınırlayarak, üretim sürecine katkı sağlamayan materyallerin bertaraf edilmesine ve gereksiz maliyetlerin önlenmesine olanak tanımaktadır. Böylece, hem üretim verimliliği artırılmakta hem de fazladan ücret ödemelerinin önüne geçilmektedir. Hammadde temini yerli olabildiği gibi yabancı ülkelere de yapılmaktadır. Bu tedarikler sırasında elde edilen ham maddeler içerisindeki atık miktarı ve çeşitliliği gelen şehir ve ülkeye göre de değişmektedir. Bir diğer atık olan ve üretimin çeşitli kısımlarında ortaya çıkan kısa ve ölü elyaflar tekrar üretim hattına beslenebilmektedir. Ancak elek altına geçen ve kâğıt üretimine uygun olmayan boyutlardaki kısa elyaflar, kâğıt mukavemetini azalttığı ve üretim esnasında kopmalara sebep olduğundan belirli miktardan fazla tekrar geri kullanılamamaktadır (Karahana & Karademir, 2020). Şekil 10'da farklı fabrikalara ait elek altına kaçan elyaflar verilmiştir.



Şekil 10: Farklı kâğıt fabrikalarına ait elek altına kaçan elyaflar (Abdullah vd., 2015).

Figure 10: Fibers falling under the sieve of different paper mills (Abdullah et al., 2015).

Kâğıt sektöründe elek altına kaçan elyaflara ek, yoğun olarak, cam, kum, plastik, kompakt gibi karışık yapıdaki birçok atığa rastlanılmakta ve bu atıklar üretimde farklı noktalarda değişik sorunlara sebebiyet vermekle birlikte üretim hacmini

düşürmektedir. İstenmeyen ürünlerin parçalara verdiği zararlardan bazıları Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11: Üretimde istenmeyen ürünlerin parçalara verdiği zararlardan bazıları.

Figure 11: Some of the damages caused by unwanted products in production.

Temiz ham maddelerin üretim sürecine dâhil edilmesi, kağıt üretim tesislerinde kullanılan ana bileşenlerin, örneğin elekler, silindirler ve pompaların, daha uzun süreli verimli çalışmasını sağlamaktadır. Bu durum, ekipmanların aşınma oranını azaltarak, bileşenlerin daha uzun süre boyunca yüksek performansla çalışmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, bu sayede bakım gereksinimlerinin azalması ve bakım süreçlerinin daha seyrek hale gelmesi söz konusu olmaktadır. Temiz ham madde kullanımı, üretim proseslerinin güvenilirliğini artırırken, aynı zamanda ekipmanların ömrünü uzatarak, genel işletme maliyetlerini de düşürmektedir. Öte yandan, atık ayrıştırma ve geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan otomatik sistemler, üretim süreçlerinin verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu teknolojiler, ham maddelerin ayrıştırılmasında insan müdahalesini minimize ederek, hem hız hem de doğruluk açısından üstün performans sağlar. Otomatik sistemler, özellikle kağıt geri dönüşümü gibi karmaşık süreçlerde, atıkların etkin bir şekilde ayrıştırılmasını ve yeniden kullanılabilir malzemelerin toplanmasını sağlar. Bunun sonucunda, üretim süreçleri daha düzenli hale gelir, verimlilik artar ve atık yönetimi daha sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilir (Lee, 2021). Bu gelişmeler hem çevresel hem de ekonomik açıdan işletmelere önemli faydalar sağlar. Üretilen kâğıt türüne uygun ham maddelerin kabul edilmesiyle renk ve dolgu için kullanılan kimyasal miktarları düşecek, su arıtma işlemleri için daha az enerji harcanacak ve çıkan arıtma çamurlarını katma değerli ürünlere dönüştürmek daha kolay olacaktır. Sürdürülebilir atık yönetimi kapsamında ilk başta bireysel olarak atıklarımızı ayrıştırmalı, onların birer atık değil farklı sektörler için birer ham madde kaynağı olduğunu ve bir değere dönüşeceği unutmamalıdır. Elek altına kaçan kısa liflerin azaltılmasını sağlamak amacıyla, elek bakımlarının düzenli yapılması ve kaliteli ham madde temini büyük önem taşımaktadır. Gelen ham maddelerin pulpere girmeden önce ayrıştırılarak istenmeyen kâğıt, plastik, cam, kum ve diğer maddelerin uzaklaştırılması sağlanarak daha kaliteli

ürünlerin yanında daha az makine yıpranmaları sağlanmalıdır.

6. Kâğıt Geri Dönüşümünde Atık Yönetimi ve Sorunlar

Yerleşik yaşama geçiş ile birlikte ortaya çıkmaya başlayan atık sorunu, sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve ekonomik gelişmelerle büyüyerek çevre sorunlarına neden olmaktadır (Akdoğan & Güleç, 2017). Kâğıt geri dönüşümündeki önemli sorunlar şunlardır;

- Kâğıt kirlenmesi: Kirli kâğıtların geri dönüşüm sürecine girmesi, genel geri dönüşüm oranlarını düşürmekte, kontaminasyona sebep olabilmekte ve maliyetleri artırmaktadır (Ferguson & Stewart, 2019; Hoffman, 2021).
- Maliyet sorunları: Geri dönüşüm süreci, iyi yönetilmez ise ham kâğıt üretiminden daha maliyetli olabilme potansiyeline sahiptir ve geri dönüşüm tesislerinin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz etkiler (McKinney, 2018).
- Ayırıştırma zorluğu: Farklı kâğıt türlerinin (örneğin, karton, gazete, ofis kâğıdı) ayrıştırılması karmaşık bir süreçtir (Waste Management Journal, 2019).
- Yetersiz talep: Geri dönüştürülmüş kâğıda olan talep bazen yetersiz kalır, bu da geri dönüşüm süreçlerini etkisiz hale getirebilir (Tschirley & Radhakrishna, 2020).
- Teknoloji yetersizliği: Geri dönüşüm tesislerinde kullanılan teknolojilerin yetersizliği, kâğıt geri dönüşüm verimliliğini olumsuz etkileyebilir (Lee, 2021).

Kâğıt fabrikalarının atık yönetimi zorlu konular arasında yerini almaktadır. Gelen ham maddeye göre atık içeriğinin değişiminin stabil olmaması, atıkların toplama, taşıma ve depolama maliyetleri yüksek olması bu zorluğu göz önüne sermektedir. Ayrıca, çıkan atıkların çevreye olan olumsuz etkileri de ciddi problemler oluşturabilmektedir. Özellikle kimyasal içeriğe sahip atıkların doğaya sızması çevresel kirliliğe yol açtığı gibi su kaynaklarını da tehdit edebilmektedir. Kâğıt üretiminde atık azaltma uygulamaları hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır.

7. Sonuç

Kâğıt fabrikalarında temiz üretim uygulamaları, sadece çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik verimlilik ve toplumsal faydalar açısından da önemli bir rol

oynamaktadır. Temiz üretim, üretim süreçlerinin her aşamasında kaynakların daha verimli kullanılması, atıkların minimize edilmesi ve çevreye olan zararın azaltılması hedefini güder. Bu uygulamaların benimsenmesi, kâğıt sektöründeki çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra, işletmelerin maliyetlerini düşürmesine ve rekabet gücünü artırmasına da katkı sağlamaktadır. Kâğıt üretimi, büyük miktarda enerji, su ve doğal kaynak tüketen bir sektör olduğundan, bu sektörün sürdürülebilir bir şekilde faaliyet gösterebilmesi için temiz üretim stratejilerinin uygulanması kritik öneme sahiptir. Kâğıt üretiminde temiz üretimin temel ilkelerinden biri, ham madde olarak kullanılan atık kâğıtların geri dönüştürülmesi sürecinde ortaya çıkan atıkların etkili bir şekilde yönetilmesidir. Kâğıt geri dönüşümü, ham ağaçlardan elde edilen selüloza olan bağımlılığı azaltarak, ormanların korunmasına ve doğal kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Ancak, geri dönüşüm sürecinde kullanılan atık kâğıtların kalitesi, üretim verimliliği ve çevresel etkiler açısından belirleyici bir faktördür. Kâğıt geri dönüşümü sırasında, atık kâğıtların içerisine plastik, taş, cam, demir gibi kâğıt üretimine uygun olmayan malzemelerin karışması, üretim süreçlerini olumsuz etkiler. Bu tür yabancı maddelerin varlığı, iş gücü maliyetlerini artırdığı gibi, makine parçalarının aşınmasına da neden olur. Bu da, işletmelerin daha yüksek bakım ve onarım maliyetleriyle karşılaşmasına, dolayısıyla üretim maliyetlerinin artmasına yol açar. Kâğıt geri dönüşümünde ortaya çıkan bu tür uygunsuzluklar, sadece ekonomik maliyetleri artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı zorlaştırır. Temiz üretim, bu tür sorunların önlenmesi ve atıkların uygun şekilde ayrıştırılması için etkin yöntemler geliştirilmesini sağlar. Geri dönüşüm sürecinde, atık kâğıtların doğru bir şekilde sınıflandırılması, karışık malzeme oranlarının düşürülmesi ve geri kazanım oranlarının artırılması, çevresel etkileri azaltırken, aynı zamanda üretim verimliliğini de artırır. Bu da, hem işletme sahiplerinin maliyetlerini düşürmesine hem de çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılmasına katkıda bulunur. Temiz üretim ilkelerinin kâğıt fabrikalarına entegrasyonu, enerji ve su tüketiminin azaltılmasını, emisyonların kontrol altına alınmasını, atıkların minimize edilmesini ve üretim süreçlerinde sürdürülebilir teknolojilerin kullanımını kapsamaktadır. Bu süreçlerde, kullanılan enerji miktarının ve suyun verimli bir şekilde kullanılması, fabrikaların çevresel etkilerini azaltmanın yanı sıra, üretim maliyetlerini de önemli ölçüde düşürür. Özellikle su, kâğıt üretiminde büyük miktarlarda kullanılan bir kaynaktır ve suyun geri kazanımı, atık su arıtma süreçlerinin iyileştirilmesi, temiz üretim

stratejilerinin bir parçasıdır. Su kullanımının azaltılması ve suyun geri kazanılması, hem çevreye olan yükü azaltır hem de işletmenin maliyetlerini önemli ölçüde düşürür. Bunun yanı sıra, temiz üretim uygulamaları, kağıt fabrikalarının sera gazı emisyonlarını azaltmalarına da yardımcı olur. Kağıt üretim süreci, enerji yoğun bir süreç olup, fosil yakıtların kullanımından dolayı yüksek miktarda karbon salınımına neden olabilmektedir. Temiz üretim, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Bu da, fabrika işletmelerinin karbon ayak izlerini küçültmelerine, dolayısıyla küresel ısınmanın etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Kağıt fabrikalarında uygulanan temiz üretim yöntemlerinin bir diğer önemli faydası da atık yönetimidir. Geri dönüşüm sürecinde ortaya çıkan atıklar, çeşitli türlerde olabilir; katı, sıvı, gaz gibi farklı formlarda karşımıza çıkar. Bu atıkların yönetimi, çevre sağlığı ve insan sağlığı açısından büyük önem taşır. Atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi, çevre kirliliğini önlemeye yardımcı olur. Özellikle sıvı atıkların arıtılması, kimyasal maddelerin uygun bir şekilde bertaraf edilmesi, hava emisyonlarının kontrol altına alınması, temiz üretim sürecinin önemli bileşenleridir. Bu tür önlemler, sadece çevreye değil, aynı zamanda insan sağlığına da zarar vermemek için kritik bir rol oynar. Kağıt fabrikalarının atıklarını etkili bir şekilde yönetmesi, çevresel sorumluluklarını yerine getirmeleri açısından önemli bir göstergedir. Sürdürülebilir atık yönetimi, kağıt üretiminde yalnızca çevresel bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik bir strateji olarak da kabul edilmelidir. Temiz üretim uygulamaları, atıkların geri kazanılmasını, israfın önlenmesini ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayarak maliyet tasarrufu sağlar. Atıkların azaltılması, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve temiz üretim teknolojilerinin benimsenmesi, kağıt fabrikalarının rekabet gücünü artırırken, daha yeşil ve çevre dostu bir üretim süreci sunar. Ayrıca, çevreye duyarlı üretim yöntemlerinin benimsenmesi, şirketlerin çevresel itibarlarını artırarak, sürdürülebilirlik konusunda toplumsal farkındalığı da artırır. Bu, kağıt üreticilerinin ve diğer sanayi kuruluşlarının, gelecekteki tüketici taleplerine ve çevre düzenlemelerine uyum sağlamalarına olanak tanır. Kağıt fabrikalarında temiz üretim uygulamalarının önemi, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik verimlilik ve toplumsal sorumluluk gibi çok boyutlu bir etkiler bütünüyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, kağıt üreticilerinin sürdürülebilir üretim süreçlerine yatırım yaparak, yalnızca çevresel sorumluluklarını yerine getirmeleri değil, aynı zamanda uzun vadeli ekonomik büyümelerini desteklemeleri mümkün olacaktır. Temiz üretim

uygulamaları, kağıt sektöründe hem çevresel hem de ekonomik faydaların bir arada sağlanmasını mümkün kılar ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olarak öne çıkar. Gelecek çalışmalarda, temiz üretim uygulamalarının kağıt sektöründeki diğer alanlara da entegre edilmesi ve bu uygulamaların çevresel etkilerinin daha uzun vadede izlenmesi önerilmektedir. Sonuç olarak, temiz üretim uygulamaları, kağıt üretiminde çevresel ayak izini küçültürken aynı zamanda işletmelere maliyet avantajları sağlamaktadır. Bu uygulamalar sayesinde, geri dönüşüm süreçlerinin etkinliği artırılmakta ve kaynak kullanımı optimize edilmektedir.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Teşekkür: Makalenin hazırlanmasında katkıları bulunan, Balıkesir Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinde görevli Öğretim Görevlisi Emine Uçmuş'a, Mekatronik Mühendisi Ahmet Akif Sağlam'a ve emeği geçene herkese teşekkürlerimi sunarım.

Yazarların Katkıları: Konsept: M.Y., L.Ç., M.T., A.K.; Tasarım: M.Y., L.Ç.; Danışmanlık: A.K.; Kaynaklar: M.Y., L.Ç., M.T., A.K.; Veri toplama: M.Y., L.Ç., M.T., Analiz: A.K.; Literatür taraması: M.Y., L.Ç., M.T., A.K.; Makale yazımı: M.Y., L.Ç., Eleştirel inceleme: A.K.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

Abdullah, R., Ishak, C. F., Kadir, W. R., & Bakar, R. A. (2015). Characterization and feasibility assessment of recycled paper mill sludges for land application in relation to the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9314–9329.

Adams W. M. (2006, January 29-31). The future of sustainability: re-thinking environment and development in the twenty-first century [Conference presentation]. IUCN Renowned Thinkers Meeting, Gland, Switzerland.

- Akdoğan, A., & Güleç, S. (2017). Sürdürülebilir katı atık yönetimi ve belediyelerde yöneticilerin katı atık yönetimiyle ilgili tutum ve düşüncelerinin analizine yönelik bir araştırma. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 25(1), 39–69.
- Alma Savaş, D. (2022). Sürdürülebilir tüketim ve çevre araştırmalarına yönelik bir analiz. Akademik İzdüşüm Dergisi, 7(2), 81–100.
- Anantharaman, M. (2018). Critical sustainable consumption: a research agenda. Journal of Environmental Studies and Sciences, 8, 553–561.
- Arslantaş, H. A. (2008). Kültür-kişilik ve kimlik. Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 7(1), 105–112.
- Baird, R. (1996). Chief Seattle's letter: an examination of the text. Environmental Ethics, 18(2), 161–174.
- Beveridge, T. (2015). Environmental and economic benefits of paper recycling. Journal of Waste Management, 35(3), 245–258.
- Cüce, H. (2018). Endüstriyel üretimde döngüsel çevre politikaları. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(2), 111–122.
- Delmas, M. A., & Toffel, M. W. (2004). Stakeholders and environmental management practices: an institutional framework. Business Strategy and the Environment, 13(4), 209–222.
- Diesen, K. (1998). Paper recycling and the environment. Journal of Environmental Management, 53(2), 145–156.
- FAO. (2022, May 24). Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Ferguson, C., & Stewart, T. (2019). The impact of contamination on paper recycling: challenges and solutions. Waste Management, 98, 56–65.
- Fronzel, M., Horbach, J., & Rennings, K. (2004). End-of-pipe or cleaner production? an empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries. ZEW Discussion Papers, No. 04–82.
- Gertsakis, J., & Lewis, H. (2003). Sustainable development and cleaner production: A practical approach. UNEP. <https://www.unep.org/resources/report/sustainable-development-and-cleaner-production-practical-approach>
- Gün, S., & Yalçın, H. (2021). Kağıt üretiminde kullanılan selüloz kaynakları ve geri dönüşüm süreçleri. Çevre ve Enerji Dergisi, 19(3), 45–59.
- Güngör F., & Felekoğlu B. (2018). Eko-verimlilik kavramı, gelişimi ve uygulanma süreci. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 20(3) Özel Sayı:90–104.
- Halaçeli Metlioğlu, 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.
- Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. Academy of Management Review, 20(4), 986–1014.
- Hervani, A. A., Helms, M. M., & Sarkis, J. (2005). Performance measurement for green supply chain management. Benchmarking: An International Journal, 12(4), 330–353.
- Hoffman, R. 2021. Contamination in recycling: Understanding its causes and effects. Journal of Environmental Management, 275, 111234.
- Homa, M. (2019). Illustration of the paper or boardmaking process based on 1, 2, 3. https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-paper-or-boardmaking-process-based-on-1-2-3_fig1_292149713
- Iqbal, M. (2002). Environmental ethics in Islam. Islamic Studies, 41(3), 343–357.
- Kaçtıoğlu, S., & Şengül, Ü. (2011). Erzurum kenti ambalaj atıklarının geri dönüşümü için tersine lojistik ağı tasarımı ve bir karma tam sayılı programlama modeli. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 24(1), 89–112.
- Karaca, C. (2007). Çevre, insan ve etik çerçevesinde çevre sorunlarına ve çözümlerine yönelik yaklaşımlar. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1), 1–19.
- Karademir, A. (2022). Kağıt üretim teknolojisi: Ders notları. Bursa Teknik Üniversitesi. Bursa.
- Karahan, B., & Karademir, A. (2019). Sustainable paper recycling practices and their environmental

impact. Waste Management & Research, 37(4), 345–359.

Karahan, S., & Karademir, A. (2020). Kâğıt fabrikası arıtım suyu çamurunun diğer atık kâğıtlarla birlikte ambalaj kartonu üretiminde değerlendirilmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(1), 140–145.

Karakuş, D. N., An, N., Turp, M. T., & Kurnaz, L. (2022). AB yeşil mutabakatı ve sürdürülebilir kalkınma amaçları kapsamında temel uygulama yaklaşımlarına küresel bakış. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 24(1), 47–67.

Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Sustainable operations management. Production and Operations Management, 14(4), 482–492.

Kleiner, A. (1991). The role of cleaner production in achieving sustainability. Journal of Cleaner Production, 1(1), 1–8.

Koç, M. (2019). Kağıt geri dönüşümünün çevresel ve ekonomik etkileri. Orman Ürünleri ve Çevre Bilimleri Dergisi, 27(2), 77–91.

Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is sustainability?. Sustainability, 2(11), 3436–3448.

Lee, J. (2021). Technological advancements in paper recycling: Current state and future directions. Journal of Cleaner Production, 283, 124–134.

Martı, T. (2021). İslam’da çevre koruma ve sürdürülebilirlik prensipleri. Türkiye Çevre ve Şehircilik Dergisi, 12(2), 15–29.

McKinney, A. (2018). Economic sustainability in recycling facilities. Journal of Waste Management, 38(4), 123–132.

Moosavi, M., Ghorbannezhad, P., Azizi, M., & Hosseinabadi, H. Z. (2021). Evaluation of life cycle assessment in a paper manufacture by analytical hierarchy process. International Journal of Sustainable Engineering, 14(6), 1647–1657.

Miller, R. (2006). The impact of recycling on environmental sustainability. Resources, Conservation and Recycling, 47(3), 304–316.

OECD. (2013). Environmental outlook to 2050: The consequences of inaction. Organisation for Economic Co-operation and Development, 1–353.

Özkan, A., Günkaya, Z., Özdemir, A., & Banar, M. (2018). Sanayide temiz üretim ve döngüsel ekonomiye geçişte endüstriyel simbiyoz yaklaşımı: bir değerlendirme. Anadolu University Journal of Science and Technology B - Theoretical Sciences, 6(1), 84–97.

Öztürk, A., & Çelik, H. (2020). Sürdürülebilir kağıt üretiminde yıllık bitkiler ve tarımsal artıkları kullanma. Tarım ve Orman Dergisi, 32(4), 101–115.

Porter, M. E., & Van der Linde, C. (1995). Green and competitive: Ending the stalemate. Harvard Business Review, 73(5), 120–134.

Siddiqi, M. N. (2006). Environmental preservation in Islam. Environmental Development, 7(4), 15–23.

Smook, G. A., & Kocurek, M. (2016). Handbook for pulp and paper technologists (4th ed.). TAPPI Press.

Staniskis J., & Varžinskas V. (2010). Life cycle based design and product development: application of ica to Lithuanian industry. Environ Res Eng & Manage; 4(54):43–53.

Tetik, M. (2021). Kağıdın geri dönüşüm prosesleri [Yüksek lisans tezi], Balıkesir Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Balıkesir.

Tschirley, D., & Radhakrishna, K. (2020). Market demand for recycled paper: Trends and challenges. Resources, Conservation and Recycling, 163, 105–113.

Tudor, T. (2008). Advances in recycling and waste management. Environmental Science & Technology, 42(8), 1234–1241.

Türk Dil Kurumu (TDK). (2023, Kasım 10). Sürdürmek, Genel Türkçe Sözlük. <https://sozluk.gov.tr/>

Birleşmiş Milletler. (2024, Eylül 11). Birleşmiş Milletler Türkiye: Sürdürülebilir kalkınma hedefleri. <https://turkiye.un.org/tr/sdgs>

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023, Mayıs 15). Çevre koruma harcama istatistikleri 2022 [Bülten]. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Cevre-Koruma-Harcama-Istatistikleri-2022-49671>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (2009). Sustainable management of materials. <https://www.epa.gov/smm>

UNEP. (2011). Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication. United Nations Environment Programme.

Waste Management Journal. (2019). Challenges in paper recycling: Sorting and processing. Waste Management, 87, 25–32.

Yalçın, C. (2010.) Çevre sorunları bağlamında kızılderili çevre anlayışı. Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 34(1), 9–16.

Yılmaz, M. (2022). Kağıt üretiminde kullanılan malzemelerin kalitesi ve maliyet faktörleri. Çevre Teknolojileri Dergisi, 25(1), 22–35.

Yücel, M. (2011). Çeşitli endüstrilerde temiz üretim sistemi uygulamalarının işletme ekonomilerine sağladığı faydalar. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 10(35), 150–166.

Yücel, M., & Ekmekçiler, Ü. S. (2008). Çevre dostu ürün kavramına bütünsel yaklaşım: Temiz üretim sistemi, eko-etiket, yeşil pazarlama. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 7(26), 320–333.

Zhu, Q., Sarkis, J., & Geng, Y. (2005). Green supply chain management in China: Pressures, practices and performance. International Journal of Operations & Production Management, 25(5), 449–468.

Zhu, Y., & Pye, J. (2009). Technological innovations in paper recycling. Journal of Cleaner Production, 17(8), 765–772.



Atık Kağıt Üretim Süreçlerinde Formasyon ve Atıkların Yönetimi

Formation, Wire Retention and Wastes in Waste Paper Mill

Arif Karademir^{1,2} , Hülya Varlıbaş Başboğa^{1*} , Lale Çağlar² 

¹ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

² Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası, 10185 Balıkesir, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 20/09/2024
Kabul Tarihi: 10/01/2025

Atıf:

Karademir, A., Başboğa, V. H., & Çağlar, L. (2025). Atık Kağıt Üretim Süreçlerinde Formasyon ve Atıkların Yönetimi. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 16-28.

*Sorumlu yazar: Hülya Varlıbaş Başboğa
E-mail: hulya.varlibas@btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Tutunma / Retention
Formasyon / Formation
Atıklar / Wastes

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Kâğıt, ilk icadında böğürtlen ve pirinç saplarından basit metotlarla elde edilen selüloz elyaflarından üretilmiştir. Takip edilen sonraki yıllarda kağıda olan talebin artmasıyla çeşitli yıllık bitkiler, tarımsal atıklar ve aynı zamanda bitkisel elyaf içeren eski kumaşlar da kağıt üretimi için kullanılmıştır. Ormanlar ise 1800'lü yıllarda ağaçlardan selüloz elde edilmesi geliştirildikten sonra, kâğıt endüstrisi için ana hammadde kaynağı olarak işletilmeye başlanmıştır. Günümüzde ise artan insan nüfusu ve tüketimle beraber çoğu endüstrilerde olduğu gibi kâğıt sektöründe de hammadde kıtlığı azami seviyede olup, talepler karşılanamamaktadır. Bu nedenle kâğıt üretiminde özellikle atık kağıtların geri kazanılması, farklı yıllık bitkilerden selüloz elyafı elde edilmesi ve hammaddenin en etkin şekilde değerlendirilmesi son derece önem arz etmektedir. Kağıt fabrikalarında atık kağıttan tekrar kağıt üretilme süreciyle birlikte, kağıt üretiminde bazı sorunlar oluşmaya başlamıştır. Kâğıt üretiminde özellikle elyafların tutunması ve etkin su kullanımı, işletme maliyetlerini etkileyen en önemli kalemlerin başında gelmektedir. Atık kağıt üretiminde hammaddenin temini, temin sürecinin zorlukları ve hammadde kalitesinin yetersizliği gibi faktörler kağıt üretimini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu çalışmada atık kâğıt işleyen bir kağıt fabrikası üzerinden tutunma, su kullanımı ve atıklar konusu incelenmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

Paper was initially produced using cellulose fibers obtained from blackberry and rice stalks through simple methods. As the demand for paper increased, various annual plants, agricultural waste, and old fabrics containing plant fibers were also used for paper production in the following years. On the other hand, forests became the primary raw material source for the paper industry after the development of methods to extract cellulose from trees in the 1800s. Nowadays, with the growing human population and increased consumption, the shortage of raw materials has reached the utmost levels in the paper industry, as in many other sectors, making it difficult to meet demands. For this reason, the recovery of wastepaper, the extraction of cellulose fibers from different annual plants, and the efficient utilization of raw materials are of utmost importance in paper production. Alongside the process of recycling wastepaper in paper mills, specific challenges have emerged in paper production. Fiber retention and efficient water usage are among the most critical factors influencing operating costs. Factors like the supply of raw materials, difficulties in the procurement process, and insufficient raw material quality negatively impact paper production in wastepaper production. This study aims to examine the topics of retention, water usage and waste through the lens of a paper mill that processes waste paper.

1. Giriş

Kâğıt, bilindiği gibi ağaçlardan, yıllık bitkilerden veya atık kağıtlardan kazanılan bitkisel elyaflardan üretilmektedir. Ağaçlar ve bitkilerden farklı metotlarla elde edilen elyaflara birincil elyaf denirken atık kağıtlardan kazanılan elyaflara ise ikincil elyaf veya geri kazanılmış elyaf denilmektedir. Birincil elyaflar ileri işlemler ile ağartılabilir ve tamamen beyaz selüloz hamuru şeklinde üretilir. Birincil elyaflardan oluşan kâğıt hamurlarında lignin, odun ekstraktifleri ve pişirme/ağartma işlemlerinden kalıntı kimyasallar bulunabilir. Atık kağıtlardan elde edilen hamurlarda ise çok daha çeşitli kirlilikler bulunmaktadır. Farklı dolgu maddeleri, kuşe katman bileşenleri, katkı kimyasalları, çok çeşitli amaçlarla katılmış polimerler ve renklendirici bileşenler bunlara örnek verilebilir. Ülkemizde atık kâğıt sektörü ciddi hammadde sıkıntısı yaşamakta, üretim sistemine giren atık kağıtların kalitesi ne yazık ki giderek daha da kötüleşmektedir. Kısa, zayıf ve kırıntı elyaf oranı oldukça artan atık kâğıt hamurlarında ayrıca kimyasal ve inorganik çok sayıda ve çeşitte de bileşenler bulunmaktadır. Bu açıdan ikincil elyaf içeren kâğıt hamurundan yüksek verimde üretim yapmak, su arıtma, enerji ve atıklar gibi çoğu konuda işletmenin performansını ciddi etkilemektedir.

1.1. Kâğıt hamuru bileşenleri

Kâğıt, büyük oranda bitki elyaflarından oluşan çok seyreltik bir süspansiyonun (%0,7-1,2) hareket eden bir elek üzerinden filtre edilmesi, suyunun süzülmesi, ıslak bir safiha oluşturulması, bu safihanın vakumlanması, preslenmesi ve nihayet sıcak silindirler arasından geçirilerek nem oranı %5-8 arasında esnek bir yapı üretilmesiyle elde edilmektedir (Smook, 1992).

Kâğıt üretimi temel yapısı itibarı ile tamamen filtrasyon prensibine dayanır. Bu amaçla en fazla kullanılan formasyon sistemi, yatay konumlanmış hareketli bir süzme/formasyon eleği (sonsuz elek) sistemi ile çalışan Fourdrinier sistemidir. Bunun yanında silindir elekli, çift elekli ve çift elekli jet (gap former) formasyon mekanizması ile çalışan makinelerde mevcuttur.

Kâğıt, bilindiği gibi selüloz elyaflarının birbirlerine temas eden yüzeylerinde gelişen hidrojen bağları ile mukavemet kazanmaktadır. Hidrojen bağlarının gelişmesi için ise sistemin sulu ortamda çalışması, yani selüloz elyaflarının seyreltik bir su süspansiyonunda organize şekilde üst üste yerleşerek

ıslak kâğıt keçesini oluşturması gerekir. Nihayetinde üretilen kâğıdın toplam mukavemeti elyafların bireysel kuvvetleri ile elyaf arası bağ kuvvetlerinin bileşkesi olacaktır (T'anson vd., 2006).

1.1.1. Kâğıt hamuru

Ağaçlardan ve çeşitli yıllık bitkilerden hamur üretimi yapılırken, hammadde yapısındaki elyafları bir arada tutan lignin başta olmak üzere bağlayıcı yapıları gevşetme ve/veya tamamen uzaklaştırarak bitki hücrelerini (selüloz elyafları) bireysel hale getirmeye ve istenirse optik özellikleri iyileştirilmeye çalışılır (Şekil 1).

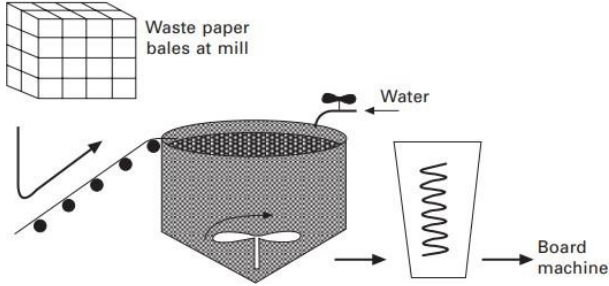


Şekil 1: Primer elyaf üretiminde kademeli ağartma (Brückle, 2009).

Figure 1: Gradual bleaching in primary fiber production (Brückle, 2009).

Atık kağıtlardan tekrar hamurlaştırma yapılırken ise, temelde su içerisinde mekanik etkilerle kağıtların ayrıştırılmasına ve elyaflardan oluşan bir kütle elde etmeye çalışılır (Şekil 2). Ancak atık kağıtlarda elyaflar arasında oluşmuş hidrojen bağları dışında ıslak ve/veya kuru mukavemet kimyasallarının oluşturduğu bağlar, bazı tutkallardan, renklendiricilerden, kuşe katmanı bileşenlerinden (lateks, nişasta vb) ve mürekkep bileşenlerinden kaynaklanan çeşitli bağlarda doğal olarak bulunabilir. Dolayısıyla bu bağların açılması için suyun sıcaklığı artırılabilir gibi, bazı yardımcı kimyasallar katılabilir ve/veya bazı mekanik işlemlerde

yapılabilir. Atık kağıtlardan elde edilen hamurların optik değerlerini iyileştirmek için mürekkep giderme ve ağartma işlemleri de yapılabilir (Şekil 3). Geri dönüşüme gelmiş atık kağıtlardan hamur elde ederken kaçınılmaz olarak bazı kayıplar oluşur. Özellikle dolgu maddeleri, renklendiriciler, kuşe katmanı ve elyaflarda oluşan kırıntı ve tozlar kaybedilir.



Şekil 2: Atık kâğıt balyasından hamur açma ve hamur süspansiyonu oluşumu (Riley, 2012).

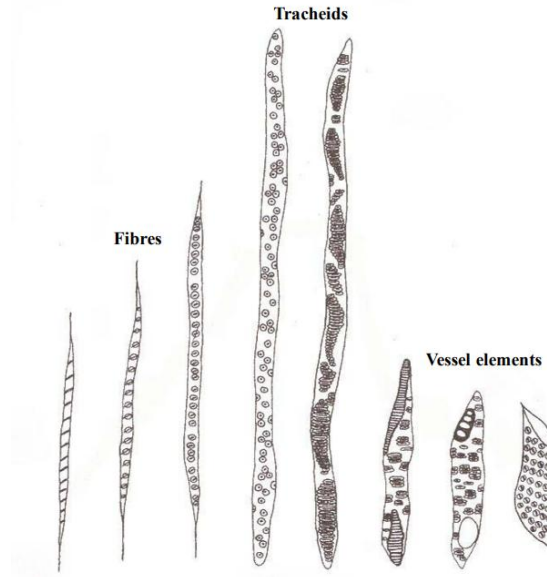
Figure 2: Pulping and pulp suspension formation from waste paper bale (Riley, 2012).

Kâğıt hamurunu oluşturan bitki elyafları, sektördeki yaygın tabiri ile selüloz elyafları çok farklı fiziksel, morfolojik ve kimyasal özelliklerde olabilir. O nedenle hammadde kaynağına, hamurlaştırma metoduna ve mekanik işlemler gibi faktörlere bağlı olarak kâğıt hamurlarının özellikleri değişkenlik gösterebilir. Genel olarak ibreli ağaçların (softwood) elyafları uzun elyaf diye isimlendirilir ve 3-7 mm uzunluklarda olabilir. Geniş yapraklı ağaçların (hardwood) elyafları ise kısa elyaf diye tanımlanır ve 1-2 mm uzunluklarda olabilirler. Yıllık bitkiler ve tarımsal bitkilerin elyafları da morfolojik ve kimyasal bileşim olarak farklılıklar gösterir. Pirinç ve buğday sapları örneğin %15'lere kadar silisyum içerebilirler ve oldukça ince, kısa elyaf verirler (Tutuş & Eroğlu, 2003). Tek bir selüloz elyafının lümen kısmı boş olup, hücre çeperi de 4 tabakadan oluşur (Şekil 4). Ağaç elyafları içi boş borucuklar şeklinde olup, uzunluk, genişlik, lümen genişliği ve hücre çeper kalınlığı gibi ölçülerinin özel formüllerde kullanılması ile bazı genel özellikleri (runkel oranı, elastiklik katsayısı, keçeleşme oranı vb.) ifade edilir.



Şekil 3: Atık kağıtların hamurlaştırılmasında mürekkep giderme köpüğü oluşumu ve hamurun kademeli ağartılması ile beyazlığın yükselmesi (CNBM Int., 2023; Karademir, 2023).

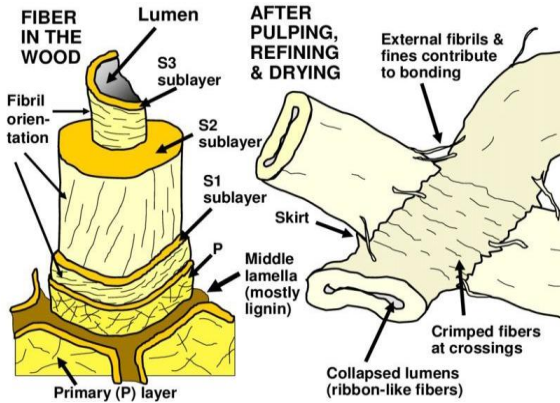
Figure 3: Formation of deinking foam in the pulping of waste paper and increase in whiteness with gradual bleaching of the pulp (CNBM Int., 2023; Karademir, 2023).



Şekil 4: Ağaç içinde çok farklı elyaflar bulunur (Jinagool, 2016).

Figure 4: There are many different fibers within trees (Jinagool, 2016).

Bitkilerden elde edilen hamurlara dövme yapmadan iyi bir kâğıt yapmak mümkün değildir. O nedenle birincil elyaflar, farklı modelleri bulunan dövücülerde (refiner/beater) mekanik etki altında iç ve dış saçaklanmaya maruz bırakılırlar (Şekil 5). Saçaklanma yanında ayrıca lümenleri çöken selüloz elyafları arasında, formasyon sırasında çok daha fazla temas alanı oluşur, hidrojen bağları daha fazla gelişir ve mukavemetleri yüksek kağıtlar üretilebilir (Eroğlu & Usta, 2004; I'Anson vd., 2006; Danielewicz, 2024).



Şekil 5: Elyafalarda dövme sonucu saçaklanma ve lümen çökmesi oluşur (Hubbe, 2014).

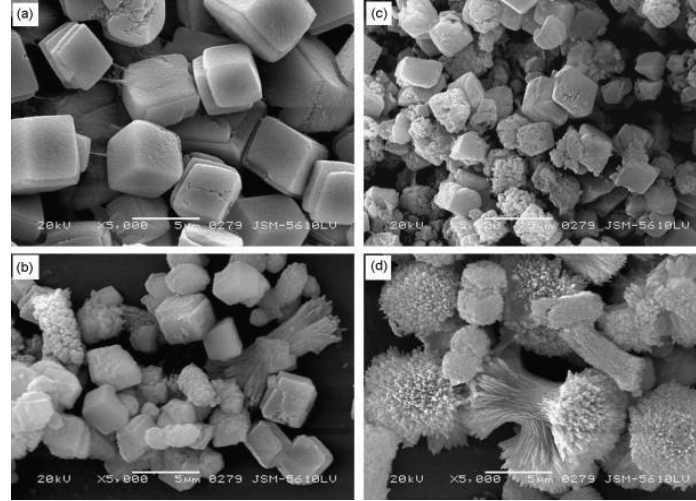
Figure 5: Binding and lumen collapse occur in the fibers as a result of beating (Hubbe, 2014).

1.1.2. Dolgu ve katkı maddeleri

Kağıt, kendi kendine bağ yapabilen lifli bir malzemedir. Bu bağlar tüm lifleri bir arada tutar, dolgu maddeleri ve yardımcı tutundurucu gibi herhangi bir katkı maddesi olmadan kağıt safijasını oluşturmak için temel bir işleve sahiptir Liflerin

bağlanma yeteneği olmasına rağmen, birçok durumda dolgu maddeleri ve yardımcı tutundurucular maliyet ve enerji tasarrufu sağlamak (Dong vd., 2008) için genellikle birlikte kullanılır. Kağıt malzemelerinin üretimi ve katkı maddelerinin seçimi, kağıdın beklenen özelliklerine ve son kullanıcıların beklentilerine göre değişebilir (Engin & Atik, 2018) (Şekil 6).

Kâğıt hamurunda bulunan bitki elyaflarının 1-7 mm boylarda olduğu düşünüldüğünde, kağıtçılıkta kullanılan dolguların son derece küçük ebatlarda olduğu söylenebilir (Wypych, 1999). Bir dolgu taneciği, bir selüloz elyafından en az bin ile üç bin (1000-3000) kat daha küçüktür (Tablo 1). Öyle ki bazı tekniklerle elyafların geçitlerine ve lümenlerine dolgu yüklemesi yapılabilmektedir. Dolguların özgül ağırlıkları da genelde elyaflardan çok yüksek olup bu durum sulu süspansiyonda ve süzülme sırasında problemlere neden olmaktadır. Kristal yapıları da çok farklılık gösteren dolgu maddelerinin, optik özellikleri selüloz elyafından çok daha iyi seviyededir. Dolgu maddelerinin elyaflara tutunması, oluşan kâğıt matriksi içerisinde tüm boyutlarda (x, y ve z) düzgün homojen dağılımı, kurutma ve kullanımda kolay ayrışmaya bağlı tozlanma oluşumu, üretim sırasında aşırı kimyasal ihtiyacı, düşük tutunmaya bağlı olarak kâğıt makinesinin ıslak parti kısmında depozit oluşumları, elek altı su kontaminasyonu ve düşük tutunmaya bağlı formasyon eleklerinin hızlı aşınması gibi çok sayıda problem yaşanabilmektedir (Wypych, 1999; Karademir vd., 2003, 2005).



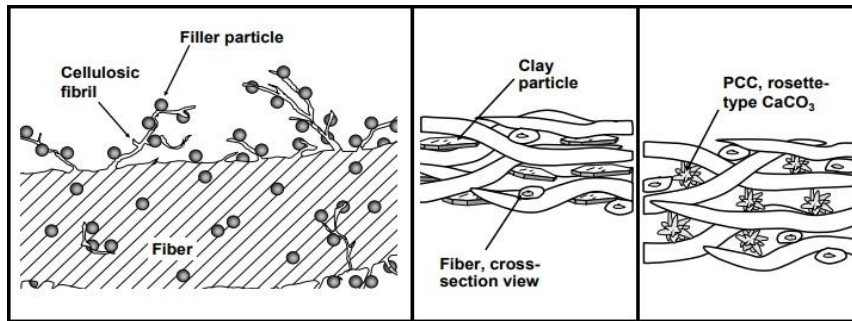
Şekil 6: Kağıtlarda kullanılan farklı kristal yapılarında dolgu maddeleri (Karademir vd., 2005).
Figure 6: Fillers with different crystal structures used in papers (Karademir et al., 2005).

Tablo 1: Tipik kağıt dolgu maddelerine ait bazı parametreler (Wypych, 1999).
Table 1: Some parameters of typical paper fillers (Wypych, 1999).

Ürün Tipi	Kil (Kaolin)	GCC (Kireç Taşı)	Kireç Taşı	Talk
Yoğunluk (g/cm ³)	2.6	2.7-2.9	2.7-2.9	2.7-2.85
Sertlik (Moh ölçekli)	2	3-4	3-4	1-1.5
Yanma Kaybı, 900 °C (%)	12-14	43.5	43.5	4.8-17
Kırılma İndisi	1.55	1.48, 1.65, 1.7	1.48, 1.65, 1.7	1.58
Ortalama Çap (mikron)	2-5	0.8-2	2	1-20
Yüzey Alanı (m ² /g)	10-20	5-12	3-5	2.6-35
Klasik Ürün Şekilleri	Katmanlı	Düzensiz Bloklar	Kokolit, Yuvarlak	Katmanlı
En/boy Oranı (Uzunluk/Genişlik)	4-30	1-1.5	1-1.5	5-20
Yansıtma Katsayısı (% , 547 nm ışıktı)	80-90	95	88	78-93
Aşınma	2-5	4-8	-	3-5

Elyaf ve dolgu arasındaki fiziksel büyüklük farkı Şekil 7’de açıkça görülmekte olup, dolgu taneciklerinin selüloz elyaf yüzeyine, elyaf saçaklarına bağlanmaları ve kâğıt matrisinde elyaf arasında yerleşimleri sembolik olarak çizilmiştir (Hubbe & Gill, 2016). Özellikle elyaf arasında yerleşen dolguların elyaf arası bağlanmayı

olumsuz etkilediği ve kâğıt mukavemetlerini düşürdüğü bilinmektedir. Bu durumu iyileştirmek için dolgularda bazı modifikasyon işlemleri ve/veya daha fazla mukavemet artırıcı kimyasalın hamura dozlanması gerekmektedir.

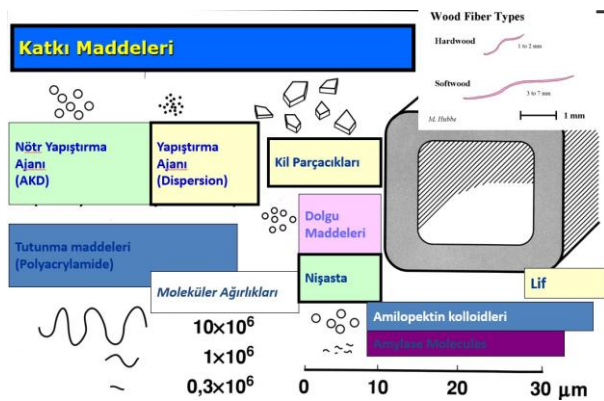


Şekil 7: Dolgu maddeleri ve selüloz elyafları ile tutunma olasılıkları (Hubbe & Gill, 2016).
Figure 7: Possibilities of retention with fillers and cellulose fibers (Hubbe & Gill, 2016).

Kâğıt hamurunda bitki elyafları ve dolgular dışında, hamurun ve üretilecek ürünün özelliklerine göre daha farklı bileşenlerde bulunur. Miktar olarak az olmalarına rağmen hamurun iletkenliği, zeta potansiyel ve yük değerlerini belirleyen/etkileyen bu

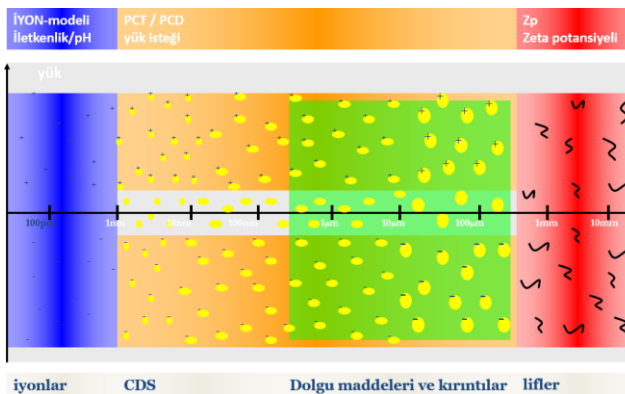
bileşenlerinde bilinmesi ve ona göre süreç yönetimi yapılması gerekmektedir. Atık kağıtlardan elde edilen hamurlarda, birincil elyaf hamuruna göre çok daha çeşitli ve karmaşık bileşenler bulunur. Hamur bileşenlerinden bazıları fiziksel boyutları da kabaca

karşılaştırılabilecek şekilde aşağıda gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 8). Şekil 9'da ise elyaflardan iyonlara kadar olan bileşenler gösterilmektedir.



Şekil 8: Hamurda bulunan elyaflar, dolgular ve bazı katkı kimyasalları (Karademir, 2023).

Figure 8: Fibers, fillers and some additive chemicals found in the pulp (Karademir, 2023).



Şekil 9: Elyaplardan iyonlara kadar hamur bileşenleri (Karademir, 2023).

Figure 9: Pulp components from fibers to ions (Karademir, 2023).

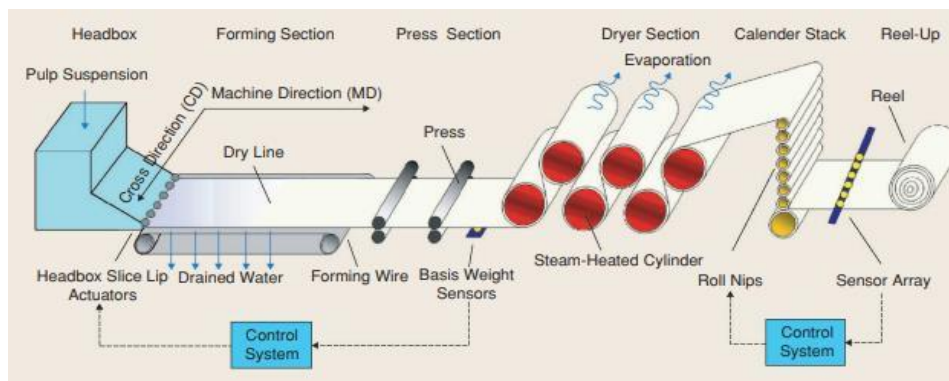
Kâğıt üretiminde, süreci iyileştirmek ve ürünü istenen özelliklere ulaştırmak için çeşitli performans ve

fonksiyonel kimyasallar kullanılır. Tutundurma, mukavemet kimyasalları, köpük söndürücüler ve kağıtların su/yağ emilimini ayarlamak için kullanılan kimyasallar en yaygın bilinen katkıların başında gelir.

2. Kağıt Formasyonu

Kâğıt formasyonu, son derece seyreltik bir sulu hamur süspansiyonunun (%0,7-1,2), hareketli bir elek üzerine sevk edilmesi ve suyunun uzaklaştırılarak, elek üzerinde hamur bileşenlerinin tutundurulması prensibine dayanmaktadır (Smook, 1992). Hamur kasasında (headbox), mal sarıcı/bobin (reel) kısmına kadar basitçe bir fourdriner makinesinin kısımları aşağıda Şekil 10'da gösterilmektedir.

Kâğıt makinesi Wet-End ve Dry-End (ıslak uç ve kuru uç) diye uçtan uca temel 2 kısma ayrılmıştır. Wet end denen ıslak parti kısmı, balyaların açıldığı, pulperlardan başlayıp, temizleme, eleme, dövme, seyreltme, hamur kasası, makine bütesi ve nihayet ıslak preslere kadar olan kısım olarak tanımlanır. Dry end denen kuru parti kısmı ise genel olarak ıslak preslerden bobin sarıcıya kadar olan nispeten ürünün katı madde miktarının giderek yükseldiği aşamaları içine alır. Kâğıt üretiminde makine bütesinde seyreltik hamur süspansiyonunda yaklaşık %1 olan katı madde miktarı üretim sonunda kâğıt bobininde %95 seviyelerine çıkarılarak kâğıt üretilmektedir. Başlangıçta seyreltik hamur süspansiyonunda %99 olan su miktarı, özellikle formasyon eleğinin ilk aşmalarında yerçekimi ve vakum etkisiyle yüksek miktarda uzaklaştırılır ve sonsuz elekten ıslak preslere geçen ıslak safihadaki katı madde/nem oranı %50/50 seviyelerine kadar çıkar (Smook, 1992; NCAS Inc, 2003; Karademir, 2023).



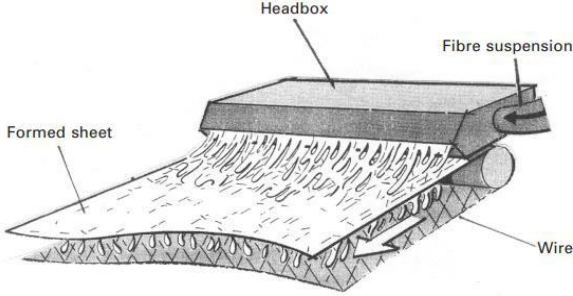
Şekil 10: Tipik bir fourdriner sonsuz elekli kâğıt makinası formasyon ve kuru uç kısmı (Mercangöz & Doyle, 2006).

Figure 10: Formation and dry end section of a typical fourdriner endless wire paper machine (Mercangöz & Doyle, 2006).

Fourdriner makinesi sonsuz elek üzerindeki formasyon tablasına makine bütenden katı madde miktarı çok düşük, neredeyse tamamen sudan oluşan bir kütle hızla verilir (Şekil 11). Bu seyreltik hamur

süspansiyonun hızı ile elek hızı birbirlerine çok yakın veya elek hızı biraz daha fazla olabilir. Sadece suyu geçirmesi, selüloz elyafları başta olmak üzere, dolgular ve katkı maddeleri gibi tüm hamur

bileşenlerini üzerinde tutması için özel tasarlanmış elekler üzerinde başlangıçta bir su filmi oluşur ki buna “su aynası” denmektedir (Şekil 12). Su aynası, suyun drenajı (süzülmesi) ve elek üzerinde tutunan katı madde oranının artması, diğer bir ifade ile ıslak kâğıt safihasının oluşumu ile kaybolur.



Şekil 11: Fourdrinier makinede elek üstünde süspansiyon ve filtrasyon süreci (Riley, 2012).

Figure 11: Suspension and filtration process on the wire in the Fourdrinier machine (Riley, 2012).



Şekil 12: Fourdrinier kâğıt makinesinde sonsuz elekte formasyon kısmı ve su aynası (XWP Machine, 2023)

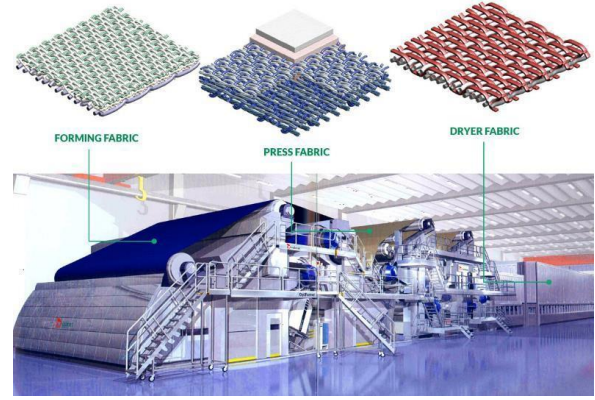
Figure 12: Formation part and dry line in the endless wire in the Fourdrinier paper machine (XWP Machinery, 2023).

Formasyon eleğinde suyun hızla süzülmesi, maksimum katı maddenin elek üzerinde kalması ve formasyonun homojen gerçekleşmesi istenir. Formasyon eleğinde suyun uzaklaştırılması başlangıçta doğal olarak yerçekimi ile gerçekleşir. Elek altında eleği taşıyan ve su süzülmesini hızlandıracak şekilde tasarlanmış özel çıtalar (shoes) bulunur. Ayrıca elek altında vakum kasası ve üzerinde de vakumlu döner silindir bulunabilir. Sonsuz elekte suyun hızla uzaklaştırılabilmesi tüm makinenin aslında hızını belirleyen en temel kriterdir denilebilir.

2.1. Elekler, hamur hareketi ve formasyon

Kâğıt makinesinin en önemli sarf malzemeleri başında “machine fabrics, clothing, dressing” şeklinde ifade edilmekte olan formasyon, ıslak pres elekleri, kurutma keçeleri ve kağıtları taşımada destek

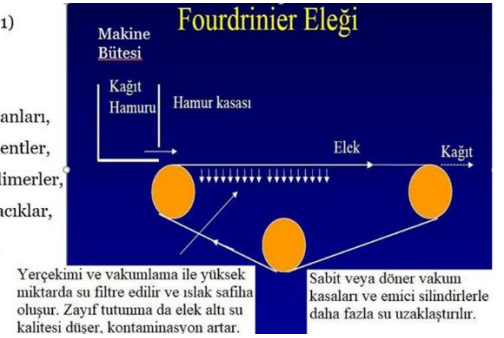
olan teknik tekstiller gelmektedir (Şekil 13, 14). Bu elekler ve keçeler, hızlı su ve buhar uzaklaştırma özellikleri olan, yüksek basınç, gerilim, sürtünme ve sıcaklıklara dayanıklı özel malzemelerden üretilmekte olup, makinenin çalışma performansı ve ürünün kalitesi üzerinde yüksek etkiye sahiptirler.



Şekil 13: Kâğıt makinesinde bazı elek ve keçeler (Valmet, 2023).

Figure 13: Some wires and felts in the paper machine (Valmet, 2023).

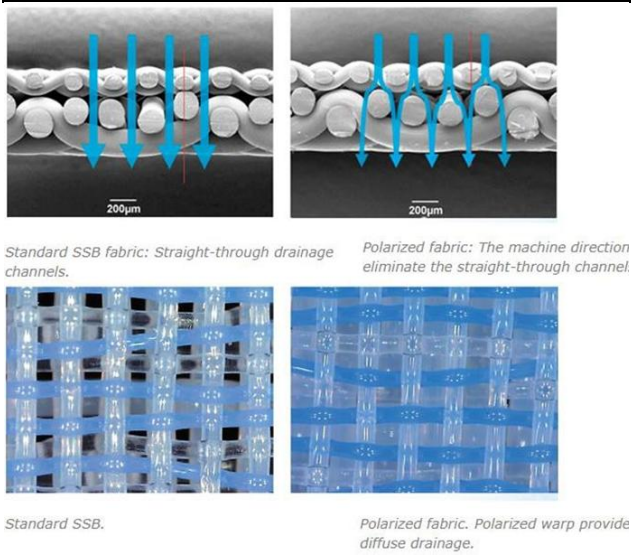
- Lifler (% 0,2-1)
- Kırıntılar,
- Mineraller,
- Yüzey aktif ajanları,
- Boya ve pigmentler,
- Çözülmüş polimerler,
- Dağıtıcı parçacıklar,
- İnorganikler,



Şekil 14: Normal ve yeni geliştirilmiş olan bir kâğıt formasyon elek yapısı (Valmet, 2023).

Figure 14: A normal and newly developed paper formation wire structure (Valmet, 2023).

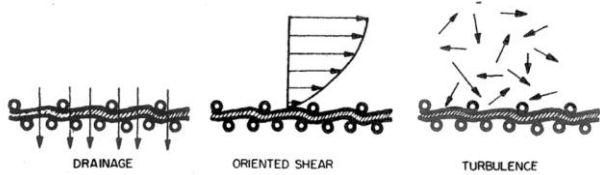
Formasyon eleklerinin çok ağır bir kütleyi taşıması ve yüksek miktarda suyu filtre etmesi beklenir. Formasyon tablasının (platformun) son derece düzgün terazide olması, su filmi çok düzgün bir kesit olarak üzerinde taşıması, dengeli ve hızlı şekilde suyun elek altına geçmesini sağlaması beklenir. Şekil 15’te tipik bir fourdrinier sonsuz elek kısmı ve hamurda olabilecek katı bileşenler gösterilmiştir. Özellikle atık kâğıt hamurlarında selüloz elyafı çok daha fazla tahrip olmuştur, kısa elyaf ve kırıntı oranı yüksektir. Aynı zamanda önceki üretimlerden kalan çok fazla bileşen kirlilik boyutunda mevcuttur. Bu hamur bileşenlerinin makine hızını düşürmeden ve üretilcek kâğıt özelliklerini olumsuz etkilemeden yüksek oranda elek üzerinde tutunması istenir ki bu mekanizma “tutunma” (retansiyon) olarak bilinir.



Şekil 15: Kâğıt makinesinde formasyon kısmı ve hamur bileşenleri (Karademir, 2023).

Figure 15: Formation part and pulp components in the paper machine (Karademir, 2023).

Formasyon eleği üzerine verilen seyreltik hamur süspansiyonu temelde 3 tip akış hareketini takip edebilir, bunlar dikey olarak süzülme, yatay olarak yönelmiş akım ve türbülans akış şeklinde ifade edilebilir (Şekil 16). Elyaf, dolgu maddeleri ve katkı kimyasallarının boyutları dikkate alındığında formasyon eleği üzerinde hamur bileşenlerini yüksek oranda tutabilmek oldukça zor bir iştir. Elyafın yönelmesinin makine ve enine yönde orantılı dağılması ve dolguların daha homojen kâğıt matrisi içinde yerleşebilmesi için formasyon eleğine ayrıca kontrollü derecede titreşim de verilmektedir.



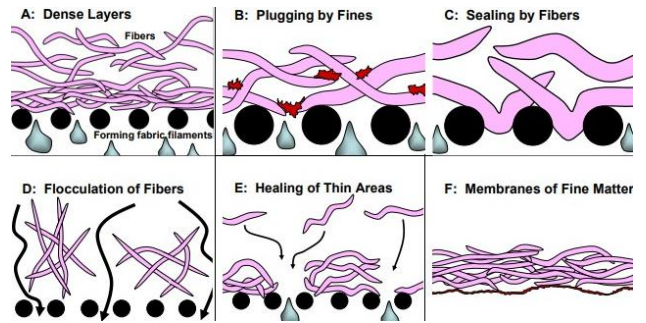
Şekil 16: Elek üzerindeki süspansiyon akım tipleri (Adanur, 1997).

Figure 16: Types of suspension current on the wire (Adanur, 1997).

Fourdriner eleğine normalde ilk etapta temas eden küçük elyaf parçacıkları ve dolgular elek gözeneklerinden geçerek kaybedilir. Elek üzerinde ilk katmanı, fiziksel olarak elek deliklerinden geçemeyen büyük elyaf ile flokülasyon ve/veya koagülasyon yapmış parçacıklar oluştururlar. Elek üzerinde ilk ince kâğıt katmanı oluşumu ile eleğin geçirgenliği azalır ve daha fazla katı bileşimin tutunması gerçekleşir. Kısaca elek üzerine tutunan her katı bileşen eleğin geçirgenliğini düşürür ve suyun süzülmesi zorlaşır. Bu nedenle elek üzerinde ıslak kâğıt safihası oluştuktan sonra suyun yerçekimi

ile uzaklaşması zorlaşır, aksine vakum uygulamak ve/veya elek üzerinden basınçlı ve vakumlu delikli silindirlerle suyun daha fazla alınması gerekir. Şekil 17’de formasyon eleği üzerinde olabilecek hamur hareketleri ve kombinasyonları gösterilmiştir (Hubbe vd., 2020; Karademir, 2023).

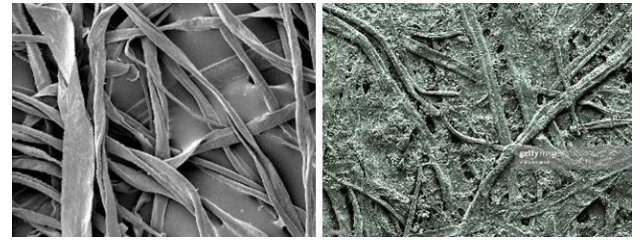
Fourdriner eleğinde hamurun süzülmesine bağlı olarak genelde üretilen kâğıtlarda “çift yüzölçüm” oluşur. Kâğıtlarda elek yüzü ve üst veya silindir yüzü özellikle yüzey düzgünlüğü açısından farklılık göstermektedir. Elek yüzü daha kaba ve pürüzlü iken, üst/silindir yüzü daha düzgün olmaktadır. Bu durum yüzeylerde bulunan uzun/kısa elyaf harmanı, dolgu, kırıntı ve kimyasal miktarlarının farklılıklarından oluşmaktadır.



Şekil 17: Kâğıt üretiminde filtrasyonu zorlaştıran temel bazı durumlar (Hubbe vd., 2020).

Figure 17: Some basic situations that make filtration difficult in paper production (Hubbe et al., 2020).

Elekler üzerinde hamur bileşenlerinin rastgele birbirleri üzerine yerleşmesi, sonra preslenmesi ve kurutulması ile esnek ve ince bir malzeme elde edilir. İçerisinde dolgu olan ve olmayan iki adet kâğıda ait elektron mikroskop görüntüleri Şekil 18’de paylaşılmıştır. Üretilen kâğıtların yüzeylerine yüzey yapıştırma, kuşeleme ve kalenderleme gibi bazı ileri işlemler yapılarak özellikleri değiştirilebilir.



Şekil 18: Dolgusuz ve dolgulu kâğıtların elektron mikroskopta yüzeyleri (Hubbe vd., 2020).

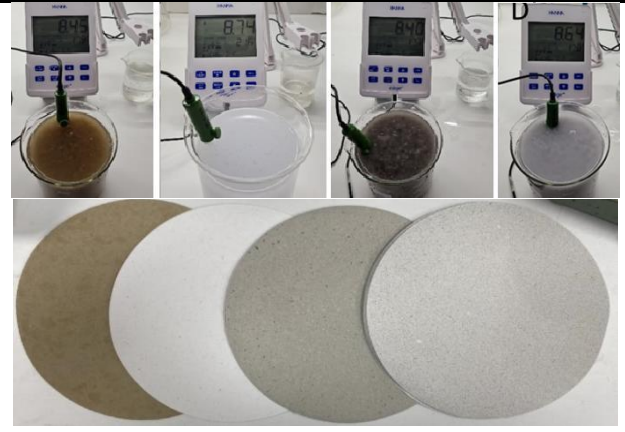
Figure 18: Surfaces of unfilled and filled papers under electron microscope (Hubbe et al., 2020).

2.1.1. Elekte tutunma

Hamur süspansiyonundaki suyun çok büyük bir kısmı, hamur, göğüs silindirine temas eder etmez yerçekimi ve drenaj levhalarının (süzülme levhaları) etkisi ile uzaklaştırılır. Bu süreçte hamurdaki ufak kırıntıların, dolgu maddelerinin ve kimyasalların

oluşacak kâğıt taslağı içinde tutulması son derece zor olacaktır. Hamurdaki tüm bileşenlerin elek üzerinde kalmasına tutunma denmektedir. Elekte tam bir tutunma olması (%100) mümkün olmayıp, hamur, elek ve makine özelliklerine bağlı olarak tutunma değeri %70-90 arasında değişebilir (Gess, 1998; Theo, 2005; Anna, 2007).

Ülkemizde atık kağıtlar çok büyük oranda ambalaj sınıfı kağıtların üretiminde değerlendirilmektedir. Şekil 19'da sırasıyla oluklu, ofis, gazete ve kuşe atık kağıtlarından hazırlanan hamurlar ve üretilen laboratuvar tipi test kağıtları görülmektedir. İşletme ortamında ambalaj kâğıdı üretilirken hazırlanan kâğıt hamur harmanında Şekil 19'da görülen atık kağıtlardan belli oranlarda bulunmakta olup, ayrıca farklı katkı kimyasalları da hamura eklenmektedir. Dolayısıyla atık kağıtlardan ambalaj sınıfı kâğıt üreten (mürekkep giderme olmadan) fabrikalarda elek üzerindeki hamur bileşenleri son derece zengin olup, hamur tutunması için ayrıca tek veya çift bileşenli tutundurucu kimyasallar kullanmak gerekmektedir.



Şekil 19: Atık kağıt hamurları ve ilgili laboratuvar test kağıtları (soldan sağa sırasıyla; oluklu, ofis, gazete ve kuşe atık kağıtları) (Usta, 2023).

Figure 19: Waste paper pulps and related laboratory test papers (from left to right; corrugated, office, newspaper and coated waste papers) (Usta, 2023).

Kâğıt hamurunda bulunan dolgu maddelerinin tutunması zor olduğu gibi, tutunduğu zamanda da kağıtlarda özellikle mukavemetleri olumsuz etkilediği bilinmektedir (Tablo 2). Konu hakkında çok sayıda çalışmalar yapılmış ve bazı gelişmeler kaydedilmiştir (Gess, 1998; Karademir vd., 2003; Theo, 2005; Anna, 2007; Hubbe & Gill, 2016).

Retansiyon ve drenaj kavramları kâğıt üretiminde önemli iki parametredir. Aralarında iyi bir denge kurulması, fabrika hızını düşürmeden, kaliteli kâğıt üretimini gerçekleştirmek şarttır. Elek üzerinde fiziksel/mekanik ve kimyasal olmak üzere iki çeşit tutunma sistemi vardır. Tutunmaya bağlı temel formüller aşağıda gösterilmiştir (Denklem 1, 2, 3 ve 4) (Varlıbaş, 2010).

Tablo 2: Dolgu maddesi kullanımına bağlı bazı problemler (Hubbe & Gill, 2016).

Table 2: Some problems related to the use of fillers (Hubbe & Gill, 2016).

Dolgu Maddesinden Kaynaklanan Sorunlar	Sorunun Azaltılması İçin Öneriler	Kaynaklar
Mukavemet azalması, bağ kopmalarının daha sık görülmesi	Daha büyük parçacık boyutları, katyonik nişasta, artan hamur rafinasyonu	Bown, 1985
Kağıdın görünür yoğunluğunun artması	Hacimli dolgu maddelerinin kullanımı, elyaf optimizasyonu	Moberg, 1985
Düşük ilk geçiş tutunması, kağıtta iki yüzölçüm	Etkili tutunma yardımcıların kullanımı	Tanaka vd., 1982
Şekillendirici keçelerin, kesici bıçakların, kalıp kesicilerin aşınması	Kuvars safsızlıklarının önlenmesi, ince parçacık boyutu	Laufmann & Rapp 1995
Tozlanma, baskı preslerinde kontaminasyon, fotokopi makineleri	Yüzey uygulamalı nişasta	Fineman & Hoc 1978
Yapıştırma (tutkallama) ajanlarına artan ihtiyaç gibi	Kimyasal katılımın artımı, dolgu maddesi içeriğinin azaltılması, daha büyük parçacık boyutları	Krogerus, 1999; Chabot vd., 2004

$$Retansiyon [R] = \frac{CHamur\ Kasası - CElek\ Altı\ Suyu}{CHamur\ Kasası} \times 10 \quad (1)$$

$$Retansiyon [R] = \frac{CHamur\ Kasası - CElek\ Altı\ Suyu}{CHamur\ Kasası} \times 100 \quad (2)$$

$$C = Hamur\ Konsantrasyonu [g/l] \quad (3)$$

$$Q = \frac{Kuru\ Hamur}{Zaman} [kg/dk] \quad (4)$$

Hamur içerisindeki büyük parçacıklar elek gözeneklerinden geçemeyip, elek üzerinde kalır ki buna fiziksel tutunma denir. Ancak dolgu maddelerinin, kırıntıların ve küçük bileşenlerin ya kendi aralarında kümelenmeleri, ya da büyük elyaf ve parçacıklara tutunmaları gerekir ki buna kimyasal

tutunma denmektedir. Kâğıt hamurunda elyaflar genel itibariyle negatif yüklüdürler. Kimyasal tutunma mekanizması temelde hamur bileşenlerinin elektrik yüklerine göre planlanarak negatif, pozitif veya nötr kimyasallar kullanarak çalıştırılır. Genel itibari ile hamur süspansiyonuna katılan kimyasal tutundurucuların çoğu katyoniktir (Gess, 1998). Küçük parçacıkların birbirlerine tutunması ve gruplar oluşturmaya flokülasyon denmektedir (Karademir, 2023).

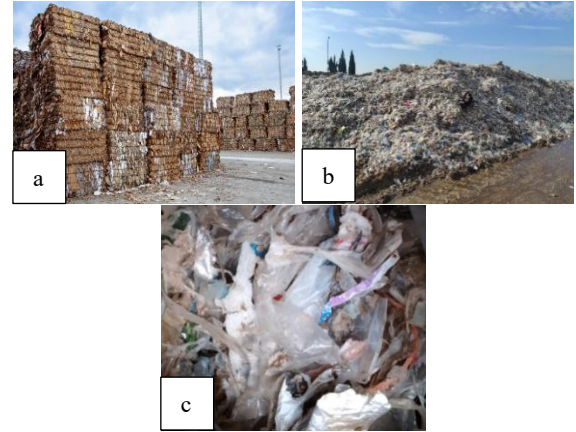
Küçük dolgu ve kırıntıların, hamurdaki uzun elyaflar etrafında tutunmasına ise koagülasyon denmektedir (Varlıbaş, 2010). Kısa veya uzun katyonik veya negatif yüklü polimerler kullanılması oluşacak kümelenmelerin boyutlarını değiştirdiği gibi, drenajı ve üretilen kâğıdın eperi (formasyonunu) de etkilenir. Optimum büyüklükte elyaf kümelenmeleri, üretilen kâğıdın yüzey düzgünlüğünü etkiler, aynı zamanda kâğıdın mukavemetlerine de ciddi etki yapar. Çok iri kümeler, pürüzlü ve engebeli bir kâğıt yüzeyi, bulutlu bir eper, düşük çekme ve patlama indisi değerleri verecektir. Dolayısıyla hamur bileşenlerinin sadece elek üzerinde yüksek tutunması yeterli olmayıp, kâğıdın formasyon kalitesi ve mukavemetlerinin de yüksek olmasına dikkat etmek gerekmektedir.

3. Kâğıt Fabrikasında Atıklar

Atıklar genellikle kaynakta ayıklama, çöp kutularında ya da çöp sahalarında ayıklama ve lisanslı toplama-ayırma tesislerinde ayıklama yöntemleri ile toplanmaktadır (Gümüşkaya, 2018). Atık yönetiminde karşılaşılan sorunlar arasında kentlerde aşırı yoğunlaşan nüfus sorunu ve kentleşmelerin plansız olması, atıkların depolanması ile ilgili yer sorunlarının olması ve bu yerlerin sayılarının az olması, atıkların salınımı ile ilgili cezai işlemlerin yetersiz kalışı, zamanla birlikte değişen tüketim alışkanlıkları bulunmaktadır. Ayrıca toplumsal çevre bilincinin yetersiz olmasından ötürü ülkemizde ne yazık ki atık kâğıtların çok büyük bir oranı çöpe düştükten sonra vahşi toplama da denilen sistemle kazanılmakta, balyalanmakta ve kâğıt fabrikalarına sevk edilmektedir. O nedenle kâğıtlarda çöpten gelen çok farklı kontaminasyonlar olabileceği gibi, kâğıt dışı çok çeşitli ve yüksek oranda kirlilikler de bulunmaktadır (İmamoğlu vd., 2005). Bunların içerisinde en büyük kısmı plastikler oluşturmaktadır (Şekil 20). Ayrıca metal, taş, kum ve muhtelif kirliliklerde yaygın olarak görülmektedir. Günlük yaklaşık 800 ton atık kâğıt işleyen Varaka Kâğıt Sanayi A.Ş.'de ortalama 100 ton civarı plastik, cam, metal, taş ve benzer kirliliklerden oluşan atıklar açığa çıkmaktadır. Bu materyaller, kâğıt balyalarının

pulperda açılması, elenmesi, temizlenmesi sürecinde ayrıştırılan atıklardır. Devletin uygulanabilir ve verimli bir atık yönetimi için uygulanması gereken adımları; yetkili/sorumlu belirlemek, atığın tanımlanması, atığın kaynağında ayrı toplanması, personel için çevre eğitimi, geçici atık depolama sahası kurulması, atıklara ön işlem uygulanması, atıkların bertaraf/geri kazanıma gönderilmesi ve kayıtların tutulması gibi sıralamak mümkündür (Gümüşkaya, 2018). Bu maddelere ek olarak sosyal duyarlılığın iyileştirilerek toplumun bilinçlenmesine, kâğıtların son kullanıcıdan doğrudan toplanmasına, çok daha etkin çalışan ayrıştırma tesislerinin sayısının artması ile sadece atık kâğıtlar değil, ülkemizde açığa çıkan çoğu atığın çok daha temiz, kaliteli toplanmasına ve ekonomiye kazandırılmasına yönelik çalışmalar arttırılmalıdır.

Ayrıca atıkların miktarını azaltmak, çıkan atıkları inovatif ürünlere dönüştürmek, çevresel ve karlı olarak döngüsel ekonomiye sürdürülebilir olarak kazandırmak, düşük karbon ve su ayak izi hedeflerine ulaşmak için tüm işletmelerin üzerinde yoğun çalıştıkları konuların başında gelmektedir.



Şekil 20: Atık kâğıt balyaları ve açığa çıkan plastik atıklar (a: atık kâğıt balyaları, b: plastik çöp yığını, c: plastik atık karışımı) (Varaka Kâğıt San. A.Ş., 2024).

Figure 20: Waste bag bales and resulting plastic waste (a: waste paper bales, b: accumulation of plastic refuse, c: plastic waste mixture) (Varaka Paper Industry Inc., 2024).

Kaba, ince ve ultra eleklerden geçirilen, kısa ve uzun elyaf olarak ayrıştırılan ve ayrı depolarda toplanan ikincil elyaflar belli oranlarda (%60/40 gibi) karıştırılarak kâğıt hamuru oluşturulur ve makineye sevk edilerek kâğıt üretimi yapılır. Atık kâğıtlardan elde edilen kâğıt hamurlarına üretimin amacına göre birincil elyaflar, dolgular ve bazı fonksiyonel bileşenlerde katılabilir. Hazırlanan kâğıt hamuru süspansiyonu (stock) formasyon eleğine verildiğinde doğal olarak hızla süzülen su ile beraber küçük ebatlardaki hamur bileşenleri kaybedilir ve elek altı suya geçerek kirlilik kaynağına dönüşür (Karademir,

2002; Varlıbaş, 2010; Karademir vd., 2013). Kâğıt üretiminde hamur bileşeninden kayıp vermeden maksimum tutunma hedeflenirken, aynı zamanda hızlı filtrasyonda istenir. Zira suyun hızlı uzaklaştırılması, yani süzülme, makine hızını belirlemede önemli bir parametredir. Ancak elek altı suyuna geçen katı bileşenler de çoğunluğu selüloz elyafları, kırıntılar ve belli oranda dolgulardan oluşan bir atık olarak açığa çıkar. Varaka Kâğıt Sanayi A.Ş.'de elek altı elyaf çamuru %60 nem de günlük yaklaşık 50 ton, atık su arıtma tesisinden ise %80 nemde yaklaşık 25 ton arıtma çamuru açığa çıkmaktadır (Şekil 21).

14 Mart 2005 tarihli ve 25755 sayılı resmi gazetede yayınlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre atık yönetimi; atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri ifade eder (TAK Yönetmeliği, 2005). Günümüzde artan nüfus ile birlikte açığa çıkan atık miktarının da artması, sanayileşme ve doğal kaynakların azalması atık yönetimini daha da önemli bir hale getirmiştir (Ağaçsapan, 2016).



Şekil 21: Elek altı elyaf ve arıtma çamuru atıkları (Varaka Kâğıt San. A.Ş., 2024).

Figure 21: Under-screen fiber and treatment sludge waste (Varaka Paper Industry Inc., 2024).

4. Sonuç

Hammadde sıkıntısını ciddi şekilde yaşayan kâğıt sanayinde atıkların azaltılması, özellikle elyaf içerikli atıkların en etkin şekilde değerlendirilmesi son derece önemlidir. Kâğıt formasyonunda elek altına kaybedilen hamur bileşenleri, sadece hammadde kaybına değil, aynı zamanda makine kirlenmesine, eleklerin/makinenin hızlı aşınmasına, deposit oluşumuna ve atık su arıtma yükünün artmasına neden olur. O nedenle kâğıt formasyonunda tutunmanın maksimum olması için mevcut teknikleri ve ilgili kimyasalları kontrollü şekilde kullanmak gerekir. Giderek elyaf kalitesi kötüleşen atık kâğıt hamurlarından kâğıt üretilmesinde tutunmayı iyileştirmenin daha da zorlaşacağı öngörülmektedir. Atık kâğıt fabrikasında kaçınılmaz olarak oluşan

üretim atıklarının özelliklerine göre en uygun tekniklerle değerlendirilmesi, hatta bunun bölgede oluşan benzer atıkları değerlendirecek şekilde planlanması ve bölgesel bir çözüm merkezi şeklinde kurgulanması çok daha uygun olacaktır. Elbette, plastikler başta olmak üzere atıkları özelliklerine göre inovatif yöntemlerle değerlendirmek için gelişmiş ülkelerdeki modellerin detaylı çalışılması ve iyi planlama yapılması önemlidir.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Bu çalışma Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası tarafından desteklenmiştir.

Teşekkür: Çalışma süresince verdikleri katkılardan dolayı Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası'na teşekkürlerimizi sunarız.

Yazarların Katkıları: Konsept: A.K.; Tasarım: A.K., H.V.B., L.Ç.; Danışmanlık: A.K.; Kaynaklar: H.V.B., L.Ç.; Veri Toplama: H.V.B., L.Ç.; Analiz: H.V.B.; Literatür Taraması: H.V.B., L.Ç.; Makale Yazımı: A.K., H.V.B., L.Ç.; Eleştirel İnceleme: A.K.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- Adanur, S. (1997). Paper machine clothing. Technomic Publishing Company Inc.
- Ağaçsapan, B. (2016). Katı atık yönetiminde coğrafi bilgi sistemleri: eskişehir ili atık aktarma istasyonları için yer seçimi örnekleme [Yüksek lisans tezi]. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Anna, S. (2007). Valuation of retention/formation relationships using a laboratory pilot paper machine [Graduate thesis]. Royal Institute of Technology Department of Fibre and Polymer Technology, Stockholm.
- Bown, R. (1985). Review of methods for increasing filler loadings. Paper Technol. Ind., 26(6), 289–292.
- Brückle, I. (2009). Bleaching in paper production versus conservation. Restaurator, 30(4), 280–293.
- Chabot, B., Daneault, C., Fournier, F., Morneau, D., & Arial, M. (2004). A methodology to determine

- retention and drainage in laboratory. Paperi Puu, 86(6), 445–449.
- CNBM Int. (2023, Feb 3). Brief analysis of waste paper pulp processing. <http://www.paperpulpmachine.com/analyze-waste-paper-pulp-processing/>
- Danielewicz, D. (2024). Effects of pre-treatment with commercial cellulase and hemicellulase and laboratory beating of unbleached pine kraft pulp on freeness, paper strength, and fiber quality. BioResources, 19(4), 7737–7751.
- Dong, C., Song, D., Patterson, T., Ragauskas, A., & Deng, Y. (2008). Energy saving in papermaking through filler addition. Industrial & Engineering Chemistry Research, 47(21), 8430–8435.
- Engin, M., & Atik, C. (2018). The impact of zeolite filler on ageing and mechanical failure of paper. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 33(3), 512–521.
- Eroğlu, H., & Usta, M. (2004). Kağıt ve karton üretim teknolojisi (1. Cilt). Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Fineman, I., & Hoc, M. (1978). Surface properties, especially linting, of surface-sized fine papers. Tappi, 61(5), 43–46.
- Gess, J. (1998). The chemistry and mechanics of fine particle retention. TAPPI Press.
- Gümüşkaya, T. (2018). Atık geri dönüşümünde üretim maliyetlerinin incelenmesi: bir kâğıt üretim tesisinde uygulama [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Hubbe, M. A., & Gill, R. A. (2016). Fillers for papermaking: a review of their properties, usage practices and their mechanistic role. BioResource, 11(1), 886–2963.
- Hubbe, M. A. (2014). Prospects for maintaining strength of paper and paperboard products while using less forest resources: a review. BioResources, 9(1), 634–1763.
- Hubbe, M. A., Sjöstrand, B., Nilssonb, L., Koponen, A., & McDonalds, J. D. (2020). Rate-limiting mechanisms of water removal during the formation, vacuum dewatering and wet-pressing of paper webs: a review. BioResource, 15(4), 9672–9755.
- I'Anson, S., Karademir, A., & Sampson, W. (2006). Specific Contact Area and the Tensile Strength of Paper. Appita: Technology, Innovation, Manufacturing, Environment, 59(4), 297–301.
- İmamoğlu, S., Atik, C., & Karademir, A. (2005). Atık kağıt kullanan kağıt-karton fabrikalarında ortaya çıkan mikrobiyolojik sorunlar. Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 6(1-2), 179–190.
- Jinagool, W. 2016. Genetic variability of drought tolerance of trees of agronomic interest : the role of vulnerability to xylem cavitation [Doktora tezi]. Université Blaise Pascal, Agricultural sciences, France.
- Karademir, A., Varlıbaş, H., & Çiçekler, M. (2013). Kağıt üretiminde CaCO₃ dolgu maddesinin kimyasal tutunması üzerine bir araştırma. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 14, 48–52.
- Karademir, A. (2002). Quantitative determination of alkyl ketene dimer (AKD) retention in paper made on a pilot paper machine. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 26(5), 253–260.
- Karademir, A. (2023). Kağıt fabrikası ıslak parti operasyonları: YL ders notları. Bursa Teknik Üniversitesi. Bursa.
- Karademir, A., Chew, Y. S., Hoyland, R. W., & Xiao, H. (2005). Influence of fillers on sizing efficiency and hydrolysis of alkyl ketene dimer. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 83(3), 603–606.
- Karademir, A., Tutuş, A., & Mengenoglu, F. (2003, Sep 3–6). AKD absorption properties of kaolen, CaCO₃, and TiO₂ [Symposium presentation]. XI National Clay Symposium, İzmir, Türkiye.
- Krogerus, B. (1999). Modified starch pigments as paper additives. Proc. Minerals in Papermaking – Sci. Technol. Adv. in Fillers, 14.
- Laufmann, M., & Rapp, H. U. (1995). Wire abrasion and its potential causes: Proc. TAPPI 1995 Dyes, Fillers, and Pigments Short Course Notes, TAPPI Press.
- Mercangöz, M. & Doyle, F. J. (2006). Characterizing the process from the digester to the paper machine, IEEE Control System Magazine, 30–39.
- Moberg, K. (1985). Highly-filled papers: obstacles and approaches. TAPPI Press.

NCAS Inc. (2003). Pulp mill process closure: a review of global technology developments and mill experiences in the 1990s. (Technical Bulletin No. 860), Research Triangle Park, National Council for Air and Stream Improvements Inc.

Riley, A. (2012). Paper and board packaging. Woodhead Publishing.

Smook, A. G. (1992). Wet-end operations. Angus Wilde Publication.

Tanaka, H., Luner, P., & Côté, W. (1982). How retention aids change the distribution of filler in paper. Tappi, 65(4), 95–99.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü (TAK) Yönetmeliği. (2005). 1. Bölüm: Tanımlar (Sayı 25755).

Theo, G. M. (2005, Sep 11–16). Filler and fines retention in papermaking [Symposium presentation]. 13th Fundamental Research Symposium, Chambridge, UK.

Tutuş, A., & Eroğlu, H. (2003). A practical solution to silica problem in straw pulping. APPITA Journal, 56(2), 111–115.

Usta, U. C. (2023). Farklı atık kağıtlar üzerinde bazı fonksiyonel kimyasal denemeleri [Yüksek lisans tezi] Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

Valmet, (2023, Feb 3). Papermachine clothing and filter fabrics for board and paper machines. <https://www.valmet.com/board-and-paper/services-for-board-and-paper/paper-machine-clothing-and-filter-fabrics/>

Varaka Kağıt San. A.Ş., (2024). Balıkesir Kağıt Fabrikası.

Varlıbaş, H. (2010). Lif modifikasyon işleminin retansiyon üzerine etkileri [Yüksek lisans tezi].

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Wypych, G. (1999). Handbook of fillers (2nd Edition). Plastic Design Laboratory.

XWP Machine. (2023, Feb 2). Paper board making machine.

<https://www.xwpapermachine.com/products/Paper-Board-Making-Machine.html>



Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun Fidanlığı

Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun Nursery

Erhan Kılıç^{1*} 

¹ İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Orman Genel Müdürlüğü, 34485 İstanbul, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 8/03/2025

Kabul Tarihi: 8/04/2025

Atıf:

Kılıç, E. (2025). Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun Fidanlığı. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 29-34.

*Sorumlu yazar: Erhan Kılıç

E-mail: erhankilic58@hotmail.com

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Orman / Forest

Ormancılık tarihi / Forestry history

Ağaçlandırma / Afforestation

Fidanlık / Nursery

Süs bitkisi / Ornamental plants

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Türkiye'nin ağaçlandırma tarihiyle ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Özellikle fidanlık tesisi, tohum ve fidan üretimi ile kent bitkilendirmeleri için süs bitkisi yetiştiriciliğinin tarihi araştırmacıların ilgisini yeterince çekmemiştir. Arşivler detaylıca incelendiğinde Türkiye'nin bu gibi teknik konularda da tecrübe ve bilgi birikimine sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, 1906 sonbaharında Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun fidanlığında satılan fidanların cinsi, türü, satış miktarı ve fidan fiyatları incelenmiştir. Osmanlı Devleti'nde Çiftlikat-ı Hümayun olarak tabir edilen saray ve padişahlara ait çiftliklerde geleneksel tarım ve hayvancılığın yanında ağaçlandırma ve fidanlık işleri de yapılmıştır. Özellikle ipek böcekçiliğinin geliştirilmesi için dut ağaçlandırmalarına önem verilmiştir. Çiftliklerde üretilen fidanların bir kısmı şehir içi ağaçlandırmalarda kullanılmıştır. Kadıköy Kurbağalıdere Çiftliğinde tesis edilen fidanlık ise süs bitkisi yetiştiriciliği ile öne çıkmıştır. Satış listesi incelendiğinde 6 çiçek ve 23 farklı fidan yetiştirilmiştir. Çiçek ve fidanlar saray çalışanları, civarda oturan konak sahipleri ve bu konaklara hizmet veren bahçıvanlar tarafından satın alınmıştır. Bu fidanlıkta satılan fidanlar aynı zamanda dönemin süs bitkisi kültürünü ve tecrübesini de yansıtmaktadır. Bu fidanlıkta satılan fidanlar aynı zamanda dönemin süs bitkisi kültürünü ve tecrübesini de yansıtmaktadır.

ABSTRACT

A limited number of studies have explored the history of afforestation in Türkiye. In particular, the history of nursery establishment, seed and seedling production, and ornamental plant cultivation for landscaping has not received significant attention from researchers. A detailed examination of archival records reveals that Türkiye has substantial experience and accumulated knowledge in these technical fields. For instance, in the Ottoman Empire, afforestation and nursery activities were carried out alongside traditional agriculture and animal husbandry on farms known as Çiftlikat-ı Hümayun, which belonged to the palace and sultans. Special emphasis was placed on mulberry tree afforestation to promote sericulture. Some of the seedlings produced on these farms were used for urban afforestation. One notable example is the nursery established at Kadıköy Kurbağalıdere Farm, which specialized in ornamental plant cultivation. An analysis of its sales records reveals that 6 types of flowers and 23 different types of seedlings were cultivated. These flowers and seedlings were purchased by palace employees, mansion owners in the vicinity, and gardeners serving these mansions. This study aims to examine the species, types, sales volume, and prices of the seedlings sold at the Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun nursery in the autumn of 1906 from a forestry techniques perspective. By doing so, it seeks to contribute to the historical understanding of afforestation and nursery activities in Türkiye. The saplings sold in this nursery also reflect the ornamental plant culture and experience of the period.

1. Giriş

Osmanlı Devleti'nde çayır, yaylak ve bir kısım ormanlık alanlar padişah ve saray mensuplarına mülk olarak verilmiştir (İstanbullu, 1978). Bu gibi yerlerin yönetimi ise İstabl-i Amire (Saray ahırları idaresi) tarafından yürütülmüştür (Toygar, 1964). Tanzimat sonrasında padişahlar, hanedan üyeleri ve bir kısım girişimciler tarımsal faaliyetlere ilgi duymuştur. Böylece bu gibi yerlerde tarımsal faaliyetler yapılmaya başlanmıştır. Sultan II. Abdülhamid'in tahta çıkışından sonra saray mensuplarına ait yerler Hazine-i Hassa Nezaretinin idaresine alınmıştır. Ardından nezaret bünyesinde Çiftlikat-ı Hümayun Müdürlüğü kurulmuştur. 1880 yılında bu müdürlüğün idare şekli ve vazifeleri belirlenmiştir. Ancak 23 Ocak 1881 tarihli padişah iradesiyle çiftliklerin işletimi tekrar Hazine-i Hassa'ya devredilmiştir (Haykıran, 2013).

Bununla birlikte tarımsal faaliyetlerin bilimsel yöntemlerle yapılması için Halkalı Ziraat Mektebi açılmıştır. Taşrada teknik ziraat yapılabilmesi için numune çiftlikleri açılmıştır. Gerekli fidan, gübre ve tohum gibi malzemeler için gümrük muafiyeti sağlanmıştır (Keskin, 2005). Bu kapsamda Avrupa'dan okaliptüs tohumları getirilmiş ve numune çiftliklerinde okaliptüs fidanı yetiştirilmesi için tezkire hazırlanmıştır (Kutluk, 1948). Ayrıca 1858 yılından beri faaliyette olan Orman Mektebi de ziraat mektebine dahil edilmiştir. Ardından Halkalı Ziraat Mektebi bünyesinde 1893 yılında 5 hektar büyüklüğünde orman fidanlığı kurulmuştur. Burada yetiştirilen fidanlarla mektep çevresinde ağaçlandırmalar yapılmıştır (Kılıç & Yılmaz, 2020; Nizamoğlu, 2023).

Aynı dönemde Çiftlikat-ı Hümayunlarda çeşitli cins ve türde fidanlar yetiştirilmiştir. Bunların bir kısmı kamusal alanda kullanılmıştır. Ayastefanos (Yeşilköy) Şimendifer İstasyonuna kadar yapılacak yolun ağaçlandırılması için Ayama Çiftlik-i Hümayunda fidan yetiştirilmiştir. Yolun tamamlanmasının ardından şosenin her iki tarafına 354 fidan dikilmiştir. Ayrıca çiftliğin münasip yerlerine Bursa'dan getirilen dut fidanları dikilmiştir (BOA.HH.THR. 226/43). Avrupa'dan sipariş edilen akasya tohumlarından Eskişehir Mihalıççık Çiftlik-i Hümayunda fidan yetiştirilmiştir (BOA.HH.THR. 225/49). İstanbul sokaklarına dikilen çınar, ıhlamur ve diğer yapraklıların sulaması ve bakımı için hazine tarafından ödenek ayrılmıştır (BOA.ML.EEM. 747/63).

Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun içerisine merkez fidanlığı kurulmuştur. Diğer çiftliklerdeki fidanlıklardan farklı olarak burada çiçeklerin yanı sıra meyveli-meyvesiz fidan ve süs bitkisi yetiştirilmiştir. Dikim büyüklüğüne gelenler muhtelif çiftliklere ve saray bahçelerine gönderilmiş veya piyasaya satılmıştır (BOA.ML.EEM. 611/16).

Türkiye'nin ağaçlandırma tarihi hakkında çalışmalar sınırlıdır. Aynı şekilde ağaçlandırma sahaları için fidan üretecek orman fidanlıklarının tarihi de fazla bilinmemektedir. Benzer şekilde park, bahçe, konak vb. yerlerin bitkilendirilmesi için süs bitkisi üreten fidanlıkların tarihi ile ilgili de bilgi açığı vardır. Bu çalışmanın amacı 1906 sonbaharında Kadıköy Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun fidanlığından satılan fidanların cinsini, türünü, satış miktarını ve fiyatını incelemek ve Türkiye'deki ağaçlandırma ve fidanlık çalışmalarının tarihine katkı sağlamaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma için T.C. Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığına bağlı Osmanlı Arşivinde konuyla ilgili belgeler taranmıştır. Nadir eserlerin bulunduğu İstanbul Üniversitesi Nadir Eserler Kütüphanesi ile Salt Galata Arşivi harita vb. belgeler incelenmiştir. Ayrıca konuyla ilgili güncel literatür çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma yöntemi olarak nitel araştırmaya bağlı doküman analizi kullanılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun

Kurbağalıdere Çiftlik-i Hümayun önceleri Kuru-yı Hümayun (Şekil 1) iken Sultan Abdülaziz ve Veliâhd Murad Efendi tarafından çeşitli tarihlerde satın alma yoluyla oluşturulmuştur. Çiftliğin kapladığı alan istimlak, toprak satın alma vb. sebeplerle sınırları zamanla değişikliğe uğramıştır (Hut, 2009). İlerleyen yıllarda Sultan II. Abdülhamid gelir getiren bağ, bahçe, tarla, çiftlik vb. araziler ile akarı olan mülklerin yanında madenlerin imtiyazını siyasi ve idari amaçları dikkate alarak emlak-ı hümayuna kaydettirmiştir (Terzi, 2000). Böylece Kurbağalıdere Çiftliği de hassa çiftliğine (Şekil 2) dönüştürülerek Emlak-ı Hümayun Dersaadet Üçüncü Şubesinin idaresine verilmiştir (Hut, 2009). Çiftlik içerisine fidanlığın ne zaman kurulduğu konusunda yeterli bilgi mevcut değildir. 1891 yılında ahır ambarlarının yıkılarak çıkan enkazın fidan bahçesinin duvarlarının tamir edilmesinde kullanılması istenmiştir (BOA.HH.İ. 81/62). Yetiştirilen fidanları bir kısmı

padişaha ait at haralarının ağaçlandırılmasında ve Suriye bölgesindeki emlak-ı hümayun çiftliklerine gönderilmiştir (BOA.ML.EEM. 298/75). Günümüzde çiftlik arazisi üzerinde Fikirtepe kentsel dönüşüm proje sahası, Marmara Üniversitesinin

Fikirtepe kampüsü ve Medeniyet Üniversitesi (Şekil 3) bulunmaktadır.



Şekil 1: Kurbağalıdere çiftliğinin bulunduğu yer 1845 tarihli haritada Kuru-ı Hümayun olarak geçmektedir (İ.Ü. Nadir Eserler Arşivi).
Figure 1: The location of the Kurbağalıdere farm is mentioned as Kuru-ı Hümayun on the map dated 1845 (İ.Ü. Nadir Eserler Arşivi).

3.2. 1906 sonbaharında satılan fidanlar

Osmanlı Arşivinde bulunan çiftlik defterine göre Kurbağalıdere fidanlığından 1906 sonbaharında 73 adet

çiçek ve 271 muhtelif fidan satılmıştır (Tablo 1). Fidanlığın muhasebe kayıtlarına göre bu satıştan 2.719,5 kuruş gelir elde edilmiştir. Tüm satışlarda tenzilat yapılmış, kuruş hesabı ile gümüş mecidiye farkı uygulanmıştır.

Tablo 1: Satış listesi (BOA. ML.EEM. 611/16).

Table 1: Sales liste (BOA. ML.EEM. 611/16).

Satılan Fidan-Çiçek	Alıcı ismi
7 adet papatya çiçeği ve 2 adet ıtır çiçeği	Moda'da ikamet eden Agop Efendi
10 adet papatya çiçeği, 1 adet taturya, 1 adet atlas çiçeği, 1 adet begonya çiçeği ve 1 adet limon fidanı	Erenköy'de ikamet eden Ali Bey
6 adet saksılı papatya çiçeği	Kadıköy'de ikamet eden Osman Efendi
2 adet birinci sınıf çam fidanı ve 3 adet mazı fidanı	Bahçıvan Nikola
1 adet ikinci sınıf gül fidanı	Hakkı Bey
3 adet ikinci sınıf çam fidanı	Yüzbaşı Arif Bey
2 adet ikinci sınıf çam fidanı ve 10 adet kurtbağrı fidanı	Padişahın Esvapçıbaşı İlyas Bey
2 adet birinci sınıf çam fidanı ve 1 adet papatya çiçeği	Kızıltoprak'da ikamet eden Arif Bey
8 adet akasya fidanı, 2 adet ikinci sınıf gül fidanı, 1 adet hurma fidanı, 1 adet kayısı fidanı, 1 adet ayva fidanı, 1 adet birinci sınıf gül fidanı ve 9 adet ikinci sınıf gül fidanı	Maltepe'de ikamet eden Memduh Bey
2 adet ikinci sınıf gül fidanı, 2 adet birinci sınıf çam fidanı ve 3 adet ikinci sınıf çam fidanı	Sadık Efendi
2 adet vişne fidanı, 2 adet kayısı fidanı, 2 adet ayva fidanı ve 2 adet çınar fidanı	Bahçıvan İstancu
2 adet ikinci sınıf çam fidanı, 1 adet kayısı fidanı, 2 adet ikinci sınıf gül fidanı, 1 adet hurma fidanı, 1 adet ayva fidanı ve 4 adet akasya fidanı	Moda'da ikamet eden Nikola
20 adet ikinci sınıf gül fidanı	Padişahın Esvapçıbaşı İlyas Bey
1 adet ikinci sınıf çam fidanı ve 2 adet ikinci sınıf gül fidanı	Bahçıvan Nikola
2 adet kiraz fidanı, 2 adet vişne fidanı, 1 adet kayısı fidanı, 2 adet dut fidanı, 1 adet ikinci sınıf gül fidanı ve 1 adet şeftali fidanı	Kuşdili'nde ikamet eden Ali Bey
4 adet sedir ² fidanı,	Kızıltoprak'da ikamet eden Hakkı Bey
30 adet kurtbağrı fidanı, 15 adet akasya fidanı, 8 adet batı çınarı ³ fidanı, 2 adet atkestanesi fidanı, 2 adet çınar fidanı ve 4 adet ayva fidanı	Bahçıvan Mihal
4 adet ayva fidanı ve 2 adet ikinci sınıf çam fidanı	Erenköy'de ikamet eden Agop
2 adet birinci sınıf çam fidanı, 3 adet erik fidanı 4 adet kiraz fidanı ve 2 adet şeftali fidanı	Miralay Mustafa Bey
1 adet şeftali fidanı, 2 adet armut fidanı, 1 adet ikinci sınıf gül fidanı ve 1 adet erik fidanı	Emlak-ı Hümayun Üçüncü Şube
2 adet kırmızı çiçekli atkestanesi ⁴ , 2 adet akasya fidanı, 4 adet vişne fidanı, 3 adet kiraz fidanı, 2 adet armut fidanı, 2 adet kayısı fidanı, 2 adet ayva fidanı ve 2 adet erik fidanı	Başkatibi Mehmed Hilmi Efendi
3 adet vişne fidanı ve 2 adet kiraz fidanı	Zühdi Paşazade Ahmed Zahid Bey
4 adet vişne fidanı ve 3 adet kiraz fidanı, 2 adet erik fidanı, 1 adet üvez fidanı ve 2 adet ayva fidanı	Kuşdili'nde ikamet eden Halil Efendi
2 adet vişne fidanı 2 adet kayısı fidan, 2 adet armut fidanı, 2 adet erik fidanı ve 2 adet elma fidanı	Kızıltoprak'da ikamet eden Bahçıvan
2 adet sedir fidanı, 6 adet göknar fidanı ⁵ , 3 adet mazı fidanı, 1 adet armut fidanı ve 2 adet vişne fidanı	Hüseyin Ağa
	Agop Efendi
	Acıbadem'de ikamet eden Sadi Paşa

1 adet ikinci sınıf gül fidanı ve 1 adet ayva fidanı	Kısıklı'da ikamet eden Hakkı Bey
2 adet ikinci sınıf çam fidanı, 4 adet kiraz fidanı, 2 adet armut fidanı, 1 adet vişne fidanı ve 1 adet limon fidanı	Kızıltoprak'da ikamet eden Salih Bey
4 adet birinci sınıf çam fidanı	Başkomiser Basri Bey
10 adet akasya fidanı	Bahriye Miralay Halil Paşa
2 adet kırmızı çiçekli atkestanesi fidanı ve 2 adet atkestanesi fidanı	Erenköy'de ikamet eden Raif Bey
2 adet ikinci sınıf sedir fidanı, 2 adet üçüncü sınıf sedir fidanı, 1 adet Himalaya sediri ⁶ fidanı ve 1 adet atkestanesi fidanı	Miralay Halid Bey
10 adet atkestanesi fidanı	Erenköylü Hakkı Bey
1 adet kayısı fidanı ve 1 adet şeftali fidanı	Haydarpaşa'da ikamet eden Sofu
4 adet akasya fidanı	Mehmed Ağa
1 adet ikinci sınıf gül fidanı	Bahçıvan Nikola
4 adet üvez fidanı	Kuşçu Mehmed Ağa
2 adet akasya fidanı	Şevket Paşa namına şube müdürü
1 adet kırmızı çiçekli atkestanesi ve 1 adet ikinci sınıf gül fidanı	Miralay Mehmed Bey
	Bahçıvan Nikola
	Erenköy'de ikamet eden Ali Bey

Belgenin aslında: ²sedrus çamı; ³frenk çınarı; ⁴kırmızı atkestanesi; ⁵abies çamı ve ⁶pencap çamı olarak yazılmıştır.

Satış defterindeki (Tablo 2) fidan satış fiyatları incelendiğinde 30 kuruş gibi yüksek fiyata satılan birinci sınıf olarak tabir edilen çam fidanları mevcuttur. Buna mukabil meyve ağaçlarının bedelleri çam fidanının altıdadır. Çam fidanların birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü sınıf gibi ayrıma tutulmasının kriteri defterde belirtilmemiştir. Yani bu sınıflama yaşa göre mi, boya göre mi veya çapa göre mi belli değildir. Çiçek fiyatlarının (Tablo 3) bir kısmı fidan bedeline yakın miktara satıldığı anlaşılmaktadır.

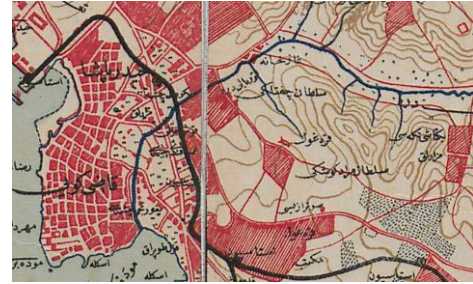
Tablo 2: Meyveli-meyvesiz fidan fiyatı (BOA. ML.EEM. 611/16).

Table 2: Fruiting and non-fruited sapling price (BOA. ML.EEM. 611/16).

Adı	Fiyatı (kuruş)
Himalaya sediri fidanı	30
Birinci sınıf çam fidanı	30
İkinci sınıf çam fidanı	25
İkinci sınıf sedir fidanı	25
Üçüncü sınıf çam fidanı	20
Üçüncü sınıf sedir fidanı	20
Göknaar fidanı	20
Hurma fidanı	20
Limon fidanı	20
Dördüncü sınıf çam fidanı	17,5
Kırmızı çiçekli atkestanesi fidanı	10
Kayısı fidanı	8
Mazı fidanı	6
Atkestanesi fidanı	5
Üvez fidanı	5
Doğu çınarı fidanı	5
Dut fidanı	5
Armut fidanı	5
Elma fidanı	5
Erik fidanı	5
Şeftali fidanı	5
Kiraz fidanı	5
Vişne fidanı	5
Akasya fidanı	4
Ayva fidanı	4
Kurtbağrı fidanı	2

Tablo 3: Çiçek fiyatı (BOA. ML.EEM. 611/16).
Table 3: Flower price (BOA. ML.EEM. 611/16).

Çiçek Adı	Fiyatı (kuruş)
Atlas çiçeği	12
Birinci sınıf gül fidanı	10
Tatarya çiçeği	8
Papatya çiçeği	5
İkinci sınıf gül fidanı	5
Begonya çiçeği	5
İtir çiçeği	2,5



Şekil 2: 1912 tarihli haritada Kurbagalıdere Çiftliği, Sultançiftliği olarak isimlendirilmiştir (Salt Galata Arşivi).

Figure 2: Kurbagalıdere Farm is named as Sultançiftliği on the map dated 1912 (Salt Galata Arşivi).



Şekil 3: Kurbagalıdere Çiftliği arazisinin günümüzdeki durumu (Google Earth).

Figure 3: Current status of the Kurbagalıdere Farm land (Google Earth).

4. Tartışma ve Sonuç

Kurbağalıdere Fidanlığının satış listesi incelendiğinde 6 çiçek ve 23 ağaç türüne ait fidanların bulunduğu görülmektedir. Ağaç fidanlarının 12'si orman ağacı türü (Himalaya sediri, sedir, çam, göknar, mazı, kırmızı çiçekli at kestanesi, üvez, doğu çınarı, at kestanesi, batı çınarı, akasya, kurtbağrı) ve 11'i meyve ağacı türlerinin (hurma, limon, kayısı, dut, elma, armut, erik, şeftali, kiraz, vişne, ayva) fidanlarıdır. Bu fidanların genellikle dış mekan süs bitkisi olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Satış listesinde Himalaya sediri (*Cedrus deodora*) özel olarak vurgulanmıştır. Listede sadece sedir olarak belirtilen tür muhtemelen Toros sediri (*Cedrus libani*)'dir. Çam fidanlarının türü belirtilmemiş olup, dört sınıfta değerlendirilmiştir. Çam ve sedir fidanlarında yapılan sınıflandırmaların çap-boy ölçütlerine göre yapılmış olması muhtemeldir. Meyve ağaçlarının fidanlarının aşılı olup olmadığı bilinmemektedir. Günümüzde bile yeterince değerlendirilmeyen yabancı meyveli üvez ağacının (*Sorbus spp.*) yaklaşık 120 yıl önce üretilip süs bitkisi olarak satılması ilginçtir.

Fidanların fiyatları arasında 15 kata varan farklılıklar dikkati çekmektedir (Tablo 2). Satış listesine göre iğne yapraklı fidanların satış fiyatı diğer fidanlara göre oldukça yüksektir. En pahalı fidanların tutarı (30 kuruş) taşrada çalışan bir ziraat memurunun yaklaşık bir günlük yevmiyesine denk gelmektedir (BOA.BEO. 2940/220430). Ancak buna rağmen fidan satış bedelleri dönemin özel fidanlıklarına göre oldukça uygundur (BOA.Y.PRK.SGE.8.92).

Kurbağalıdere çiftliği içerisinde kurulan fidanlığın hakkında arşiv evrakı sınırlı olması nedeniyle fidanlığın kuruluşu, büyüklüğü, yıllık üretim miktarı, fidanlık yetiştirme tekniği, uzman eleman sayısı vb. bilgilere ulaşamamıştır. En önemlisi fidanların tohumdan yetiştirilmesi veya başka yerden nakille getirilip büyütülmesi gibi konular açık değildir. Ayrıca çiftlik çalışanlarının listesi incelendiğinde fidancı gibi uzman elemanlar zikredilmemiştir (BOA.Y.PRK.HH.26/60). Buna rağmen belgelerde saray ahırlarına bağlı haraların ağaçlandırılması için buradan çok sayıda fidan gönderildiği tespit edilmiştir (BOA.ML.EEM. 522/74). Aynı şekilde emlak-ı hümayuna ait çiftliklere bedeli mukabilinde fidan gönderildiği anlaşılmaktadır (BOA.ML.EEM. 384/49).

Osmanlı Dönemi'nde kurulan ilk orman fidanlığı hakkında Kılıç ve Yılmaz (2020)'in yaptığı bir çalışma olmasına rağmen, ağaçların süs bitkisi olarak

fidanlıkta yetiştirilmesine dair araştırmaya rastlanılmamıştır. Kurbağalıdere çiftliğine ait defterin birkaç sayfasında yer alan çiçek ve fidan bilgisi her ne kadar geniş bir değerlendirmeye imkan vermese de ağaçların süs bitkisi olarak üretildiği fidanlık olması bakımından ilk olma özelliği taşımaktadır. Satış listesi, 1906 sonbaharında satılan çiçek ve fidanların tür, cins, satış fiyatı ve müşterileri hakkında değerli veriler taşımaktadır. Müşterilerin saray çalışanları, civarda oturan konak sahipleri ve bu konaklara hizmet veren bahçıvanlar olması aynı zamanda dönemin bahçe tanzimi ve kültürüne dair bilgiler sunmaktadır.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Yazarların Katkıları: Konsept: E.K.; Tasarım: E.K.; Danışmanlık: E.K.; Kaynaklar: E.K.; Veri Toplama: E.K.; Analiz: E.K.; Literatür Taraması: E.K.; Makale Yazımı: E.K.; Eleştirel İnceleme: E.K.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

BOA. TC. Devlet Arşivleri Başkanlığı Osmanlı Arşivi: BEO. 2940/220430, HH.İ. 81/62, HH.THR. 225/49, HH.THR. 226/43, ML.EEM. 298/75, ML.EEM. 384/49, ML.EEM. 522/74, ML.EEM. 611/16, ML.EEM. 747/63, Y.PRK.HH.26/60, Y.PRK.SGE.8.92.

Google Earth. (2025, Şubat 9). Kurbağalıdere Çiftliği arazisinin günümüzdeki durumu. <https://earth.google.com/web/@40.98638864,29.05222506,39.3831148a,11608.77765801d,35y,-1.60422192h,1.26384142t,359.99999914r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCPwEQAA>

Haykıran, A. S. (2013). Aydın Vilayeti'nde çiftlikler (1839-1918) [Doktora tezi]. Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Hut, D. (2009). Veliahd Murad-Yeni Osmanlılar ilişkisinde Fikirtepe V. Murad Köşkü. Türk Kültürü İncelemeleri Dergisi, 20, 101-142.

İ.Ü Nadir Eserler Arşivi. Mühendishane-i Berri-i Hümayun: 1261 (1845) Yılı İstanbul haritası.

İstanbulu, T. (1978). Türkiye'de devletten başkasına ait ormanların idare ve işletilmesi üzerinde araştırmalar. İ.Ü Orman Fakültesi Yayınları.

Keskin, Ö. (2005). Orman ve Ma'adin Nezareti'nin kuruluşu ve faaliyetleri. [Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Kılıç, E. & Yılmaz, M. (2020). Mehmet Tevfik Bey'in 1917 yılı verilerine göre Hendek Orman Fidanlığı raporu ve önemi. Ormancılık Araştırma Dergisi, 7(1), 49-61.

Kutluk, H. (1948). Türkiye ormancılığı ile ilgili tarihi vesikalar 1487-1923. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

Nizamoğlu, A. (2023). II. Meşrutiyet yıllarında orman politikaları ve ormancılık algısı (1908-1918). [Doktora tezi]. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırşehir.

Salt Galata Arşivi. Erkân-ı Harbiye-i Umûmiye, İstanbul Boğazı ve civarı haritası (1:50000), <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/100256>

Terzi, A. (2000). Hazine-i Hassa Nezareti, TTK Yayınları.

Toygar, S. (1964). Eski ve yeni hükümlere göre orman anlamı ve ormanların mülkiyet bakımından bölünüşü. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.



Marmara Florasının Doğal Bitki Türleri ile Çatı Bahçesi Tasarımı: Bursa Teknik Üniversitesi Örneği

Roof Garden Design with Native Plant Species of The Marmara Flora: The Case of Bursa Technical University

Eray Gümüş^{1*} , Kamil Erken¹ 

¹ Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 13/03/2025
Kabul Tarihi: 23/05/2025

Atıf:

Gümüş, E. & Erken, K. (2025). Marmara Florasının Doğal Bitki Türleri ile Çatı Bahçesi Tasarımı: Bursa Teknik Üniversitesi Örneği. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 35-47.

*Sorumlu yazar: Eray Gümüş
E-mail: 24435011013@ogr.btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Çatı bahçeleri / Roof gardens
Doğal bitkiler / Native plants
Dört mevsim canlı bahçeler / All-season living gardens
Kentsel serinletme etkisi / Urban cooling effect

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Türkiye, üç farklı fitocoğrafik bölgenin (Avrupa-Sibirya, İran-Turan, Akdeniz) kesişim noktasında yer alması nedeniyle zengin bir flora sahiptir. Türkiye florasında yaklaşık 12.000 takson bulunmakta olup bunların 3.700'ü endemiktir. Ancak, kentsel alanlarda egzotik bitkilerin kullanımı yaygınlaşmış ve bu durum çevresel sürdürülebilirliği olumsuz etkilemiştir. Egzotik türler, yerel bitki türleri ve habitatlar üzerinde baskı oluşturmaktadır. Buna karşın, doğal bitki türleri bölgenin ekolojik koşullarına uyum sağlamış olup, su tasarrufu ve düşük bakım maliyeti gibi avantajlar sunmaktadır. Kentleşme süreciyle birlikte yeşil alanlar üzerindeki antropojen baskı artmış, beton yüzeylerin fazlalaşması kentsel ısı adası etkisini şiddetlendirmiştir. Çatı bahçeleri, ekonomik ve ekolojik faydalar sağlaması nedeniyle bu sorunun çözümüne katkıda bulunabilecek sürdürülebilir peyzaj uygulamalarından biridir. Bu bağlamda, çatı bahçelerinde doğal bitkilerin kullanımı, egzotik türlere kıyasla daha çevreci ve ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Bu çalışma, Marmara Bölgesi'nde çatı ve teras bahçelerinde kullanım potansiyeli yüksek olan doğal bitki türlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma Bursa ili sınırları içinde gerçekleştirilmiş, bölgenin iklimsel ve ekolojik özellikleri dikkate alınarak uygun bitki türleri belirlenmiştir. Literatür taraması ve arazi gözlemleri sonucunda, su ihtiyacı düşük, ekstrem koşullara dayanıklı, estetik ve fonksiyonel özellikleriyle öne çıkan çok yıllık doğal bitki türlerinden oluşan bir liste oluşturulmuştur. Seçilen bitkiler Bursa Teknik Üniversitesi Mimar Sinan Yerleşkesi'nde bir çatı bahçesi uygulamasında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, doğal bitki türlerinin çatı bahçelerinde kullanımı, kentsel ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından önemli faydalar sunmaktadır. Bu araştırma, şehirlerdeki yeşil alan miktarını artırarak kentsel ısı adası etkisini azaltmak, su tasarrufu sağlamak ve biyolojik çeşitliliği desteklemek adına önemli bir katkı sunmaktadır.

ABSTRACT

Turkey possesses a rich flora due to its location at the intersection of three distinct phytogeographic regions: Euro-Siberian, Iran-Turanian, and Mediterranean. The country's flora includes approximately 12,000 taxa, of which 3,700 are endemic. However, the widespread use of exotic plants in urban areas has negatively impacted environmental sustainability, exerting pressure on native plant species and habitats. In contrast, native plant species are well adapted to the ecological conditions of their region, offering advantages such as water efficiency and low maintenance requirements. The process of urbanization has intensified anthropogenic pressure on green spaces, while the expansion of concrete surfaces has exacerbated the urban heat island effect. Roof gardens are among the sustainable landscape practices that can help mitigate these challenges by providing both economic and ecological benefits. In this context, the use of native plants in roof gardens presents a more environmentally friendly and cost-effective alternative to exotic species. This study aims to identify native plant species with high potential for use in roof and terrace gardens in the Marmara Region. The research was conducted within the boundaries of Bursa province, where suitable plant species were selected based on the region's climatic and ecological characteristics. Through a combination of literature review and field observations, a list of perennial native plant species was compiled, prioritizing those with low water requirements, high resistance to extreme conditions, and valuable aesthetic and functional attributes. The selected plant species were then assessed in a roof garden application at Bursa Technical University's Mimar Sinan Campus. The findings highlight that integrating native plant species into roof gardens provides significant benefits for urban ecosystem sustainability. This research contributes to urban resilience by increasing green space coverage, mitigating the urban heat island effect, conserving water, and supporting biodiversity.

1. Giriş

Türkiye; küresel ölçekte bakıldığında bitki çeşitliliği bakımından çok zengin bir konumdadır. Günümüze kadar Türkiye'nin floristik zenginliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye Florası, son kayıtlara göre yaklaşık 12.000 taksonla temsil edilmektedir. Bu taksonlardan yaklaşık 3700'ü Türkiye'ye özgü yani endemik bitkilerdir (Avcı, 2005; Polat, 2020; Şekercioğlu vd., 2011). Bu zenginliğin sebebi; Türkiye'nin bulunduğu konum ve üç fitocoğrafik bölgenin (Avrupa-Sibirya, İran-Turan, Akdeniz) bir araya gelerek oluşturduğu farklı bitki formasyonlarıdır. İklimsel farklılıklarla birlikte bu bitki formasyonların popülasyonları, ekolojik istekleri ve morfolojik yönleri farklılık gösterir. Bunun sonucunda Türkiye, floristik zenginliği ile kıta özelliği gösterir (Adıgüzel & Solmaz, 2023; Erken vd., 2022; Günel, 2013).

Egzotik bitki türleri, yalnızca kentsel peyzaj ekolojisi üzerinde etkili olmakla sınırlı kalmaz; aynı zamanda istilacı özellikleriyle çevredeki doğal alanlara yayılıp, birçok bitki ve hayvan türü için mevcut yaşam alanlarını daraltır (Polat, 2020; Pyšek & Richardson, 2010). Doğal bitkiler çevresel koşullara iyi uyum sağladığı için yaşamsal faaliyetlerini minimum bakımla sürdürebilir. Egzotik türler için bu söz konusu değildir. Bu türlerde ekstra koruma ve bakım gerektirmektedir (Aksoy & Erken, 2022). Aksine doğal bitkilerin kullanımı doğal dengeyi korur, su tasarrufu sağlar ve bakım masraflarını azaltır (Erken, 2021; Polat, 2020). Türkiye florasında yayılış gösteren; sıg topraklar, ağır topraklar, kumul alanlar, kurak alanlar, bataklıklar ve taşlık alanlar gibi kötü habitatlarda yetişebilen doğal bitkiler vardır.

Kırsaldan şehir hayatına göçlerin yaşanarak kentlerimizin nüfusunun artmasıyla kentlerdeki yeşil alanlar üzerinde antropojen baskı oluşmuştur. Bu baskı yeşil alanların kaybıyla sonuçlanmış ve insanların doğaya olan özlemini gün geçtikçe arttırmıştır. İnsanlar için kent hayatına doğal unsurları katmak önemli bir gereklilik olmuştur (Aksoylu vd., 2005; Şentürk & Binzet, 2021). Rekreatyon alanları, park ve bahçeler, botanik parkları vb. peyzajlar insanların bu ihtiyaçlarını karşılamak için planlanmaktadır. Nitelikli yeşil alanlar oluşturarak ve bozunmuş peyzajları onarıp koruyarak kentlerimizdeki doğal alanlar arttırılmalıdır (Jim & Chen, 2006).

Plansız kentleşmeyle birlikte arazi yüzeyleri yapay, geçirimsiz kaplamalarla doğallıktan iyice uzaklaşmıştır. Bu değişimle birlikte kentlerimizdeki

iklimsel denge bozulmuştur (Gill vd., 2007; Toy vd., 2022). Sert ve geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla atmosferin ısı dengesi de bozulmuş, kentsel ısı adası etkisi kentlerde hissedilmeye başlamıştır. Bitki örtüsünün azalmasıyla birlikte sert yüzeylerin sıcaklığı absorbe ederek gece ve gündüz sıcaklıkları arasındaki farkın azalmasına sebep olmuştur. Kentlerdeki hava sıcaklığı bu yüzden kırsal alanlara göre daha fazladır (Esringü & Toy, 2021; Tonyaloğlu, 2019). Kentsel ısı adası etkisini azaltmak için bitkilendirme çalışmaları en etkili çalışmalardır. Bitkilendirme ile geçirimli yüzeyler ve buharlaşma artarken gece-gündüz sıcaklık farkları da artacaktır. Bu çalışmalarda, kentlerdeki plansızlık ve sıkışmışlık yüzünden alan bulmak zor olabilmektedir. Böyle durumlarda dikey bahçeler, yeşil çatılar ve teras/çatı bahçeleri çözüm olmaktadır (Bowler vd., 2010; Esringü & Toy, 2021).

Çatı bahçeleri özellikle doğal bitkiler ile doğru planlanıp uygulandığında kentsel ısı adası etkisini azaltır. Bitkilerin serinletme etkisinden faydalanılmış olur (Kuşçu Şimşek, 2016; Santamouris, 2014). Çatı bahçeleri, yapı yüzeyini bitkiler ile kapattığı için enerji tasarrufu da sağlayarak çevresel sürdürülebilirliği destekler (Feng & Hewage, 2014). ABD'de yapılan çalışmalarda, bitkilerin kapladığı alanlardaki artışın, sıcaklığı 0,5-1 °C düşürebileceği belirtilmektedir (Jo & McPherson, 2001). Çatı bahçeleri, ekolojik yağmur suyu yönetimi, yapı sıcaklıklarının dengelenmesi, kentsel ısı adası etkisinin azaltılarak iklimsel serinletme sağlanması ve canlılar için habitat sağlama gibi birçok ekosistem hizmeti sunmaktadır (Aksoy, 2022).

Küresel iklim değişikliği, insan yaşamını ve doğal çevreyi tehdit eden en büyük sorunlardan biridir. Artan ekstrem hava olayları, biyolojik çeşitliliğin azalması ve ekosistemlerin bozulması, bu sorunun geniş kapsamını göstermektedir. Türkiye, doğal bitki örtüsü bakımından zengin bir ülke olup, bu çeşitlilik sürdürülebilir peyzaj tasarımları için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Doğal bitkilerin peyzaj çalışmalarında kullanımı, çevresel uyum ve enerji tasarrufu sağlarken bakım ihtiyaçlarını da minimize etmektedir.

Bu çalışma, Marmara Bölgesinde çatı/teras bahçelerinde kullanım potansiyeli taşıyan bazı doğal bitki türlerinin çatı bahçelerinde kullanım potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Doğal bitkilerin, egzotik türlere kıyasla çevresel ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir çözümler sunduğunu göstermeyi hedeflemektedir. Araştırma, kentsel alanlarda çevreye duyarlı ve uzun vadeli

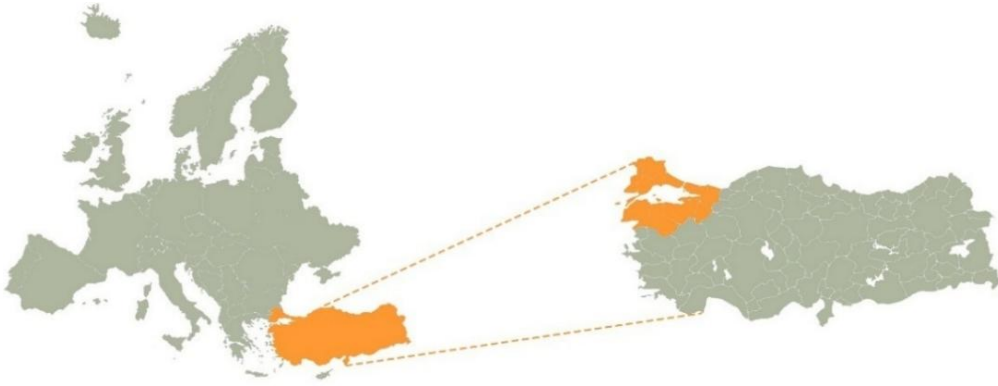
çözümler geliştirilmesine ışık tutarak, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

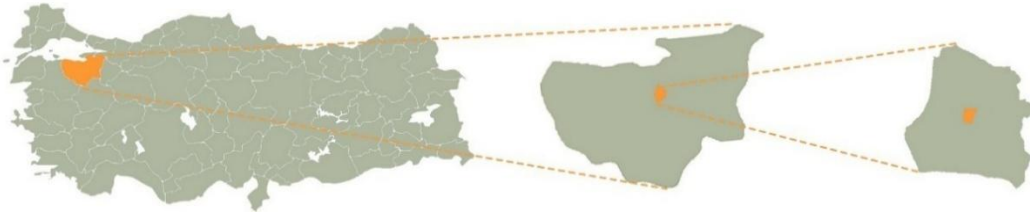
Çatı bahçeleri için uygun bitki seçiminin yapıldığı doğal flora çalışma alanı (Şekil 1), Marmara iklimine sahip olup maksimum sıcaklık değeri 31,7°C, minimum sıcaklık değeri ise -7 °C'dir. En fazla yağış, kış aylarında ve ilkbaharın ortalarında (nisan-mayıs)

düşmektedir. En az yağışlı zaman temmuz-ağustos aylarıdır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025). Örnek çatı bahçesi proje çalışması Marmara Bölgesi'ni temsilen 39° 35'-40° 40' kuzey enlemleri ile 28° 10'-30° 00' doğu boylamları arasında yer alan Bursa ili sınırları içerisinde yürütülmüştür (Şekil 2). Bursa, ılıman iklim ve Akdeniz ikliminin özelliklerini göstermektedir. Ayrıca Bursa kentinin 0-2543 m arası rakımlarda olması ve önemli bitki alanlarına (longozlar, milli parklar, sulak alanlar) sahip olması endemik çeşitliliğini ve dolayısıyla floristik zenginliğini arttırmaktadır (Adıgüzel & Solmaz, 2023).



Şekil 1: Bitki materyali araştırma alanı (Avrupa, Türkiye, Marmara Bölgesi).

Figure 1: Plant material research area (Europe, Turkey, Marmara Region).



Şekil 2: Örnek çalışma alanı (Türkiye, Bursa, BTU Mimar Sinan Yerleşkesi).

Figure 2: Case study area (Turkey, Bursa, BTU Mimar Sinan Campus).

Bursa'nın kent merkezi, çevresel baskıların yoğun olduğu ve kentsel ısı adası etkisinin hissedildiği bir bölgedir. Kentsel alanlarda yaşam kalitesini arttırmak için önemli yöntemlerden biri de çatı/teras bahçeleridir. Araştırmanın ana materyalini, kentsel alanlarda uygulanacak olan çatı/teras bahçelerinde kullanım potansiyeli yüksek doğal bitki taksonları oluşturmaktadır.

2.2. Yöntem

Tez, makale, kitap taramalarından ve arazide yapılan gözlemlerden elde edilen verilerin ışığında, Marmara florasında doğal yayılım gösteren bitkilerin doğal habitatlarındaki morfolojik özellikleri incelenmiştir. Estetik ve fonksiyonel özellikleri itibarıyla çatı/teras bahçelerinde kullanılmaya uygun potansiyel bitkiler belirlenmiş ve bir liste oluşturulmuştur. Bu araştırma yapılırken bölgenin maksimum ve minimum sıcaklık

değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Estetik olarak çiçek, yaprak rengi, tekstür ve form özellikleri; fonksiyonel olarak ise toprak yüzeyini kapatması, yeşil aksamı ve kök yapısına dikkat edilmiştir. Kurağa dayanımı yüksek, sık topraklarda ve sorunlu habitatlarda yayılım gösteren bitkiler çatı bahçesi gibi ekstrem koşullarda yetişebilecek potansiyel bitki taksonları olarak listelenmiştir. Bu liste oluşturulurken bitkilerin çatılarda/teraslarda toprak derinliğinin az olduğu, minimum sulama ve bakımla yaşayabilecek, sıcaklık stresine dayanıklı, çiçekleri ve çiçeklenme dönemi gibi estetik özellikleriyle öne çıkan çok yıllık otsu ve odunsu bitkiler esas alınmıştır.

Daha sonra Marmara Bölgesini temsilen seçilen Bursa Teknik Üniversitesi Mimar Sinan Yerleşkesi A Blok 4. Katta bulunan terasa örnek bir bitkisel tasarım projesi yapılmıştır. Hazırlanmış olan çatı

bahçelerinde kullanım için uygun potansiyel doğal bitki taksonları listesinden seçilen türlerin bazıları bu örnek proje çalışmada kullanılmıştır.

3. Bulgular

Marmara bölgesinde doğal yayılış gösteren çatı ve teras bahçelerinde kullanılabilecek, 34 familyaya ait 90 taksondan oluşan liste çiçeklenme zamanları ile birlikte Tablo 1’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre, ocak-şubat ve ekim-kasım-aralık ayları arasında çiçekli takson sayısının az olduğu (14 takson) tespit edilmiştir. Çiçekli takson sayısının en fazla (88 takson) olduğu aylar; nisan-eylül ayları arası dönemdir.

Listede Liliaceae (8 takson), Lamiaceae (8 takson), Scrophulariaceae (7 takson), Fabaceae (6 takson) ve Iridaceae (6 takson) familyaları en fazla taksonu içermektedir. Liliaceae ve Iridaceae familyalarındaki bitkiler geofit (soğanlı/yumrulu/rizomlu) bitkiler olduğu için toprak altı organları sayesinde kurak koşullara dayanımı yüksektir. Aynı zamanda farklı dönemlerde çeşitli renklere sahip geofitler tasarımların estetik yönünü de güçlendirmektedir. Geofitler arasında yer alan *Iris histrio*, *Hyacinthus orientalis*, *Narcissus tazetta*, *Pancratium maritimum* (Demir & Çelikel, 2017) ve *Sternbergia candida* (Kılıçaslan & Dönmez, 2016) gibi bitkiler hoş kokuludur.

Alcea biennis (syn. *Alcea pallida*), *Acantholimon ulicinum* subsp. *ulicinum*, *Aubrieta olympica*, *Daphne oleoides*, *Digitalis ferruginea* subsp. *ferruginea*, *Hypericum calycinum*, *Linum olympicum*, *Nerium oleander*, *Pancratium maritimum*, *Salvia sclarea*, *Vitex agnus-castus* tüm yaz (haziran-

temmuz-ağustos) çiçekli olan taksonlardır. *Arbutus unedo*, *Chamaecytisus hirsutus*, *Daphne oleoides*, *Erica arborea*, *Erica manipuliflora*, *Laurus nobilis*, *Nerium oleander*, *Phillyrea latifolia*, *Spartium junceum* ve *Vitex agnus-castus* türleri odunsu çok yıllık türlerdir. Bu bitkilerden *Nerium oleander* yeterli gelişim gösterdiğinde ağaççık, çalı formlarında bulunabildiği gibi budanarak çalı formu yer örtücü olarak da kullanılabilir. *Arbutus unedo*, *Laurus nobilis* ve *Phillyrea latifolia* boylu çalı veya ağaççık sınıfında incelenir. Kök sistemi için toprak derinliği diğer bitkilere kıyasla daha fazla olmalıdır.

Kış mevsiminde (aralık-ocak-şubat) çiçekli bitki çok azdır. *Crocus biflorus* subsp. *pulchricolor*, *Cyclamen coum*, *Galanthus plicatus* subsp. *byzantinus*, *Gladiolus italicus*, *Iris histrio*, *Narcissus tazetta* ve *Sternbergia candida* taksonları ekolojik koşullara bağlı olarak çiçekli rastlanma ihtimali olan taksonlardır. Bu taksonlar geofittir ve listeye göre kış dönemi çiçeklidirler. Çiçeklenmenin çok az olduğu dönemlerde renk etkisi yokken, bu bitkiler peyzaj alanlarına renk katarak estetik değerini artırırlar.

Bursa Teknik Üniversitesi Mimar Sinan Yerleşkesi A blok 4. katta bulunan teras için, sığ topraklarda yetişebilen, kurağa dayanımı yüksek, toprak yüzeyini iyi kapatan ve olabildiğince dört mevsim canlı kalabilecek bir çatı bahçesi bitkisel tasarım projesi çizilmiştir (Şekil 3). Tasarlanan alanın kesit görselleri Şekil 4’te dört mevsim için bitkisel renk tasarımı görselleri Şekil 5’te verilmiştir. Proje için seçilen taksonlar, bitkisel tasarım kriterlerinden denge, uyum, renk, en/boy, tekstür ve form özellikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bitkilerin fonksiyonel özelliklerinden perdeleme, yönlendirme, fon oluşturma, biyoçeşitliliği artırma ve mekân oluşturma dikkate alınmıştır.

Tablo 1: Marmara florasında doğal yayılış gösteren, uzun süre çiçekli kalabilen çatı ve teras bahçesi tasarımlarında kullanılabilecek taksonlar, çiçekli olduğu aylar ve çiçek renkleri.

Table 1: Taxa, flowering months and flower colors of naturally distributed plants in the marmara flora that can be used in roof and terrace garden designs with long flowering periods.

TAKSON	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	KAYNAK
1 <i>Acantholimon ulicinum</i> subsp. <i>ulicinum</i> *	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
2 <i>Agrimonia eupatoria</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
3 <i>Alcea biennis</i> (syn. <i>Alcea pallida</i>)*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004), (Yener, 2007)
4 <i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>boissieri</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
5 <i>Arbutus unedo</i> *	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	(Kaynak vd., 2005), (Şeker & Toplu, 2010)
6 <i>Asperula nitida</i> subsp. <i>nitida</i> *	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
7 <i>Asphodelus lutea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
8 <i>Astragalus hirsutus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004), (Kurt-Celep vd., 2021)
9 <i>Asyneuma virgatum</i> subsp. <i>cichoriiforme</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
10 <i>Aubrieta olympica</i> *	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(Akın vd., 2016), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)

39

61 <i>Panocratium maritimum</i> *	•	•	•	•	•	X	X	X	X	X	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaya, 2014), (TUBİVES, 2004), (Tuzlacı, 2007)
62 <i>Paronychia amani</i> var. <i>amani</i>	•	•	•	•	•	X	X	X	•	•	•	•	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
63 <i>Pedicularis olympica</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
64 <i>Phillyrea latifolia</i> *	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (TUBİVES, 2004)
65 <i>Phlomis russeliana</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Yücel & Erken, 2022), (Davis, 1965-85), (TUBİVES, 2004)
66 <i>Phyla nodiflora</i> (Syn. <i>Lippia repens</i>)*	•	•	•	X	X	X	X	X	•	•	•	•	(Küçükerbaş vd., 1997), (TUBİVES, 2004)
67 <i>Polygala anatolica</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
68 <i>Rumex alpinus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
69 <i>Rumex conglomeratus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
70 <i>Rumex olympicus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
71 <i>Rumex tuberosus</i> subsp. <i>tuberosus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
72 <i>Salvia fruticosa</i>	•	•	X	X	X	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (Tuzlacı, 2007)
73 <i>Salvia sclarea</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (TUBİVES, 2004)
74 <i>Salvia viridis</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Aytaç vd., 2020), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
75 <i>Scilla bifolia</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
76 <i>Scorzonera pygmaea</i> subsp. <i>pygmaea</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
77 <i>Scutellaria orientalis</i> subsp. <i>alpina</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
78 <i>Silene falcata</i>	•	•	•	•	•	•	X	X	X	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
79 <i>Spartium junceum</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Erken, 2011), (Davis, 1965-85), (TUBİVES, 2004)
80 <i>Stachys germanica</i> subsp. <i>bithynica</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
81 <i>Sternbergia candida</i> *	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Aytaç vd., 2020), (Davis, 1965-85), (TUBİVES, 2004)
82 <i>Sternbergia lutea</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
83 <i>Thymus serpyllum</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Jarić vd., 2015), (Davis, 1965-85), (TUBİVES, 2004)
84 <i>Umbilicus erectus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
85 <i>Verbascum bithynicum</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
86 <i>Verbascum bombyciferum</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
87 <i>Verbascum olympicum</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
88 <i>Veronica caespitosa</i> var. <i>caespitosa</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
89 <i>Veronica cuneifolia</i> subsp. <i>cuneifolia</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Davis, 1965-85), (Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)
90 <i>Vitex agnus-castus</i> *	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	(Kaynak vd., 2005), (TUBİVES, 2004)

TOPLAM ÇİÇEKLİ TAKSON SAYISI 4 7 18 31 45 63 58 47 26 7 3 1

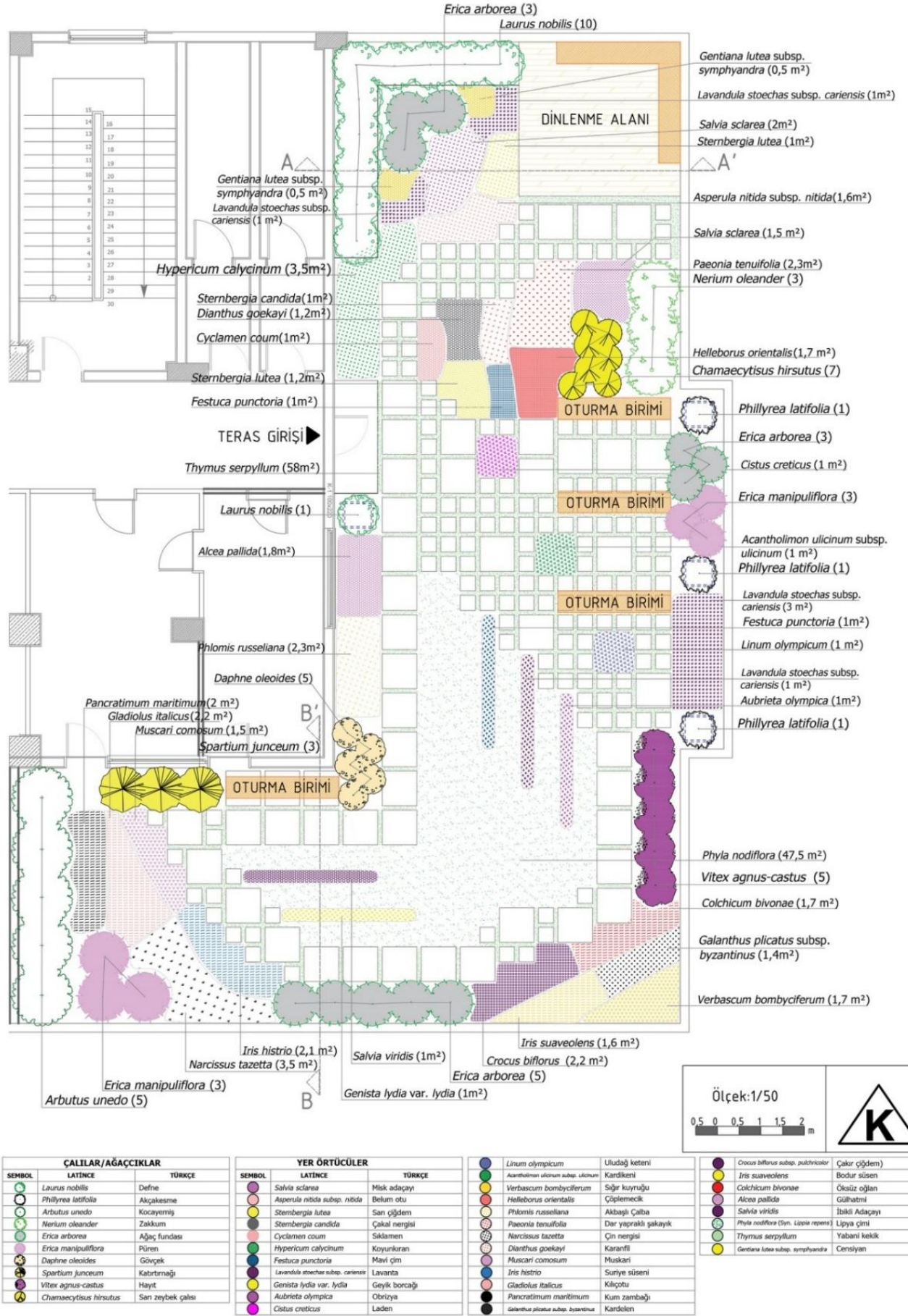
*BTU MS yerleşkesi A blok 4. kat için yapılan bitkisel tasarım projesi çalışmasında kullanılan taksonlar.

X: Beyaz çiçekli taksonlar.

BTU MS Yerleşkesi A Blok 4. kat için yapılan bitkisel tasarım projesinde kullanılan bitkiler Tablo 1'de işaretlenmiştir. Tablo 1'de listelenen 90 taksondan 42 tanesi bu projede kullanılmıştır. Bitkiler seçilirken mevsimsel çiçek döngüleri planlanarak bitkisel kompozisyonlar oluşturulmuştur. Örneğin, çiçeklenmenin az olduğu sonbahar ve kış aylarında geofitlerin renk etkilerinden faydalanmak için parseller tasarlanmıştır. Yer örtücü-çalı birliktelikleri ile katmanlı bitkilendirme tekniği de kullanılmıştır. Bu sayede çiçeklenme dönemleri, boy ve tekstür bakımından çeşitli bitkiler kullanılmıştır. Kullanılan bitkiler, mevsimsel renk döngülerine göre bitkisel tasarım çalışmasında görselleştirilmiştir (Şekil 5). Renkli semboller, bitkilerin belirtilen mevsimde

hangi renkte çiçek açtığını göstermektedir. Renksiz semboller ise belirtilen mevsimlerde bitkilerin çiçeklenmediğini belirtmektedir.

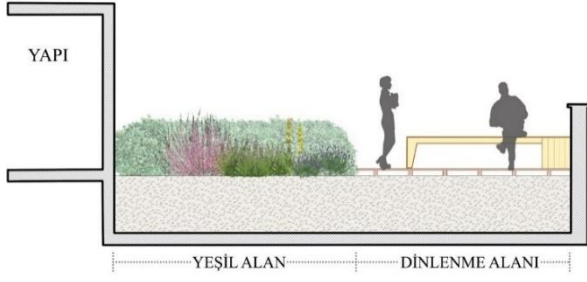
Alan içi sirkülasyonda 40x40 ve 80x80 cm ebatlarında adım taşları kullanılmıştır. Bu taşların arasında derz olarak *Thymus serpyllum* kullanılmıştır. Bu bitki toprak yüzeyini çok iyi kapatır ve kokusuyla da etkilidir. Adım taşlarının arasında küçük yapraklarıyla alana estetik değer katar. Çalışma kapsamında yapılan bitkisel tasarım projesinde kullanılan 42 takson, 6 farklı renkte çiçeğe sahiptir. Pembe çiçekli bitkiler (12 adet) en çok kullanılan çiçek rengi olurken en az kullanılan çiçek rengi kırmızıdır (1 adet).



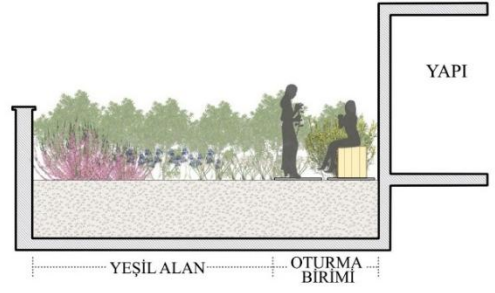
Şekil 3: BTU MS yerleşkesi A blok 4. kat için yapılan bitkisel tasarım projesi.

Figure 3: Plant design project for BTU MS campus A block 4th floor.

A-A' KESİTİ

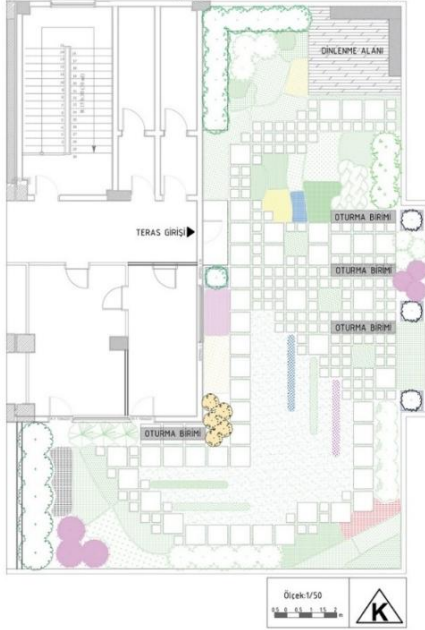


B-B' KESİTİ

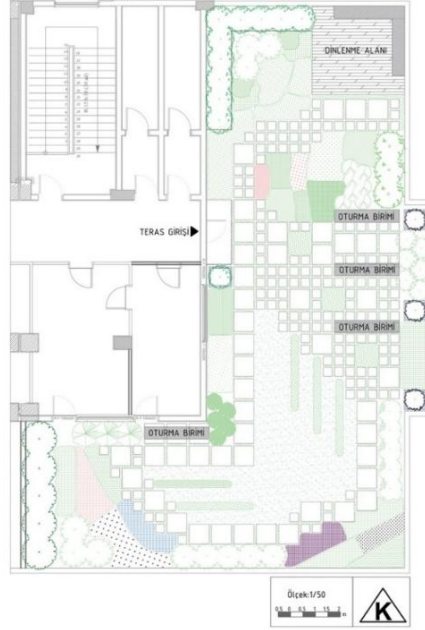


Şekil 4: BTU MS yerleşkesi A blok 4. kat için yapılan bitkisel tasarım proje kesitleri.
Figure 4: Plant design project sections for BTU MS campus A block 4th floor.

SONBAHAR (Eylül-Ekim-Kasım)



KIŞ (Aralık-Ocak-Şubat)



İLKBAHAR (Mart-Nisan-Mayıs)



YAZ (Haziran-Temmuz-Ağustos)



Şekil 5: BTU MS yerleşkesi A blok 4. kat için yapılan bitkisel tasarım projesi ve mevsimsel renk döngüsü.
Figure 5: BTU MS campus A block 4th floor plant design project and seasonal colour cycle.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Tartışma

Çalışmada tamamen örnek proje çalışmasının yürütüldüğü Marmara doğal florasında bulunan taksonlar kullanılmıştır. Çünkü; Kuşçu Şimşek (2016)'e göre kentlerdeki geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla iç dinamiklerine bağlı iklimsel değişikliklere rağmen iklim konforunu korumak için, park ve bahçeler gibi yeşil alanların planlanması dikkate alınmalıdır. Yeşil alanlar yalnızca rekreasyonel faaliyetler açısından değil, kentlerin önemli bir ihtiyacı olduğu için kritik öneme sahiptir. Tuttu vd. (2019)'nin Çankırı üzerine yaptığı çalışmada, bölgeye özgü doğal bitki türlerinin tercih edilmesinin kentsel biyoçeşitliliğe katkı sağladığı ve kentleşmenin doğal habitatlar üzerindeki baskısını azalttığı vurgulanmaktadır. Araştırmada, Çankırı florasında yer alan otsu bitki türlerinin peyzaj özellikleri ve peyzajda kullanım potansiyeli belirlenmiştir. Çalışma, doğal bitkilerin peyzaj alanlarında değerlendirilmesi gerektiği konusunda ortak bir görüş sunarken, lokasyon bazında farklılıklar içermektedir. Irmak ve Yılmaz (2011) ve Irmak (2013)'e göre peyzaj çalışmalarında doğal bitki kullanımı, peyzaja yerel kimlik katarken ekonomik, ekolojik ve sürdürülebilir peyzajlar sunar. Bunun yanı sıra doğa tabanlı flora turizmini kentsel alanlara kazandırabilmektedir. Pyšek ve Richardson (2010) ve Polat (2020)'a göre egzotik bitkiler ise yerel bitkilerin oluşturmuş olduğu bitki birlikteliklerine (bitki sosyolojisi) uyum sağlayamayabilir. Yabancı yurtlu bitkiler, doğal türler ile rekabete girerek çevredeki doğal bitki popülasyonlarını tehdit edebilmektedir. Aksoy ve Erken (2022)'e göre doğal bitkiler, bulunduğu ekosistemin koşullarına iyi adapte olduğundan yaşamsal faaliyetlerini minimum bakımla sürdürebilir. Egzotik türlerde ise aksine bakım faaliyetlerini sürekli ve sık sık yapılmalıdır.

Bowler vd. (2010) ve Esringü ve Toy (2021)'a göre de kentsel alanların çarpık ve plansız gelişmesi göz önünde bulundurulduğunda, kentin yeşil alan ihtiyacını karşılamak için çatı ve teras bahçeleri iyi bir alternatiftir. Çatı bahçeleri, bulundukları alanlarda mikroklima sağlar ve kentsel ısı adası etkisini azaltırlar. Çatı bahçeleri dünya çapında birçok ülkede kurulmuş ve çeşitli kamusal veya özel alanlara katkı sağlamıştır. Bu yapılar, kentlere birçok önemli ekonomik ve çevresel fayda sağlamaktadır. Bu nedenle örnek proje çalışmamız da çatı bahçesi olarak tasarlanmıştır.

Barış vd. (2003)'ne göre çatı bahçelerinde bodur ağaçlar ve kısa boylu çalılar dahil yaklaşık 150 bitki türü üzerinde yapılan araştırmalar, doğal bitki türlerinin çatı bahçelerinin özel koşullarına oldukça iyi uyum sağladığını ortaya koymuştur. Bizim çalışmamızda da Marmara florasının doğal çalı taksonları kullanılmıştır. Çalışmamızda yoğun bitkilendirme yapılmış ve mevsimlere göre çiçek zamanı dağılımı göz önüne alınmıştır. Benzer şekilde Barış vd. (2003)'de farklı bitki türlerinin bir arada kullanılmasının, çatı bahçelerinin daha doğal bir görünüme kavuşmasını sağlarken, bol çiçekli türlerin gelişimine olanak sağladığını belirtmektedir. Barış vd. (2003)'ne göre çatı bahçelerinde, kazık kök geliştirmeyen ve yüzeysel köklenen bitkilerin tercih edilmesi gereklidir. Yüksek ışık yoğunluğuna ve don olaylarına dayanıklı oldukları için step bitkileri, ayrıca ekstrem çevresel koşullara uyum sağlayabildikleri için kıyı bitkileri uygun seçenekler arasındadır. Çalışmamızda da geofit grubu ve yüzeysel saçak kök yapan taksonların kullanımına öncelik verilmiştir. Barış vd. (2003)'e göre de genel olarak, su depolama yeteneği bulunan, kalın yapraklı, gümüşü tüylerle kaplı ya da dar yapraklı bitkiler (özellikle doğal bitki örtüsünden seçilen türler) zorlu çevre koşullarına daha iyi adapte olur. Çatı bahçelerinin iklimsel özelliklerine en yakın doğal habitatlar, kıyı bitki topluluklarının geliştiği alanlardır. Çalışmamızda step ve kıyı habitatlar incelenerek bitki listesi oluşturulmuştur.

Ekşi (2006)'ye göre ekstansif bitkilendirmelerde genellikle bodur çalılar, tek ve çok yıllık doğal otsu türler ile çayır bitkileri tercih edilir. "Ekstansif" kelimesi, seyrek anlamına gelse de bu tür bitkilendirmeler, alanın büyük kısmını bitkiyle kaplayacak şekilde düzenlenir. Seçilen bitkiler, genellikle kuraklığa dayanıklı, kendini yenileme kapasitesi yüksek, düşük bakım gerektiren ve alçak boylu türlerdir. Bu türler, besin açısından fakir ve sığ topraklarda gelişebilirken, yatay yönde büyüme eğilimindedir. Liste oluşturulurken ve örnek proje oluşturulurken bu özelliklere sahip bitkiler kullanılarak ekstansif bitkilendirme yapılmıştır.

Koç ve Güneş (1998)'e göre perdeleme, rüzgârın bitkiler üzerindeki kurutucu etkisini azaltırken, çatılarda mahremiyet sağlar ve istenmeyen kötü görüntüleri gizler. Ayrıca, çatıdaki bitkilerin kış soğuklarına karşı korunmasına yardımcı olur. Böylece, tek bir tasarım unsuru ile çatı bahçelerinde birden fazla iklimsel faktörün olumsuz etkilerine karşı önlem alınmış olur. Yaptığımız teras bahçesi projesinde *Arbutus unedo* ve *Laurus nobilis* türleri

istenmeyen görüntüleri perdelemek için kullanılmıştır.

Nemutlu ve Çelik (2021)'e göre geofitler, gövdelerinin toprak altında bulunması sayesinde zorlu çevre koşullarına karşı yüksek dayanıklılık gösterir. Bu bitkiler, kış aylarında çevrede renk unsuru azaldığında çiçek açarak park ve bahçelerin estetik değerini artırır. Çalışmamızda da 12 geofit türü kullanılmıştır. Kılıçaslan ve Dönmez (2016)'ın Göller Bölgesi'nde gerçekleştirdiği araştırmada, doğal olarak yetişen soğanlı bitki türlerinin peyzaj mimarlığında kullanım potansiyeli incelenmiştir. Çalışmada 107 bitki türü tespit edilerek, bu türlere ait çiçeklenme takvimi oluşturulmuş ve yıl boyunca çiçeklenme sağlayan soğanlı bitki bahçeleri için öneriler geliştirilmiştir. Bizim çalışmamızda da aynı olan 7 takson bulunmaktadır.

Todeschini ve Fett-Neto (2025)'nin yaptığı çalışmada; ekstansif çatı bahçelerinde (yeşil çatılar), 2009-2023 yıllarında dünya genelinde yapılan tüm literatürü taramış ve ekstansif çatılar için önerilen taksonları listelemiştir. Literatürde en fazla atıf alan Asteraceae, Poaceae, Crassulaceae, Lamiaceae ve Fabaceae familyalarıdır. Bizim çalışmamızda yaptığımız listede en fazla bulunanlar da Lamiaceae ve Fabaceae familyalarıdır.

4.2. Sonuç

Marmara florasında doğal yayılış gösteren türlerden estetik ve fonksiyonel özellikleri itibariyle çatı/teras bahçelerinde kullanılabilecek potansiyel 90 bitki taksonu ile liste oluşturulmuştur. Oluşturulan listede bitkilerin çiçek rengi ve çiçeklenme dönemlerine yer verilmiştir. Marmara bölgesini temsilen örnek bir çatı bahçesi projesi yapılmıştır. Bu çalışmada, oluşturulan listeden 42 doğal bitki taksonu kullanılmıştır. Bu bitkiler seçilirken mümkün olduğunca alanın dört mevsim canlı kalmasına dikkat edilmiştir. Sonuç olarak; Ülkemizin floristik zenginliği ve Marmara Bölgesinin doğal bitkileri, çatı bahçeleri gibi birçok ekstrem peyzaj uygulamalarına önemli bir kaynak sunmaktadır. Bu bitkiler kuraklığa, ağır toprak koşullarına, sığ topraklara ve sınırlı besin kaynaklarına dayanıklı bitkilerdir. Düşük bakım gereksinimleri ile peyzaj uygulamalarında sürdürülebilirliği sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Marmara Bölgesi'ne özgü doğal bitkiler kullanarak tasarlanan çatı bahçesi modeli, kentsel ısı adası etkisini azaltma, kentsel serinletme etkisi olan mikroklima oluşturma, biyoçeşitliliği destekleme ve ekolojik sürekliliği sağlama açısından önemli bir örnektir. Gelecekte yapılacak çalışmalarla, bu bitkilerin uzun vadeli performanslarının

değerlendirilmesi ve iklim değişikliği senaryolarına karşı dayanıklılıklarının araştırılması, sürdürülebilir kent peyzajları için önemli bir adım olacaktır.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Yazarların Katkıları: Konsept: K.E.; Tasarım: K.E., E.G.; Danışmanlık: K.E.; Kaynaklar: E.G.; Veri Toplama: E.G.; Analiz: K.E., E.G.; Literatür Taraması: E.G.; Makale Yazımı: E.G., K.E.; Eleştirel İnceleme: K.E.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

Adıgüzel, P., & Solmaz, İ. (2023). Türkiye'de bitki genetik kaynaklarının mevcut durumu ve korunması. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 10(3), 352–360.

Akın, B., Kocaçalışkan, İ., & Güleriyüz, G. (2016). In vitro propagation of endemic, endangered plant species *Aubrieta olympica* Boiss. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 037, 1–8.

Akkemik, Ü. (2020). Türkiye'nin bütün ağaçları ve çalıları. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.

Aksoy, O. (2022). Bursa Teknik Üniversitesi kampüsünün ekolojik kampüs kriterlerine uygun olarak bitkilendirilmesi: deneysel bir kampüs tasarım önerisi [Yüksek lisans tezi], Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

Aksoy, O., & Erken, K. (2022). Marmara florasında doğal olarak yetişen bitki türlerinin peyzaj mimarlığında kullanımı “dört mevsim çiçekli bitkisel tasarım projesi örneği”. Ağaç ve Orman, 3(1), 8–19.

Aksoylu, S., Çabuk, A., & Uz, Ö. (2005, Mart 28 – Nisan 1). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yardımıyla yeşil alanlarının yeterliliğinin saptanması üzerine bir araştırma: Eskişehir örneği [Kurultay]. 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.

Arslan, B., & Culpan, E. (2022). Farklı yüksekliklerden toplanan pembe ladenin (*Cistus creticus* L.) uçucu yağ oranı ve kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 37(2), 263–274.

Avcı, M. (2005). Çeşitlilik ve endemizm açısından türkiye'nin bitki örtüsü. Coğrafya Dergisi, (13), 27–55.

Aytaç, Z., Ocak, A., & Kaptaner İğci, B. (2020). Türkiye bitkileri doğa rehberi. Nobel Yayınevi.

Barış, M., Yazgan, M., & Jaric, E. (2003). Çatı bahçeleri. SASBÜD Yayınları.

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. Landscape and urban planning, 97(3), 147–155.

Çırak, C., Radusiene, J., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Seyis, F., & Yayla, F. (2017). Altitudinal changes in secondary metabolite contents of *Hypericum androsaemum* and *Hypericum polyphyllum*. Biochemical Systematics and Ecology, 70, 108–115.

Çetin, N., & Mansuroğlu, S. (2018). Akdeniz koşullarında kurakçıl peyzaj düzenlemelerinde kullanılabilecek bitki türlerinin belirlenmesi: Antalya/Konyaaltı örneği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 55(1), 11–18.

Daşkın, R., & Kaynak, G. (2011). Conservation status of five endemic species distributed in Northwest Turkey. Phytologia Balcanica, 17(2), 213–219.

Davis, P. H. (1965–85). Flora of Turkey and the East Aegean Islands 1–9: 1965(1), 1967(2), 1970(3), 1972(4), 1975(5), 1978(6), 1982(7), 1984(8), 1985(9). Edinburgh.

Demir, S., & Çelikel, F. G. (2017). Türkiye’de doğal olarak yetişen kum zambağının (*Pancratium maritimum*) farklı özellikleri ve önemi. TURJAF, 5(13), 1726–1731

Ekşi, M. (2006). Çatı ve teras bahçelerinde kullanılan konstrüksiyon elemanları ve yeni yaklaşımlar [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erken, K., & Özzambak, M. E. (2014). *Genista lydia* Boiss. var. *lydia*’nın vejetatif çoğaltımı. Bahçe, 43(1-2), 19–28.

Erken, K., & Özzambak, M. E. (2020). Effects of cutting times and doses of some auxins on rooting of the hairy broom cuttings [*Chamaecytisus hirsutus* (L.) Link]. International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 13(2), 53–61.

Erken, K. (2011). *Spartium junceum* L., *Chamaecytisus hirsutus* (L.) Link. ve *Genista lydia* Boiss var. *lydia* taksonlarının çoğaltım yöntemleri ve süs bitkisi özelliklerinin belirlenmesi [Doktora tezi]. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Erken, K. (2021). Investigation of vegetative properties and generative production of the potential ornamental and narrow endemic species *Verbascum yurtkuranianum* (Scrophulariaceae) for ex situ conservation. BioResources, 16(4), 7530.

Erken, K., Parlak, S., & Yılmaz, M. (2022). Endemik taksonların korunması ve tür koruma eylem planları. Ağaç ve Orman, 3(1), 33–46.

Eroğlu, V. (2016). *Jasione supina* alt türlerinin tozlaşma biyolojisi [Doktora Tezi]. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Esringü, A., & Toy, S. (2021). Kent iklimine çatı ve cephe bahçelerinin etkisi. Climate and Health Journal, 1(2), 97–103.

Feng, H., & Hewage, K. (2014). Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. Energy and buildings, 75, 281–289.

Gholami, P., Mokaberinejad, R., Hamzeloo-Moghadam, M., Heidarirad, G., Sadeghi, S., & Khodadoost, M. (2024). A review of “*Narcissus tazetta* L.” in traditional persian medicine and modern medicine. Traditional and Integrative Medicine, 219–226.

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built environment, 33(1), 115–133.

Güleryüz, G. (1998). Nitrogen mineralization in the soils of some grassland communities in the alpine region of Uludag in Bursa-Turkey. Turkish Journal of Botany, 22(2), 59–64.

Günel, N. (2013). Türkiye’de iklimin doğal bitki örtüsü üzerindeki etkileri. Acta Turcica, 1(5), 1–22.

- Irmak, M. A. (2013). Use of native woody plants in urban landscapes, *Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE)*, 1305–1309.
- Irmak, M. A., & Yılmaz, H. (2011). Determination of perception of flora tourism via questionnaire surveys. *Biological Diversity and Conservation. Biodicon*, 4(1), 99–106.
- Jarić, S., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2015). Review of ethnobotanical, phytochemical, and pharmacological study of *Thymus serpyllum* L. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015(1), 101978.
- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2006). Perception and attitude of residents toward urban green spaces in Guangzhou (China). *Environmental management*, 38, 338–349.
- Jo, H.-K., & McPherson, E. G. (2001). Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA. *Journal of Environmental Management*, 61(2), 165–177.
- Kaya, E. (2014). Türkiye geofitleri. Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü.
- Kaynak, G., Daşkın, R., & Yılmaz, Ö. (2005). Bursa bitkileri. T.C. Uludağ Üniversitesi, Kent Tarihi ve Araştırmaları Merkezi.
- Kılıçaslan, N., & Dönmez, S. (2016). Göller bölgesinde doğal olarak yetişen soğanlı bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Türkiye Ormancılık Dergisi, 17(1), 73–82.
- Koç, N., & Güneş, G. (1998). Çatı bahçelerinde bitkisel düzenleme esasları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(2), 625–633.
- Kurt-Celep, İ., Zengin, G., Sinan, K. I., Ak, G., Elbasan, F., Yıldızıtugay, E., Maggi, F., Caprioli, G., Angeloni, S., & Sharmeen, J. B. (2021). Comprehensive evaluation of two *Astragalus* species (*A. campylosema* and *A. hirsutus*) based on biological, toxicological properties and chemical profiling. *Food and Chemical Toxicology*, 154, 112330.
- Kuşçu Şimşek, Ç. (2016). Orta ölçekli parkların mikro iklimsel etki alanlarının araştırılması: Gezi parkı, Maçka parkı ve Serencebey parkı örneği. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), 1–17.
- Küçükerbaş, E., Özkan, B., Kaplan, A., & Aslan, N. B. (1997). Lipyra çimi (*Phyla nodiflora* L.) bitkisinin İzmir koşullarında optimum su gereksinimi ile basılmaya dayanımının saptanması üzerine araştırmalar. *Turkish Journal of Agriculture And Forestry*, 21, 469–474.
- Mamıkoğlu, N. G., & Ergüven, E. (2012). Türkiye'nin ağaçları ve çalıları. NTV yayınları.
- MGM, (2025). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim: 13.01.2025).
- Nemutlu, F. E., & Çelik, A. (2021). Bazı geofitlerin peyzaj mimarlığı tasarımlarında kullanım olanakları. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35(2), 377–387.
- Polat, R. (2020). Balıkesir florasının peyzaj açısından değerlendirilme olanakları. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(2), 134–145.
- Pyšek, P., & Richardson, D. M. (2010). Invasive species, environmental change and management, and health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 25–55.
- Rodrigues, F., Moreira, T., Pinto, D., Pimentel, F. B., Costa, A. S. G., Nunes, M. A., Albuquerque, T. G., Costaa, H. S., Palmeira-de-Oliveira, A., & Oliveira, A. I. (2018). The phytochemical and bioactivity profiles of wild *Calluna vulgaris* L. flowers. *Food Research International*, 111, 724–731.
- Saddiqe, Z., Naeem, I., & Maimoona, A. (2010). A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 131(3), 511–521.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703.
- Şeker, M., & Toplu, C. (2010). Determination and comparison of chemical characteristics of *Arbutus unedo* L. and *Arbutus andrachnae* L. (family Ericaceae) fruits. *Journal of Medicinal Food*, 13(4), 1013–1018.
- Şekercioğlu, Ç. H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö. E., Semiz, G., Tavşanoğlu, Ç., Yokeş, M. B., Soyumert, A., & Ipekdağ, K. (2011). Turkey's globally important biodiversity in crisis. *Biological Conservation*, 144(12), 2752–2769.

Şentürk, M., & Binzet, R. (2021). Mersin ilinin süs bitkisi potansiyeli taşıyan bazı monokotil endemik bitkileri. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 8(16), 68–78.

Todeschini, C. C., & Fett-Neto, A. G. (2025). Life at the top: extensive green roof plant species and their traits for urban use. *Plants*, 14(5), 735.

Tonyaloğlu, E. E. (2019). Kentleşmenin kentsel termal çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, efeler ve İncirliova (Aydın) örneği. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 1–13.

Toy, S., Çağlak, S., & Esringü, A. (2022). Assessment of bioclimatic sensitive spatial planning in a Turkish city, Eskisehir. *Atmosfera*, 35(4), 719–735.

TÜBİVES, (2024, Haziran 9). Türkiye bitkileri veri servisi.
<http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=210&name=16>

Tuttu, G., Aytaş, İ., & Dilaver, Z. (2019). Use opportunities of some natural herbaceous plants of Cankiri province in landscape applications. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(3), 136–147.

Tuzlacı, E. (2007). Dekoratif Türkiye bitkileri. Alfa Basım Yayım.

Yazıcı, C., Çiftçi, A., Mollman, R., Harpke, D., & Erol, O. (2024). Diversity of *Crocus gargaricus* sl: resolving longstanding debates and discovering a new species. *Plant Systematics and Evolution*, 310(4), 28.

Yener, S. H. (2007). *Alcea pallida* Waldst. Et kıt. ile *Hibiscus syriacus* L.'Nin (Malvaceae) biomonitor özellikleri [Yüksek lisans tezi]. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, Ö. (2009). Türkiye'deki *Linum* L. (Linaceae) türleri üzerinde taksonomik araştırmalar [Doktora tezi]. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Yılmaz, Ö., Kaynak, G., Daşkın, R., & Meriçlioğlu, A. (2011). *Dianthus goekayi* (Caryophyllaceae), a new species from Turkey. *Annales Botanici Fennici*, 48(1), 74–78.

Yücel, G., & Erken, K. (2022). Endemik *Phlomis russeliana* (Sims) Lag. Ex Benth.(Akbaşlı Çalba)'nın tohumla üretimi, süs bitkisi olarak kullanım potansiyelinin araştırılması ve ex situ korumaya alınması. *Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Adına Sahibi*, 96.

Yüzbaşıoğlu, İ. S. (2010). Türkiyedeki kardelen (*Galanthus* L.) taksonlarının revizyonu [Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



İHA Verileri ile Ağaç Parametrelerinin (Ağaç Boyu ve Tepe Tacı Genişliği) Belirlenmesi

Determination of Tree Parameters (Tree Height and Crown Width) with UAV Data

İnanç Taş^{1*} , Abdullah E. Akay¹ 

¹ Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 23/03/2025

Kabul Tarihi: 25/05/2025

Atıf:

Taş, İ., & Akay, A. E. (2025). İHA Verileri ile Ağaç Parametrelerinin (Ağaç Boyu ve Tepe Tacı Genişliği) Belirlenmesi. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 48-59.

*Sorumlu yazar: İnanç TAŞ

E-mail: inanc.tas@btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:
Ağaç parametreleri / Tree parameters
Ağaç boyu / Tree height
Tepe tacı genişliği / Crown width
İHA / UAV

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

İnsansız Hava Araçları (İHA) destekli uzaktan algılama verilerinin doğruluk düzeyindeki iyileşmelere paralel olarak ormancılık çalışmalarındaki kullanımı yaygınlaşmıştır. Son yıllarda İHA tabanlı üç boyutlu (3B) nokta bulutu verileri kullanarak tek ağaç parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, Bursa Teknik Üniversitesi (BTÜ) Mimar Sinan Kampüsü'ndeki fıstık çamı (*Pinus pinea*, L.) alanında, İHA verileri kullanılarak ağaç parametrelerinin (ağaç boyu ve tepe tacı genişliği) belirlenmesi amaçlanmıştır. Örnek sahadan alınan İHA görüntüleri üzerinde 3B nokta bulutu yöntemi kullanılarak ağaç boyu ve tepe tacı genişliği parametreleri elde edilmiştir. İHA tabanlı yöntemin başarısını değerlendirmek için klasik yersel ölçüm cihazları kullanılarak çalışma alanındaki ağaçların boy ve tepe tacı genişliği verileri elde edilmiştir. Çalışmada, yersel ölçümlerle ve İHA verileri ile belirlenen ağaç parametreleri arasındaki ilişkiler istatistiksel analizlerle incelenmiştir. Ayrıca, her iki yöntemle elde edilen ağaç parametreleri Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error-MSE) ve Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Squared Error-RMSE) yöntemleri ile karşılaştırılarak İHA tabanlı yöntemin etkinliği değerlendirilmiştir. Ağaç boyu için hata değerleri, MSE ve RMSE, sırasıyla 0,057 ve 0,427 olarak belirlenmiştir. Tepe tacı genişliği için ise hata değerleri sırasıyla 0,239 ve 0,653 bulunmuştur. Ağaç boyu ve tepe tacı genişliği parametreleri kendi arasında karşılaştırıldığında ağaç boyunun daha yüksek doğrulukla belirlendiği görülmüştür.

ABSTRACT

Parallel to the improvements in the accuracy level of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) supported remote sensing data, their use in forestry studies has become widespread. In recent years, stand parameters can be calculated using UAV-based three-dimensional (3D) point cloud data. In this study, it was aimed to determine tree parameters (tree height and crown width) using UAV data in the stone pine (*Pinus pinea*, L.) stand within the Bursa Technical University (BTU) Mimar Sinan Campus. Tree height and crown width parameters were obtained using the 3D point cloud method on UAV images taken from the study area. In order to evaluate the success of the UAV-based method, tree height and crown width data were obtained in the study area using classical ground measurement devices. In the study, the relationships between stand parameters determined by ground measurements and UAV data were examined by statistical analysis. In addition, the stand parameters obtained with both methods were compared with the Mean Squared Error (MSE) and Root Mean Squared Error (RMSE) methods to evaluate the effectiveness of the UAV-based method. The error values for tree height, MSE and RMSE, were determined as 0.057 and 0.427, respectively. The error values for crown width were found as 0.239 and 0.653, respectively. When the tree height and crown width parameters were compared with each other, it was seen that tree height was determined with higher accuracy.

1. Giriş

Dünyada teknolojik uygulamaların yoğunluğuna bağlı olarak İHA sistemlerinin kullanımı ve amaçları farklılık göstermektedir. Günümüzde, giderek daha karmaşık hale gelen sosyal, politik ve çevresel politikalar nedeniyle İHA'lar farklı uzaktan algılama verilerinin çok işlevli bir üretim aracına dönüşmüştür (Pajares, 2015).

İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), teknolojik gelişmelerle birlikte hem askeri hem de sivil alanlarda yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta askeri amaçlarla kullanılan bu araçlar, günümüzde çevre izleme, haritalama, afet yönetimi, tarımsal faaliyetlerin izlenmesi, trafik denetimi ve altyapı kontrolleri gibi birçok sivil alanda da etkin çözümler sunmaktadır (Elmeseiry vd., 2020). Özellikle tarımda bitki sağlığı izleme, sulama yönetimi ve verimlilik analizleri gibi uygulamalarda hassas veri sağlayan İHA'lar; ormancılıkta ise orman alanlarının denetimi, kaçak kesimlerin ve yapılaşmaların tespiti, orman yangınlarının erken uyarısı ve takibi gibi alanlarda önemli rol oynamaktadır (Giordan vd., 2020; Mohsan vd., 2022). Ayrıca afet yönetimi kapsamında arama-kurtarma faaliyetlerinde ve ulaşılması zor bölgelerde hızlı ve güvenli veri toplama imkânı sunarak klasik yöntemlere kıyasla daha ekonomik, güvenli ve zaman açısından verimli çözümler sağlamaktadırlar. Gelişmiş sensör sistemleri sayesinde geniş alanların yüksek çözünürlükte taranması ve verilerin gerçek zamanlı analiz edilmesi mümkün hale gelmiştir (Mohsan vd., 2022).

İHA tabanlı veriler kullanılarak yapılan araştırma ve inovasyon çalışmalarının hızı son zamanlarda daha da ivme kazanmıştır. İHA'lar yardımıyla elde edilen uygun maliyetli veriler hassas ormancılık uygulamalarında da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Ecke vd., 2022). Ayrıca, İHA'larla ilgili teknolojik gelişmeler, bu cihazların 3B verileri düşük maliyetle elde edebilen bir ölçüm aracı olarak araştırmacıların ilgisini çekmesine neden olmuştur (White vd., 2016).

Kabul edilebilir bir doğruluk düzeyinde veri üretimi için farklı tipte İHA platformları (sabit kanatlı veya çok rotorlu) ve lazer tabanlı sensörler (Light Detection and Ranging - LiDAR) gerekmektedir. İHA tabanlı ve SfM (Structure from Motion) destekli yöntemlerin kullanımı, bilimsel araştırma ve saha ölçümlerinde uygun maliyetli bir alternatif olarak hızla artmaktadır (Gülci, 2019).

İHA'ların ormancılıkta kullanımı, sağladığı yüksek mekansal çözünürlük, düşük operasyonel maliyet ve esnek veri toplama kapasitesi nedeniyle son yıllarda önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu teknolojiler, özellikle ulaşılması zor orman alanlarında RGB, multispektral ve LiDAR sensörler ile entegre edilerek hem yapısal hem de spektral verilerin etkin şekilde toplanmasını sağlamaktadır. Örneğin, multispektral kameralar bitki stresinin erken tespitinde kullanılırken, LiDAR sistemleri ağaç boyu ve biyokütle tahminlerinde kritik rol oynar. Ayrıca, İHA'lar geleneksel uydu ve uçak tabanlı yöntemlere kıyasla bulut örtüsü altında bile veri toplayabilme ve yüksek frekanslı izleme yapabilme avantajı sunar. Bu özellikler, orman sağlığı izleme, yangın sonrası hasar değerlendirme ve biyolojik çeşitlilik analizleri gibi çeşitli uygulamalarda İHA'ları vazgeçilmez kılmaktadır (Ecke vd., 2022).

İHA teknolojisindeki son ilerlemeler ve gelişmeler sonucunda İHA'ların özellikle fotogrametri amaçlı kullanımı ormancılıkta daha da yaygınlaşmıştır. İHA fotogrametrisinin kullanılması ormancılıkta çözülmesi gereken sorunlara farklı açılardan bakılmasını sağlayarak çok sayıda yöntem, uygulama, araştırma ve stratejinin geliştirilmesinin önünü açmıştır. İHA fotogrametrisi (gözlem, haritacılık ve 3 boyutlu modelleme) kullanılarak yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilen verilerin çeşitliliği, ormancılık araştırmalarını yeni boyutlara taşımıştır (Gülci vd., 2022).

Teknolojik gelişmeler sayesinde kullanıcı dostu fotoğraf işleme algoritmalarının geliştirilmesi ve uygun maliyetli sensörlerin üretilmesi ile de İHA'lar, ormancılıkla ilgili çeşitli verileri elde edebilen uygun maliyetli ölçüm aracı olarak araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Ormancılık alanında yürütülen İHA tabanlı çalışmalar beş ana grupta toplanabilir; Meşcere veya tek ağaç ölçümleri ve tahminleri (Yurtseven vd., 2019), Orman ağacı türlerinin sınıflandırılması ve haritalanması (Tomaščík vd., 2019), böcek zararı, orman yangını, çığ ve heyelan gibi biyotik veya abiyotik faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesi (Eker vd., 2018), Ekolojik çalışmalar (yaban hayatı, ormanlardaki boşluk oluşumları ve nehir kıyısı ekosistemleri) (Zhang vd., 2016) ve Orman yolu tasarımı ve kazı-dolduru hesaplamaları gibi yol inşaatı ile ilgili çalışmalar (Akgül vd., 2018; Ciritcioğlu ve Buğday, 2022; Kınalı ve Çalışkan, 2022; Hasegawa vd., 2023; Siafali ve Tsioras, 2024; Türk ve Canyurt, 2024). Kamera ve görüntü işleme programlarının maliyetinin düşmesiyle birlikte ormancılıkta İHA tabanlı ve SfM (Structure from Motion) destekli

yöntemler özellikle meşcere parametrelerinin belirlenmesinde yaygın hale gelmiştir (Dainelli vd., 2021).

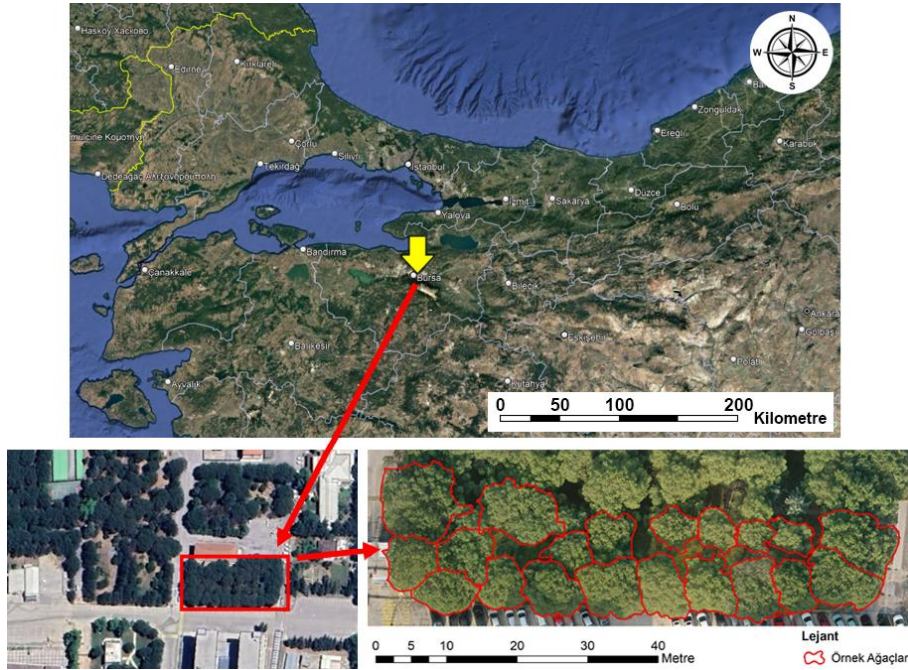
SfM yöntemi kullanılarak İHA ile alınan stereo çiftleri bir nokta bulutuna dönüştürülebilmektedir. İHA'ya monte edilen RGB kameralar ile alınan görüntüler SfM tabanlı algoritma ile çalışan çeşitli yazılımlarla (Photoscan, Pix4D, MicMac, CloudCompare) işlenerek, 2B veya 3B modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır (Lisein vd., 2013). Bu modelleri üretmek için İHA-SfM yöntemi dört aşamadan oluşmaktadır; Görüntü elde etme, yoğun bulut üretme, coğrafi referanslama ve üç boyutlu yoğun nokta bulutu üretme. Daha sonra, 3B yoğun nokta bulutları kullanılarak yüksek çözünürlüklü modeller (ortofoto, ağ, doku ve sayısal yükseklik modelleri) elde edilmektedir (Smith vd. 2015). Bu çalışmada, BTÜ Mimar Sinan Kampüsü'ndeki fıstık çamı (*Pinus pinea*, L.) alanında, İHA verilerine dayalı 3B nokta bulutu oluşturma yöntemi ile ağaç boyu ve tepe tacı genişliği belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sonuçlar daha sonra geleneksel yersel ölçüm yöntemlerinden elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

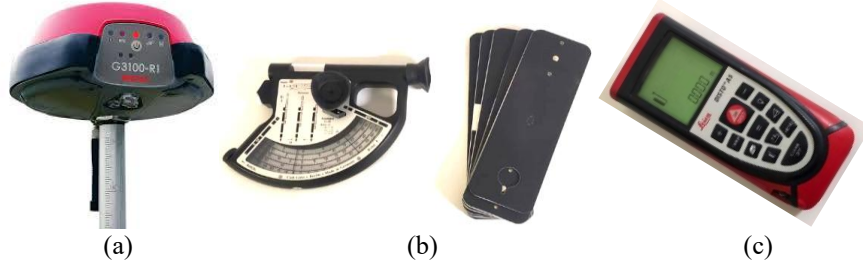
Çalışma, Bursa Teknik Üniversitesi Mimar Sinan Kampüsü yakınında fıstık çamı (*Pinus pinea*, L.) meşceresinde ($40^{\circ}11'24''$ Kuzey ve $29^{\circ} 7'47.30''$ Doğu) yürütülmüştür. Çalışma alanında toplam 20 adet ağaç dikkate alınmıştır (Şekil 1). Çalışmada 3B veriler, DJI Mavic 2 Pro model İHA kullanılarak üretilmiştir (Şekil 2). Yer kontrol noktalarının coğrafi konum bilgilerini belirlemek için Pentax G3100-R1 model GNSS-GPS cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). Ağaç parametrelerinin yersel ölçümlerle belirlenmesi aşamasında, Blume-Carl Leiss model hipsometre kullanılarak ağaç boyları ölçülmüştür. Uzunluk ve mesafe ölçümleri için ise Leica Disto A5 model lazer mesafe ölçer kullanılmıştır.



Şekil 1: Çalışma alanı.
Figure1: Study area.



Şekil 2: DJI Mavic 2 Pro model İHA.
Figure 2: DJI Mavic 2 Pro UAV.



Şekil 3: Ölçümlerde kullanılan cihazlar; a) Pentax G3100-R1 GNSS GPS, b) Blume-Carl Leiss model hipsometre, c) Leica Disto A5 lazer mesafe ölçer.

Figure 3: Devices used in the measurements: a) Pentax G3100-R1 GNSS GPS, b) Blume-Carl Leiss hypsometer, c) Leica Disto A5 laser distance meter.

2.2. Yöntem

2.2.1. Yersel ölçümler

Çalışmada, örnek alandan seçilen 20 ağacın, ağaç boyu ve tepe tacı genişliği geleneksel ölçüm teknikleri kullanılarak ölçülmüştür. Ağaç boyu ölçümleri için Blume-Leiss, çap ölçümleri için kumpas, uzunluk ve mesafe ölçümleri için ise lazer mesafe ölçer kullanılmıştır (Şekil 4). Sahada toplanan boy ve taç genişliği verileri veri kaydı formlarına kaydedilmiştir. Örnek ağaçlara numara verilmiş ve her ağaca ait ölçümleri (boy ve taç genişliği) ve koordinat bilgileri (WGS84 UTM Zone 35N) MsExcel sayfasına kaydedilmiştir.



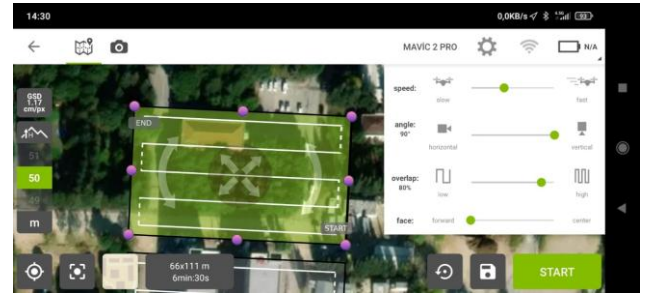
Şekil 4: Yersel ölçümlerden görüntüler.

Figure 4: Images from terrestrial measurements.

2.2.2. İHA görüntülerinin alınması

DJI Mavic 2 Pro model İHA ile fotogrametrik uçuşlar gerçekleştirilmiştir. İHA'da taşıyıcı platform üzerine gimbal ile monte edilen dijital kamera (CMOS sensörlü) 20 megapiksel çözünürlüğe sahiptir (DJI, 2024). Fotogrametrik uçuş planlaması ve görevi için Android tabanlı Pix4D Capture kullanılmıştır (Pix4D, 2024). Uçuş planında; yer üstü uçuş yüksekliği 50 m, uçuş alanı 66 m x 111 m, fotoğrafın ileri ve yan

bindirme oranları %80 ve lokal çözünürlük ise 1,17 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Uçuş tek ızgara uçuş planına göre gerçekleştirilmiştir. İHA ile elde edilen görüntülerden yüksek doğrulukta veri üretimi amacıyla uçuştan önce çalışma alanında toplam beş yer kontrol noktası (YKN) kurulmuştur. YKN'nın coğrafi konum bilgileri Pentax G3100-R1 model GNSS-GPS cihazı ile 50 cm hassasiyetle ölçülmüştür (Şekil 6).



Şekil 5: Uçuş planı arayüzü.

Figure 5: Flight mission interface.



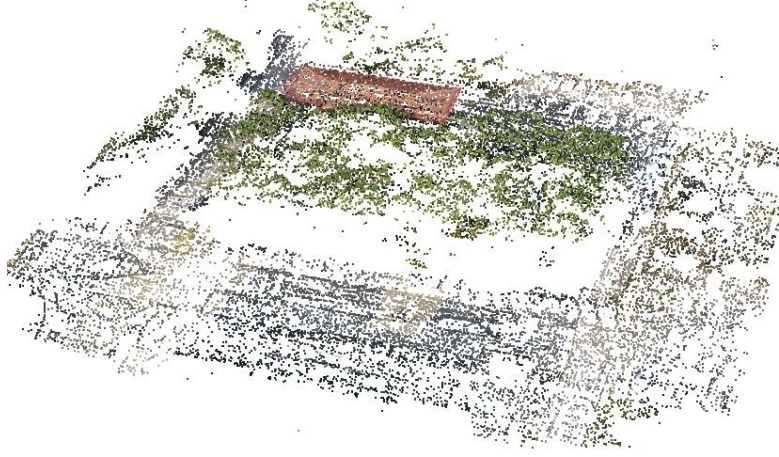
Şekil 6: Yer kontrol noktalarının koordinatlarının ölçülmesi.

Figure 6: Measurement of ground control point coordinates.

2.2.3. İHA ile sayısal modellerin üretilmesi

Çalışma alanından çekilen fotoğraflar (toplam 49 adet) Agisoft Metashape 1.8.3 (Petersburg, Rusya) yazılımı ile SfM yöntemine göre işlenmiştir. İlk olarak, çalışma alanının koordinat ve projeksiyon bilgileri (WGS84 UTM Zone 35N ve EPSG: 32635) girilmiştir. Çekilen fotoğraflar “Add Photos” aracılığıyla programa yüklenmiştir. “Convert”

butonu ile açılan “Convert Reference” penceresinde fotoğraflar üzerinde gerekli koordinat dönüşümü (WGS84 UTM Zone 35N) yapılmıştır. Daha sonra, “Workflow” menüsü altında “Align Photos” kullanılarak fotoğrafların hizalama işlemi yapılmıştır (Şekil 7). Fotoğrafların koordinatlarının dengelenmesi amacıyla YKN’nın koordinat bilgileri programa yüklenmiştir.



Şekil 7: Bağlantı noktaları görüntüsü.

Figure 7: Image of tie points.

Yer kontrol noktalarına göre kamera optimizasyonu gerçekleştirildikten sonra “Workflow” menüsü altında yer alan “Build Dense Cloud” aracılığıyla yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Bu işlem sırasında, kalite (quality) seviyesi olarak en yüksek seviye (ultra high) ve derinlik filtrelemesi (depth filtering) seviyesi olarak ise yine en yüksek seviye (aggressive) seçilmiştir. Nokta bulutunun oluşturulmasında bilgisayar performansı 38,5 dakika sürmüştür. En yüksek kalite seviyesi seçilerek gerçekleştirilen bu aşamada, 63574 m² çalışma alanı içerisinde toplam 598340338 adet 3B nokta oluşturulmuştur.

Yoğun nokta bulutu oluşturulduktan sonra yer yüzeyi, vejetasyon, binalar, yollar, araçlar vb. nesnelerin ayırt edilebilmesi için otomatik sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemi yaklaşık 23 dakika sürmüştür. Bu işlemin ardından SYM ve SAM üretimi için nokta bulutu hazır hale gelmiştir. SYM ve SAM üretildikten sonra ortomozaik üretilmiştir (Şekil 8). Bu işlem yaklaşık 7 dakika sürmüştür. Agisoft Metashape 1.8.3 programında son olarak nokta bulutu metin veri formatında kaydedilmiştir. Bir sonraki aşamada kullanılan CloudCompare 2.13.1 programına uygun veri formatı olması açısından “.las” (Lidar LASer) formatı tercih edilmiştir.



Şekil 8: Ortomozaik.

Figure 8: Orthomosaic.

2.2.4. Tepe tacı görüntüsünün üretilmesi

Bu aşamada tepe çatısı altında kalan orman diri örtüsünün nokta bulutundan elimine edilmesi için “Classification threshold” fonksiyonunda bir metre eşik yükseklik değeri kullanılmıştır. Böylece, eşik değerinin altındaki vejetasyon nokta bulutundan çıkarılmıştır. Tepe taçlarını bireysel olarak birbirlerinden ayırmak için CloudCompare 2.13.1 kullanılarak otomatik tepe tacı segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, “Plugins” menüsü altında “TreeIso” sekmesi seçilerek “Individual Tree Isolator” aracı kullanılmıştır. Böylece, çalışma alanındaki ağaçların tepe taçları bireysel olarak ayrıştırılmış ve tepe taçlarının daha net bir görüntüye sahip olduğu segmentasyon görüntüsü üretilmiştir.

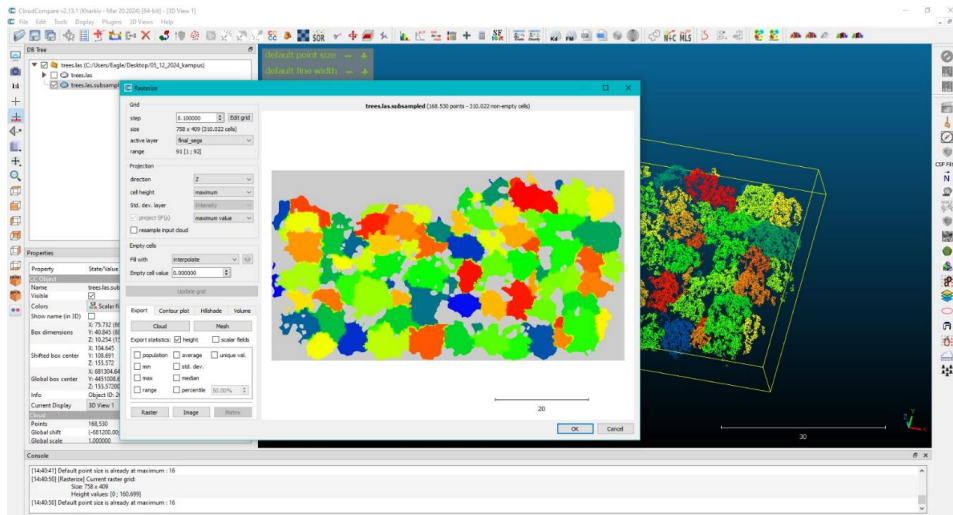
Son olarak, tepe tacı segmentasyonu görüntüsü, “Tools” menüsünde bulunan “Projection” sekmesindeki “Rasterize” aracı kullanılarak raster veri formatına (“tif”) dönüştürülmüştür. Bu işlem sırasında, “Active Layer” sekmesinde bir önceki

aşamada üretilen tepe tacı segmentasyon görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 9).

2.2.5. Ağaç boyu ve tepe tacı genişliği

CloudCompare kullanılarak üretilen tepe tacı raster görüntüsündeki gürültü etkisini düşürmek ve yüksek frekans bileşenlerini azaltmak amacıyla, ilk olarak ArcGIS 10.8 ortamında “Low pass” (alçak geçirgen) filtresi kullanılarak tepe tacı görüntüleri yumuşatılmıştır. Daha sonra, “Reclass” altında “Slice” aracı kullanılarak yumuşatılan görüntü sınıflandırılmıştır.

Sınıflandırılan tepe tacı raster görüntüsü vektör formatına dönüştürülerek tepe tacı poligonları üretilmiştir. “Coverage” ve “Editor” araçları kullanılarak bu hatalar giderilmiştir. Daha sonra, arazi çalışmaları sırasında ağaç parametreleri ölçülen toplam 20 örnek ağacın görüntüsü üzerinde çalışmak amacıyla, görüntüdeki diğer tepe tacı poligonları çıkarılmıştır (Şekil 10).



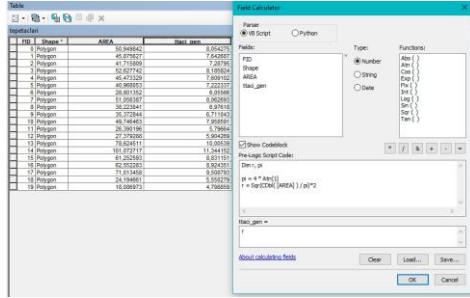
Şekil 9: CloudCompare’de nokta bulutundan üretilen tepe tacı raster görüntüsü.
Figure 9: Tree crowns raster image generated from the point cloud in CloudCompare.



Şekil 10: Örnek ağaçların tepe tacı poligonlarının seçilmesi.
Figure 10: Selection of tree crown polygons for sample trees.

Bu aşamada öncelikle “Raster Calculator (RC)” kullanılarak daha önce üretilen çalışma alanına ait SYM’den SAM çıkarılarak Kanopi Yükseklik Modeli (KYM) üretilmiştir. Daha sonra, tepe tacı poligonlarını ve KYM kesiştirilerek, örnek ağaçlar için tepe tacı yüksekliklerini gösteren KYM katmanı üretilmiştir. Her bir ağacın en yüksek noktasının belirlenebilmesi için Ters Havza Segmentasyonu (Inverse Watershed Segmentation - IWS) kullanılmıştır. Sonraki aşamada, her bir tepe tacı için lokal minimum yüksekliği belirlemek amacıyla öncelikle “Neighborhood” altında “Focal Flow” aracı kullanılmıştır. Son aşamada, en yüksek tepe noktalarının yükseklik verileri kullanılarak her bir ağaç için ağaç boyu belirlenmiştir.

Tepe tacı segmentasyonu veri katmanında tepe tacı alanı sütunu oluşturularak “Calculate Geometry” aracı ile her bir ağaç için tepe tacı alanı (m²) hesaplanmıştır. Daha sonra, ölçülen tepe tacı alanı daire olarak kabul edilerek, dairenin alanına bağlı olarak “Pre-Logic Script Code” penceresinde yazılan kodla tepe tacı genişliği (çapı) hesaplanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11: Tepe tacı genişliği hesabı.

Figure 11: Calculation of tree crown width.

Tablo 1: Yersel ölçümlerle elde edilen ağaç parametreleri.

Table 1: Stand parameters obtained from terrestrial measurements.

Ağaç No	Boy (m)	Tepe Tacı Genişliği (m)
1	13,50	11,24
2	13,70	7,11
3	13,10	7,36
4	13,10	6,12
5	12,40	10,24
6	12,80	8,40
7	12,10	7,10
8	12,60	8,22
9	11,90	6,62
10	12,50	9,25
11	11,30	5,92
12	12,70	8,15
13	12,50	6,35
14	12,60	7,89
15	11,80	5,30
16	13,00	6,42
17	12,50	8,60
18	12,40	6,43
19	14,10	9,22
20	13,60	8,12

2.2.6. İstatistiksel analizler ve doğruluk analizi

Örnek alan için arazide ölçülen ve İHA verileri ile belirlenen ağaç parametreleri (ağaç boyu, tepe tacı genişliği) arasındaki ilişkiler istatistiksel analizlerle incelenmiştir. İstatistiksel analizler SPSS 20 ve MsExcel programları kullanılmıştır. Analizlerde doğrusal ilişkilerin doğruluğunun analiz etmek için R² değeri hesaplanmıştır. Arazide ölçülen ve İHA verileri ile belirlenen ağaç parametreleri arasındaki ölçüm hatasını incelemek için MSE ve RMSE hesaplanmıştır (Denklem 1-2). Bu hesaplamalarda N örnek ağaç sayısını, y_i arazi ölçümlerini ve $\hat{y}_i$ ise İHA verileri ile belirlenen değerleri ifade etmektedir.

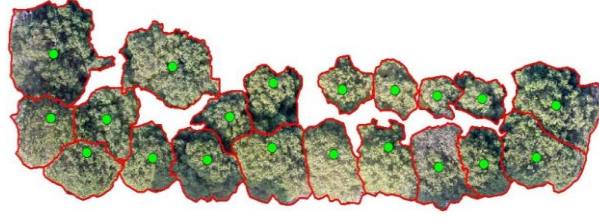
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yersel ölçüm bulguları

Çalışma alanındaki örnek ağaçların konumları Şekil 12’de verilmiştir. Örnek ağaçların ağaç parametreleri Tablo 1’de sunulmuştur. Ağaç parametrelerine ilişkin tanımlayıcı istatistik bulgular Tablo 2’de yer almaktadır. Sonuçlara göre, örnek alanda ortalama ağaç boyu ve tepe tacı genişliği sırasıyla 12,71 m ve 7,70 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 12: Çalışma alanındaki örnek ağaçların konumları.
Figure 12: Locations of sample trees in the study area.

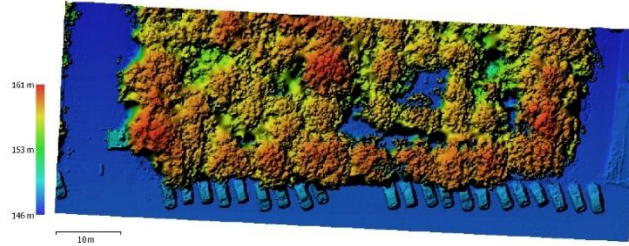
Tablo 2: Yersel ölçümlere dayalı ağaç parametrelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.
Table 2: Descriptive statistics of stand parameters based on terrestrial measurements.

	N	Aralık	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
Ağaç boyu	20	2,8	12,71	0,6851	0,46937	0,10774	0,06633
Tepe tacı	20	5,94	7,703	1,52471	2,32474	0,61436	0,07045

3.2. İHA görüntü analizi bulguları

Agisoft Metashape 1.8.3 programında İHA görüntüleri işlenerek oluşturulan nokta bulutu kullanılarak çalışma alanına ait SYM ve SAM üretilmiştir (Şekil 13 ve Şekil 14). SAM verilerine göre çalışma alanında ortalama yükseklik 146 m olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, nokta bulutu veri

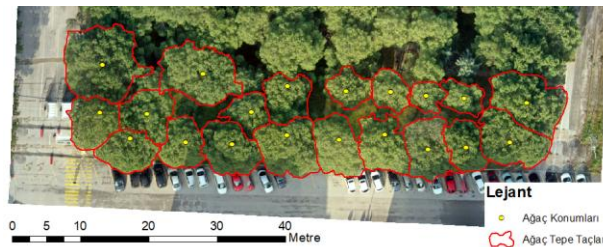
katmanı “.las” (Lidar LASer) formatında kaydedilmiştir. Daha sonra, “.las” formatında nokta bulutu CloudCompare 2.13.1 programında işlenerek çalışma alanındaki ağaçların tepe tacı görüntüsü üretilmiş ve ardında ArcGIS 10.8 ortamında gerekli işlemler yapılarak tepe tacı veri katmanı elde edilmiştir (Şekil 15). Bir sonraki aşamada SYM’den SAM çıkarılarak oluşturulan ve örnek ağaçların tepe tacını gösteren KYM Şekil 16’da verilmiştir.



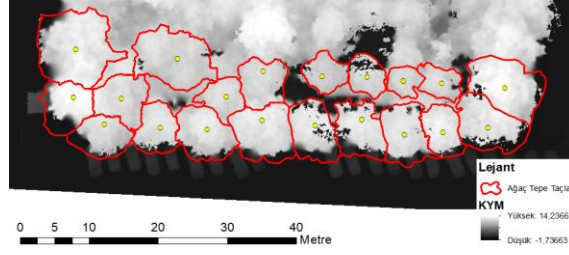
Şekil 13: Çalışma alanına ait SYM.
Figure 13: DSM of the study area.



Şekil 14: Çalışma alanına ait SAM.
Figure 14: DTM of the study area.



Şekil 15: Çalışma alanında ölçülen örnek ağaçların tepe tacı poligonları.
Figure 15: Tree crown polygons of the sample trees measured in the study area.



Şekil 16: Örnek ağaçların tepe tacını gösteren KYM.

Figure 16: CHM showing the tree crowns of the sample trees.

3.3. Tek ağaç parametreleri bulguları

İHA verilerine dayalı belirlenen ağaç parametreleri Tablo 3'te ve tanımlayıcı istatistik bulgular ise Tablo 4'te yer almaktadır. Sonuçlara göre, örnek alanda ortalama ağaç boyu ve tepe tacı genişliği sırasıyla 12,75 m ve 7,62 m olarak belirlenmiştir. Yersel ölçümlerle belirlenen ağaç boyu ve tepe tacı genişliği değerleri ile İHA verileri ile tespit edilen değerler

arasında iyi düzeyde doğrusal bir ilişki olduğu (R^2) belirlenmiştir (Ağaç boyu: 0,88, Tepe tacı genişliği: 0,83) (Şekil 17 ve Şekil 18). Benzer bir çalışmada Görnaz (2025), düşük diri örtü yoğunluğuna sahip bir fıstık çamı meşceresinde, yersel ölçümlerle ve İHA verileri ile belirlenen ağaç parametreleri karşılaştırıldığında, ağaç boyu ve tepe tacı genişliği için R^2 değerleri sırasıyla 0,84 ve 0,81 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3: İHA verileri ile elde edilen ağaç parametreleri.

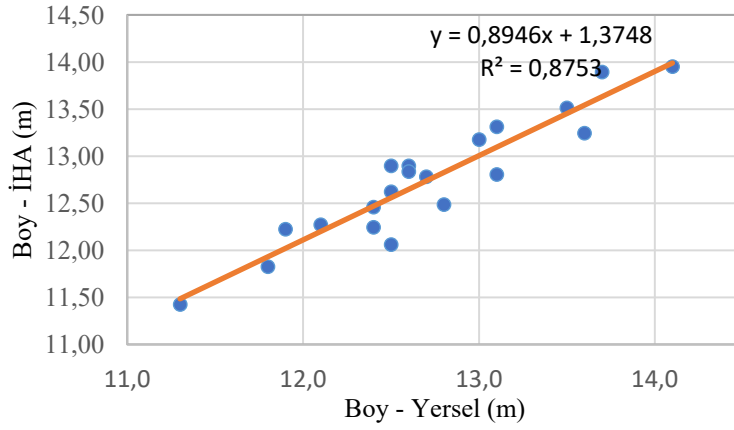
Table 3: Stand parameters obtained from UAV data.

Ağaç No	Boy (m)	Tepe Tacı Genişliği (m)
1	13,51	11,344
2	13,89	7,609
3	12,81	7,288
4	13,31	7,643
5	12,46	10,005
6	12,49	6,976
7	12,27	6,056
8	12,90	8,186
9	12,22	7,222
10	12,90	8,924
11	11,42	5,904
12	12,78	8,054
13	12,06	5,797
14	12,84	7,959
15	11,82	4,799
16	13,17	6,711
17	12,62	8,063
18	12,24	5,550
19	13,95	9,509
20	13,25	8,831

Tablo 4: İHA verilerine dayalı ağaç parametrelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.

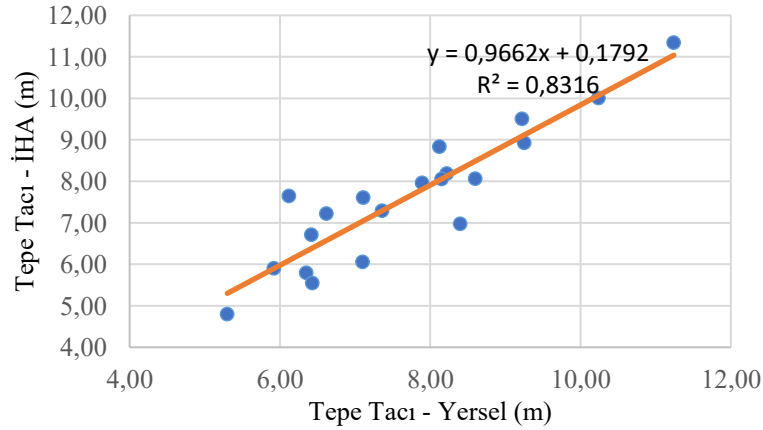
Table 4: Descriptive statistics of stand parameters based on UAV data.

	N	Aralık	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
Ağaç boyu	20	2,53	12,7455	0,65551	0,4297	0,04555	-0,1716
Tepe tacı	20	6,545	7,6215	1,61537	2,60941	0,39868	0,18208



Şekil 17: İki yöntemle elde edilen ağaç boyları arasındaki doğrusal ilişki.

Figure 17: Linear regression between tree heights obtained by the two methods.



Şekil 18: İki yöntemle elde edilen tepe tacı genişlikleri arasındaki doğrusal ilişki.

Figure 18: Linear regression between tree crown widths obtained by the two methods.

3.4. Doğruluk analizi bulguları

Yersel ölçümlerle ve İHA verileri ile belirlenen ağaç parametreleri arasındaki ölçüm hatası MSE ve RMSE hesaplanarak belirlenmiştir. Sonuçlar, İHA verileri ile belirlenen ağaç boyu ve tepe tacı genişliği parametrelerinin, yersel ölçümlerle karşılaştırıldığında, genel olarak kabul edilebilir doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir (Tablo 5). Ağaç boyu ve tepe tacı genişliği parametreleri kendi arasında karşılaştırıldığında ise ağaç boyunun daha yüksek doğrulukla belirlendiği görülmüştür. Gülci vd. (2021) tarafından yürütülen ve meşcere parametrelerinin İHA verileriyle tahmin edildiği bir çalışmada ağaç boyu tahmininde doğruluğun daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Vacca ve Vecchi (2024), benzer bir çalışmada İHA kullanarak ağaç boyu tahmini gerçekleştirmiş ve iki

farklı alanda ölçüm yapmışlardır. Birinci alanda, ortalama 5 m boya sahip zeytin ağaçlarında tahmin edilen boyların RMSE 0,37 m, ikinci alanda ise yaklaşık 0,7 m boyundaki fidanlar için RMSE değeri 0,67 m olarak bulunmuştur. Farklı bir çalışmada ise Nasiri vd. (2021), ortalama 31,1 m boyunda ve 11,53 m tepe tacı genişliğinde ağaçlardan elde ettikleri İHA verileriyle yaptıkları tahminlerde, ağaç boyu için 3,22 m ve tepe tacı genişliği için 0,81 m RMSE değerlerine ulaşmışlardır. Önceki çalışmalarla kıyaslandığında, bu çalışmada elde edilen RMSE değerlerinin genel olarak daha düşük olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, Nasiri vd. (2021) çalışmasından farklı olarak, bu çalışmada ağaç boyu için RMSE değeri daha düşük, ancak tepe tacı genişliği için daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 5: Yersel ölçümler ve İHA ile belirlenen parametreler arasındaki ölçüm hatası.

Table 5: Measurement error between parameters determined by terrestrial measurements and UAV.

	Ortalama Kare Hatası	Kök Ortalama Kare Hatası
Ağaç boyu	0,057	0,239
Tepe tacı genişliği	0,427	0,653

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, fıstık çamı sahasında yersel ölçümlere dayalı geleneksel yöntemler ve İHA tabanlı 3B nokta bulutu verileri kullanılarak ağaç parametreleri (ağaç boyu ve tepe tacı genişliği) belirlenmiştir. Elde edilen ağaç parametreleri MSE ve RMSE yöntemleri ile karşılaştırılarak İHA tabanlı yöntemin etkinliği değerlendirilmiştir.

Yersel ölçümlerle belirlenen ağaç boyu ve tepe tacı genişliği değerleri ile İHA verileri ile tespit edilen değerler arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Ağaç tepe tacı genişliğine ilişkin geliştirilen regresyon modellerinin %99 güven düzeyinde anlamlı ($p < 0,000$) olduğu belirlenmiştir. İHA verileri ile elde edilen boy değerlerinin yersel ölçümlerden daha yüksek, tepe tacında ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Ağaç boyu ve tepe tacı genişliği için MSE örnek alanda sırasıyla 0,057 ve 0,427 olarak belirlenmiştir. Ağaç boyu ve tepe tacı genişliği için RMSE sırasıyla 0,239 ve 0,653 olarak belirlenmiştir. Ağaç boyu ve tepe tacı genişliği parametreleri kendi arasında karşılaştırıldığında her iki örnek alanda da ağaç boyunun daha yüksek doğrulukla belirlendiği görülmüştür. Öte yandan daha önceki çalışmalar ile yapılan kıyaslamalara bakılarak ağaç boyu ve tepe tacı şeklinin tahmin sonuçlarını etkileyebileceği sonucuna varılmıştır.

İki yöntemden elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda, İHA verilerine dayalı yöntemin ağaç parametrelerinin ölçümünde etkili bir alternatif olacağı anlaşılmıştır. Ayrıca, ağaç parametrelerinin İHA verileri ile tahmin edilmesi zaman ve maliyet açısından avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, yersel ölçümlerde insan faktöründen kaynaklanan büyük hatalar İHA tabanlı ölçümlerde ortadan kaldırılacaktır.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Yazarların Katkıları: Konsept: İ.T., A.E.A.; Tasarım: İ.T., A.E.A.; Danışmanlık: A.E.A., İ.T.; Kaynaklar: A.E.A., İ.T.; Veri Toplama: İ.T., A.E.A.; Analiz: İ.T., A.E.A.; Literatür Taraması: A.E.A., İ.T.; Makale Yazımı: İ.T., A.E.A.; Eleştirel İnceleme: A.E.A., İ.T.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

Akgul, M., Yurtseven, H., Gulci, S., & Akay, A. E. (2018). Evaluation of UAV-and GNSS-based DEMs for earthwork volume. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 43(4), 1893–1909.

Ciritcioğlu, M. G., & Buğday, E. (2022). Assessment of unmanned aerial vehicle use opportunities in forest road project (Düzce sample). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 247–257.

Dainelli, R., Toscano, P., Di Gennaro, S. F., & Matese, A. (2021). Recent advances in unmanned aerial vehicle forest remote sensing—A systematic review. Part I: A general framework. *Forests*, 12, 327.

DJI. (2024, Nisan 5). Mavic 2 Pro specifications. <https://www.dji.com/global/support/product/mavic-2>

Ecke, S., Dempewolf, J., Frey, J., Schwaller, A., Endres, E., Klemmt, H.-J., Tiede, D., & Seifert, T. (2022). UAV-based forest health monitoring: A systematic review. *Remote Sensing*, 14(13), 3205.

Eker, R., Aydın, A., & Hübl, J. (2018). Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1), 28.

Elmeseiry, N., Alshaer, N., & Ismail, T. (2021). A detailed survey and future directions of unmanned aerial vehicles (UAVs) with potential applications. *Aerospace*, 8(12), 363.

Giordan, D., Adams, M. S., Aicardi, I., Alicandro, M., Allasia, P., Baldo, M., De Berardinis, P., Dominici, D., Godone, D., Hobbs, P., Lechner, V., Niedzielski, T., Piras, M., Rotilio, M., Salvini, R., Segor, V., Sotier, B., & Troilo, F. (2020). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 3437–3481.

Görnaz, G. (2025). İHA verileri kullanılarak meşçere parametrelerinin belirlenmesi [Yüksek lisans tezi], Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

- Gülci, S., Akay, A. E., Gülci, N., & Taş, İ. (2021). An assessment of conventional and drone-based measurements for tree attributes in timber volume estimation: A case study on stone pine plantation. *Ecological Informatics*, 63, 101303.
- Gülci, S. (2019). The determination of some stand parameters using SfM-based spatial 3D point cloud in forestry studies: an analysis of data production in pure coniferous young forest stands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 495. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7628-4>
- Gülci, S., Akay, A. E., Aricak, B., & Sariyildiz, T. (2022). Recent advances in UAV-based structure-from-motion photogrammetry for aboveground biomass and carbon storage estimations in forestry. In M. N. Suratman (Ed.), *Concepts and applications of remote sensing in forestry* (pp. 395–409). Springer Singapore.
- Hasegawa, H., Sujaswara, A. A., Kanemoto, T., & Tsubota, K. (2023). Possibilities of using UAV for estimating earthwork volumes during process of repairing a small-scale forest road, case study from Kyoto Prefecture, Japan. *Forests*, 14(4), 677.
- Kınalı, M., & Çalışkan, E. (2022). Use of unmanned aerial vehicles in forest road projects. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 530–541.
- Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., & Lejeune, P. (2013). A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery. *Forests*, 4, 922–944.
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H. (2022). Towards the unmanned aerial vehicles (UAVs): a comprehensive review. *Drones*, 6(6), 147.
- Nasiri, V., Darvishsefat, A. A., Arefi, H., Pierrot-Deseilligny, M., Namiranian, M., & Le Bris, A. (2021). Unmanned aerial vehicles (UAV)-based canopy height modeling under leaf-on and leaf-off conditions for determining tree height and crown diameter (case study: hyrcanian mixed forest). *Canadian Journal of Forest Research*, 51(7), 962–971.
- Pajares, G. (2015). Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 281–329.
- Pix4D. (2024, Nisan 5). Pix4D capture – drone mapping software. <https://pix4d.com>
- Siafali, E., & Tsioras, P. A. (2024). An innovative approach to surface deformation estimation in forest road and trail networks using unmanned aerial vehicle real-time kinematic-derived data for monitoring and maintenance. *Forests*, 15(1), 212.
- Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2015). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 40, 247–275.
- Tomašík, J., Mokroš, M., Surový, P., Grznárová, A., & Merganič, J. (2019). UAV RTK/PPK method—an optimal solution for mapping inaccessible forested areas? *Remote Sensing*, 11, 721. <https://doi.org/10.3390/rs11060721>
- Türk, Y., & Canyurt, H. (2024). Capabilities of using UAVs to determine forest road excavation volumes in mountainous areas. *Şumarski List*, 148(3–4), 137–150.
- Vacca, G., & Vecchi, E. (2024). UAV photogrammetric surveys for tree height estimation. *Drones*, 8(3), 106.
- White, J. C., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: a review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(5), 619–641. <https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1207484>
- Yurtseven, H., Akgul, M., Coban, S., & Gulci, S. (2019). Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV-based imagery and OBIA techniques. *Measurement*, 145, 651–664. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.092>
- Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., & Ye, W. (2016). Seeing the forest from drones: testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. *Biological Conservation*, 198, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.027>



Mobilya Sanayisinde Kullanılan Köpüklerin Önemi, Kullanım Alanları ve Özellikleri

The Importance, Applications, and Properties of Foams Used in the Furniture Industry

Turan Tugay^{1,2} , Muhammed Said Fidan^{3,4*}

¹ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü (LEE), Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

² Doğanlar Mobilya Grubu (Doğtaş Kelebek Mobilya San. Tic. A.Ş.), 17200, Çanakkale, Türkiye

³ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

⁴ Mobilya ve Ahşap Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310, Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 27/03/2025
Kabul Tarihi: 02/05/2025

Atıf:

Tugay, T. & Fidan, M., S. (2025). Mobilya Sanayisinde Kullanılan Köpüklerin Önemi, Kullanım Alanları ve Özellikleri. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 60-68.

*Sorumlu yazar: Muhammed Said Fidan
E-mail: said.fidan@btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Yoğunluk / Density
Yumuşak poliüretan köpük / Flexible polyurethane foam
Mobilya sanayisi / Furniture industry
Döşeme / Upholstery
Konfor / Comfort

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Mobilya sanayisinde köpük malzemelerin kullanımı; hafiflik, düşük maliyet ve daha az hammadde tüketimi gibi avantajları nedeniyle büyük bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, yüksek darbe dayanımı, artırılmış tokluk, gelişmiş termal kararlılık ile azalmış elektriksel ve ısı iletkenlik gibi üstün özellikleri sayesinde polimer esaslı köpük malzemelerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle esnek poliüretan köpükler, mobilya sektöründe vazgeçilmez bir hammadde haline gelmiştir. Mobilya tasarımında kullanılan köpük türleri; yoğunluk, sertlik ve esneklik gibi fiziksel özelliklerine göre değişiklik göstermekte ve farklı kullanım alanlarına uygun şekilde seçilmektedir. Farklı yoğunluk (dansite) seviyelerine sahip köpüklerin bulunabilirliği, mobilya üreticilerine daha ergonomik, dayanıklı ve konforlu ürünler geliştirme imkânı sunmaktadır. Buna ek olarak, modern poliüretan köpük teknolojileri, çevre dostu malzeme üretimine yönelik gelişmelerle desteklenmektedir. Bu çalışmada, mobilya sektöründe kullanılan köpüklerin önemi, kullanım alanları ve özellikleri detaylı bir şekilde ele alınarak sektördeki gelişmeler kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Özellikle, geri dönüştürülebilir köpük malzemelerin kullanımı ve sürdürülebilir üretim yöntemleri de incelenerek, gelecekteki potansiyel yenilikler tartışılmıştır.

ABSTRACT

The use of foam materials in the furniture industry is of great importance due to their advantages, such as lightness, low cost, and reduced raw material consumption. In addition, the utilization of polymer-based foam materials have been rapidly increasing owing to their favorable properties, such as high impact resistance, enhanced toughness, improved thermal stability, and reduced electrical and thermal conductivity. Among these, flexible polyurethane foams have become an indispensable raw material in the furniture industry. The types of foams used in furniture design vary depending on physical properties such as density, hardness, and flexibility, making them suitable for wide range of applications. The availability of foams with different density levels provides manufacturers with the opportunity to make their products more ergonomic, durable, and comfortable. Moreover, modern polyurethane foam technologies are supported by developments aimed at environmentally friendly material production. In this study, the importance, application areas, and properties of foams used in the furniture industry are examined in detail, and current developments in the sector are comprehensively evaluated. In particular, the utilization recyclable foam materials and sustainable production methods are also investigated, and potential future innovations are discussed.

1. Giriş

Mobilya, insanların yaşam alanlarını fonksiyonel ve estetik açıdan düzenlemelerine olanak sağlayan önemli unsurlardan biridir. Tarihsel süreçte farklı hammaddeler ile üretilen mobilyalar, teknolojik ilerlemeler ve tasarım yaklaşımındaki dönüşümler doğrultusunda değişimler geçirmiştir. Geleneksel ahşap, metal ve diğer doğal kaynaklı malzemelerle üretilen mobilyalar, günümüzde daha hafif, dayanıklı ve ekonomik malzemelerle desteklenmektedir. Özellikle poliüretan köpükler, mobilya sektöründe sağladıkları konfor, hafiflik ve maliyet avantajları ile öne çıkmaktadır (Szycher, 2012). Bu malzemeler, modern mobilya tasarımında hem ergonomik hem de estetik çözümler sunarak sektördeki yeniliklerin temel taşlarından biri haline gelmiştir (Ashida, 2007). Ayrıca, poliüretan köpüklerin mobilya sektöründeki geniş uygulama yelpazesi, endüstrinin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır (Randall & Lee, 2002).

Mobilya sektöründe kullanıcı odaklı tasarım anlayışı doğrultusunda, konfor ve ergonomi ön planda tutulmaktadır. Kullanıcıların rahatlığını artırmak amacıyla çeşitli döşeme teknikleri geliştirilmiş ve bu süreçte farklı dolgu malzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. Poliüretan köpük, bu malzemeler arasında en yaygın tercih edilenlerden biridir. Hafifliği, uzun ömürlü yapısı ve maliyet etkinliği sayesinde poliüretan köpük, mobilya sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Gelişen malzeme teknolojilerin etkiyle poliüretan köpükler, yalnızca konfor sağlamakla kalmayıp aynı zamanda darbe emicilik, ses ve ısı yalıtımı gibi ek fonksiyonel avantajlar da sunmaktadır. Mobilya tasarımında kullanılan köpük türleri, yoğunluk, sertlik ve esneklik gibi özelliklere göre çeşitlendirilmekte ve bu sayede farklı kullanım alanlarının gereksinimlerine uygun hale getirilmektedir. Bu çalışmada, mobilya sanayisinde kullanılan köpüklerin önemi, kullanım alanları ve özellikleri detaylı olarak ele alınacaktır.

2. Mobilya Sektöründe Kullanılan Köpüklerin Önemi, Uygulama ve Kullanım Alanları

Günlük yaşantımızdan da bildiği üzere, köpük malzemeler hayatımızda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sık sık kullandığımız birçok nihai ürünün ana malzemelerinden biri olmasının yanı sıra, doğrudan fark edemediğimiz birçok üründe de dolaylı olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2025). Mobilya

sektöründe kullanılan köpük malzemeler; konfor, dayanıklılık ve estetik açıdan büyük önem taşımaktadır. Aşağıda, bu köpük malzemelerin mobilya endüstrisindeki önemini açıklayan başlıca unsurlar sistematik bir şekilde verilmiştir.

2.1. Konfor ve ergonomi

Mobilya köpükleri, oturma grupları, yataklar ve koltuklar gibi döşemeli ürünlerde temel dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanıcının vücut yapısına uygun olarak ergonomik destek sunan bu malzemeler, farklı yoğunluk ve sertlik seçenekleriyle çeşitli konfor seviyeleri sunmaktadır. Polimer esaslı köpükler, özellikle mobilya ve yatak sektöründe ergonomiyi artıran temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu köpüklerin yoğunluk ve esneklik özelliklerinin kullanıcı konforunu doğrudan etkilediği görülmektedir (Lee & Ramesh, 2004).

2.2. Dayanıklılık ve uzun ömür

Kaliteli köpük malzemeler, uzun süreli kullanıma dayanıklıdır ve deformasyona uğramadan şeklini korur. Yüksek yoğunluklu köpükler, zamanla çökme yapmadan esnekliğini muhafaza eder. Su ve neme karşı dayanıklı türleri, küf ve bakteri oluşumunu önler. Czlonka vd. (2019), sert poliüretan köpüklerin geliştirilmiş mekanik özelliklerinin, mobilya uygulamalarında uzun ömürlülüğü ve dayanıklılığı artırdığını belirtmiş; bu tür köpüklerin yüksek yük taşıma kapasitesiyle öne çıktığını ifade etmiştir.

2.3. Estetik ve şekil verilebilirlik

Köpük malzemeler kolayca kesilip şekillendirilebildikleri için mobilya tasarımında biçimsel esneklik ve çeşitli tasarım olanakları sunar. Döşemelik kumaşlarla uyumlu olup şık ve modern tasarımlar elde etmeye yardımcı olur. Defonseka (2013), esnek poliüretan köpüklerin şekil verilebilirliğinin, mobilya üreticilerine yenilikçi ve estetik tasarımlar geliştirme konusunda geniş bir esneklik sağladığını ifade etmiştir.

2.4. Ses ve ısı yalıtımı

Özellikle yüksek yoğunluklu köpük malzemeler, ses ve ısı yalıtımı sağlayarak konforu artırır. Mobilyaların akustik özelliklerini iyileştirmede kullanılır. Gama vd. (2018), poliüretan köpüklerin mobilya uygulamalarında 500-4000 Hz frekans aralığında etkili ses yalıtımı sağladığını ve termal iletkenlik değerlerinin 0.03-0.04 W/mK arasında değişerek ısı yalıtımında üstün performans sergilediğini belirtmiştir. Bu özellikler, mobilyaların

hem konforunu hem de enerji verimliliğini artırmaktadır.

2.5. Farklı türde köpüklerin kullanımı

Farklı türdeki köpüklerin kullanımı aşağıda belirtilmiştir.

- Poliüretan köpük: En yaygın kullanılan türdür; ekonomik, hafif ve dayanıklıdır.
- Memory foam: Vücut şekline uyum sağlayarak ekstra konfor sunar, özellikle yataklarda tercih edilir.
- Lateks köpük: Doğal ve esnek yapısıyla sağlıklı bir alternatif sunar.
- HR (High Resilience) köpük: Yüksek esneklik ve konfor sağlayarak uzun ömürlü kullanım sunar.

2.6. Çevresel ve sağlık açısından önemi

Geri dönüştürülebilir ve çevre dostu köpük malzemeler sürdürülebilir üretime katkı sağlar. Antibakteriyel ve anti-alerjik özelliklere sahip olanlar, sağlık açısından daha güvenlidir. Zafar vd. (2020), sürdürülebilir poliüretan köpüklerin mobilya sektöründe geri dönüşüm oranını %30'a kadar artırabileceğini ve VOC (uçucu organik bileşik) emisyonlarını azaltarak iç mekân hava kalitesini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Kausar (2017), antibakteriyel özelliklere sahip köpüklerin alerji riskini azalttığını ve uzun vadeli sağlık güvenliği sunduğunu vurgulamıştır.

2.7. Uygulama alanları

Köpükler hafif, dayanıklı ve esnek yapıları sayesinde çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Mobilya sektöründe esnek poliüretan köpükler yaygın olarak döşemeli mobilyalarda kullanılırken, otomotiv, inşaat, ambalaj, yatak imalatı, elektronik sektörü gibi alanlarda da önemli bir rol oynamaktadır (Anonim, 2025a).

2.8. Farklı türde köpüklerin kullanımı

Mobilya sektöründeki köpükler koltuk kasaları, sırt yastıkları, oturma yastıkları, minderler, kırlentler, yataklar ve ayna kenarlarında kullanılmaktadır. Poliüretan köpükler, konfor ve dayanıklılık sağlayarak mobilya üretiminde vazgeçilmez malzemelerden biri olmuştur. Ayrıca, geri dönüştürülebilir yapıları sayesinde çevresel sürdürülebilirlik açısından da avantaj sağlamaktadır (Anonim, 2025b).

3. Köpükte Yoğunluk (Dansite)

Dansite, köpük yoğunluğunu ifade eden bir terimdir ve kaliteyi belirleyen temel unsurlardan biridir. Yüksek dansite, daha dayanıklı ve uzun ömürlü köpüklerin elde edilmesini sağlar. Karaağaç ve Şimşek (2018) yaptıkları çalışmada, poliüretan köpüklerin yoğunluğunun mekanik dayanıklılık ve uzun ömürlülük üzerindeki etkisini incelemiş ve yüksek dansiteli köpüklerin mobilya sektöründe daha üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur. Yoğunluk kalitesine göre köpüklerin sınıflandırılması ve mobilya ürünlerinde kullanım yeri aşağıda belirtilmiştir.

- 32 DNS: Yatak, koltuk ve minderlerde yaygın olarak kullanılır.
- 28 DNS: Alternatif olarak kullanılan kaliteli bir seçenektir.
- 24 DNS (Kuş Tüyü Köpük): Sırt minderleri ve yastıklar için uygundur.
- 22 DNS: Ekonomik seviye olup bebek yataklarında kullanılabilir.
- 17 DNS ve 15 DNS: Daha hafif uygulamalar ve tekstil sektöründe kullanılır (Anonim, 2025c).

4. Poliüretan

Poliüretan, plastik ailesine ait, esnek ve dayanıklı bir polimer türüdür. İlk kez 1937 yılında Alman kimyager Otto Bayer tarafından sentezlenmiştir. Üretimi, diizosiyanat ve polyol bileşenlerinin kimyasal reaksiyonu ile gerçekleşir. Günümüzde, daha büyük molekül ağırlıklı polioller kullanılarak poliüretanların esneklik ve dayanıklılığı artırılmıştır (Efsthiau, 2011).

4.1. Poliüretan köpük üretim bileşenleri

Poliüretan köpük, 3 ana bileşenden oluşur. Birincisi polyol olup, köpüğün temel yapısını oluşturan bir bileşendir. İkincisi izosiyanat, polyollerle reaksiyona girerek polimerleşmeyi sağlar. Üçüncüsü ise, su olup, izolasyon ve esneklik özelliklerini kazandırır (Defonseka, 2019). Oprea ve Vlad (2015) yaptıkları çalışmada, poliüretan köpük sentezinde bu bileşenlerin oranlarının, köpüğün fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilediğini ve mobilya sektöründe istenilen esneklik ile dayanıklılık dengesini sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, kimyasal reaksiyonu kontrol etmek ve köpüğün istenilen özelliklerde üretilmesini sağlamak için katalizörler, stabilizatörler ve yardımcı ajanlar kullanılır. Bazı köpüklerde alev geciktiriciler, boyalar ve diğer katkı maddeleri de eklenerek farklı özellikler

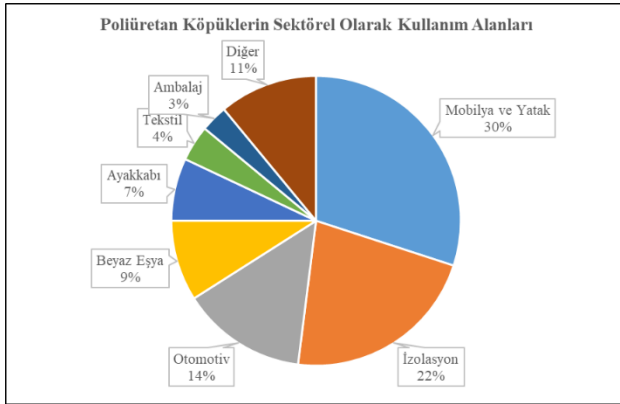
kazandırılabilir. Poliüretan köpükler üretildikten sonra 24-72 saat arasında değişen bir kürlenme (olgunlaşma) sürecinden geçerek son halini alır.

4.2. Poliüretan köpük kalitesi

Poliüretan köpüklerin kalitesi yoğunluk (dansite) ile belirlenir. Yüksek yoğunluk daha kaliteli ve dayanıklı köpüğü, düşük yoğunluk ise daha hızlı deformasyona uğrayan köpüğü ifade etmektedir. Sertlik, köpüğün kalitesini belirlemez. Yüksek kaliteli bir köpük yumuşak olabilirken, düşük kaliteli bir köpük sert olabilir. Kullanım süresi boyunca tüm köpükler sertlik kaybeder. Ancak kaliteli köpüklerde bu süreç daha yavaş ilerler. Renk, köpüğün performansını veya kalitesini etkilemez. Köpükler doğal olarak beyaz renklidir. Renkler, farklı kalite sınıflarını ayırt etmek için kullanılır (Anonim, 2025d).

4.3. Poliüretan kullanım alanları

Poliüretan, birçok endüstride kullanılan çok yönlü bir malzemedir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi, poliüretanın mobilya ve yatakta %30, izolasyonda %22, otomotivde %14, beyaz eşyada %9, ayakkabıda %7, tekstilde %4, ambalajda %3 ve diğer alanlarda %11 olmak üzere kullanım alanı ve yüzdesi bulunmaktadır.



Şekil 1: Polietilen (Köpük) kullanım alanları (Anonim, 2025d).

Figure 1: Polyethylene (Foam) usage areas (Anonymus, 2025d).

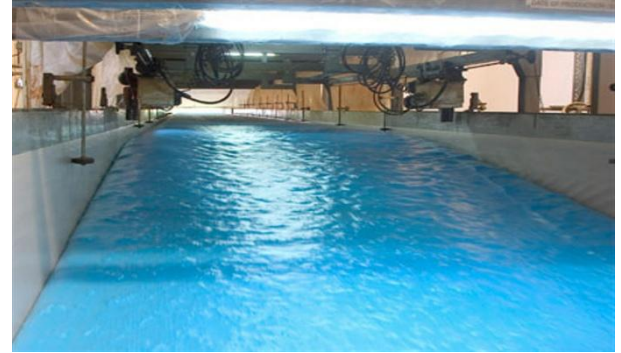
5. Mobilya Köpük Üretim Süreci

5.1 Kimyasal üretim

Esnek poliüretan köpük, polyol ve izosiyanat kimyasallarının reaksiyonu ile üretilir. Bu karışım, mikser içinde hızla birleşerek köpüğün genişlemesini sağlar. Bu süreç, hamurun kabarmasına benzetilebilir (Anonim, 2025e).

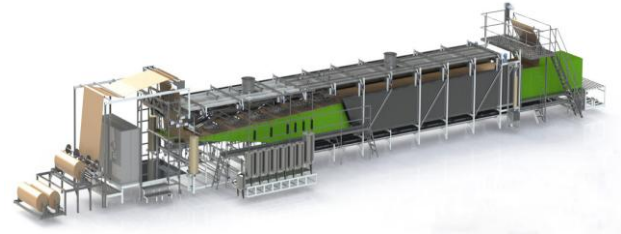
5.2. Slabstock köpük prosesi

Köpük üretimi iki yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntemler Slabstock yöntemi ve Laader Berg makine yöntemidir. Slabstock yöntemi Şekil 2'de görüldüğü gibi karışım hareketli bir konveyöre dökülerek genişler ve bloklar halinde kesilir. Bloklar 48 saat dinlendirilir, ardından istenilen forma getirilir (Anonim, 2025e). Laader berg makinesinde ise yüksek mikser hızı sayesinde homojen karışım elde edilerek yoğunluk farkı azaltılır. Şekil 3'de görüldüğü gibi, Laader Berg makinası ile 150-240 cm aralığından köpük üretilebilmektedir (Anonim, 2025e).



Şekil 2: Poliüretanın sürekli dökümü (Anonim, 2025e).

Figure 2: Continuous casting of polyurethane (Anonymus, 2025e).



Şekil 3: Laader Berg Makinası (Anonim, 2025e).

Figure 3: Laader Berg machine (Anonymus, 2025e).

Esnek poliüretan köpük, farklı sertlik ve konfor seviyelerinde üretilebilir. Destek yük taşıma kapasitesi, konfor kullanıcının rahat hissetmesi ve dayanıklılık ise uzun süre şeklini koruması olarak ifade edilen ve köpük malzemenin kalitesini belirleyen üç temel unsur bulunmaktadır.

Mobilyalarda, oturma yerlerinde destekli ve dayanıklı köpük, kol ve sırt bölgelerinde ise daha konforlu köpük kullanılır (Anonim, 2025e).

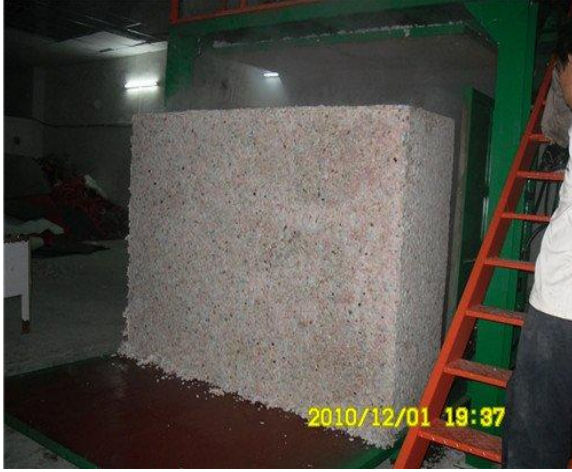
5.3. Granül köpük üretimi

Granül köpük, köpük artıklarının değerlendirilmesiyle üretilir. MDI ve prepolimer ile yapıştırılarak preslenir ve buharla sertleştirilir (Anonim, 2025f).

5.3.1. Üretim süreci

Şekil 4'te görüldüğü gibi, atık köpükler kırılarak küçük parçalar haline getirilir. Kimyasal karışım ile preslenerek sıkıştırılır. Nihayetinde, su buharı ile reaksiyon tamamlanır ve bloklar soğutulur.

Mobilya ve yatak üreticileri bu köpükleri takoz, kenar bordür ve dolgu malzemesi olarak kullanır. Geri dönüşüm firmaları da eski köpükleri toplayarak yeniden değerlendirir (Anonim, 2025f).



Şekil 4: Granül köpük üretimi (Anonim, 2025f).
Figure 4: Granulated foam production (Anonymus, 2025f).

6. Soğutma

Köpük blokları üretimden çıktıktan sonra kimyasal tepkimeler devam eder ve fazla TDI (Toluen Diizosiyanat) kimyasalını atmaya devam eder. Blokların merkezinde sıcaklık 140-160 °C arasında olabilir. Bu yüzden, köpükler kesilmeden önce uygun bir dinlendirme alanında soğutulmalıdır. Aksi takdirde; kesme makineleri zarar görebilir veya bloklar soğuduktan sonra küçülebileceği için yanlış ölçülerde kesilmiş olur dolayısıyla müşteriye hatalı ürün gönderilebilir.

6.1. Soğutma yöntemleri

6.1.1. Raf sistemleri

Şekil 5'te görüldüğü gibi, büyük ölçekli üreticilerde köpük blokları, shuttle adı verilen otomatik taşıma sistemleriyle raf sistemlerine yerleştirilir ve burada 24 saat boyunca soğutulur (Anonim, 2025g).

- Standart bloklar: Genellikle 14 metre uzunluğunda köpükler kullanılır ve raflar buna uygun tasarlanır.
- Uzun bloklar: Bazı üreticiler 32,5 metre uzunluğunda bloklar üretmektedir. Ancak

uzun blok kullanımı, köpük içinde hata olup olmadığının geç fark edilmesine neden olabilir.

- Kısa bloklarda (14 metre), hatalar erken tespit edilerek kimyasal bileşenler hızla ayarlanabilir.
- Uzun bloklarda ise hata kesim sonrasında fark edilir ve bu durumda geç kalınmış olabilir.



Şekil 5: Soğutma alanında köpük raf sistemleri (Anonim, 2025g).

Figure 5: Foam shelving systems in the cooling area (Anonymus, 2025g).

Sonuç olarak, soğutma süreci köpük üretiminin önemli bir aşamasıdır. Doğru yönetilmediğinde hem makinelerin zarar görmesine hem de hatalı ürünlerin müşterilere ulaşmasına neden olabilir (Anonim, 2025g).

7. Köpük Kesim Makineleri

Köpük üretiminde, soğutma alanlarından gelen kürlenmiş köpükler öncelikle istenen ölçülerde kesilir ve farklı kesme makinelerine yönlendirilir. Yatay kesme makineleri, dikey kesme makineleri ve rulo köpük kesme makineleri köpük üretim prosesinde kullanılan temel kesme makineleridir. Şekil 6'da farklı tipte köpük kesim makinelerinin görselleri verilmiştir.



Şekil 6: Köpük kesim makinelerine ait görseller (a: yatay kesim makinesi, b: rulo köpük kesim makinesi, c: tabaka köpük kesim makinesi, d: looper tip köpük kesim makinesi, e: dikey kesim makinesi) (Anonim, 2025h).

Figure 6: Images of foam cutting machines (a: horizontal cutting machine, b: roll foam cutting machine, c: sheet foam cutting machine, d: looper type foam cutting machine, e: vertical cutting machine) (Anonymus, 2025h).

7.1. Soğutma yöntemleri

Yatay kesme makineleri, köpük üreticileri için en önemli makinelerden biridir ve sektörde "karosel" olarak bilinir. Döner tabla üzerine yerleştirilen köpük blokları, sürekli dönen bıçaklar aracılığıyla kesilir. Vakum sistemi, blokların sabit kalmasını sağlar ve kesim kalitesini artırır. Bu makineler 8 saatte yaklaşık 280 metreküp köpük kesebilir.

7.2. Dikey kesme makineleri

Dikey kesme makineleri manuel ve otomatik olmak üzere ikiye ayrılır; manuel dikey kesim makineleri, köpük atıklarını değerlendirme ve kenarları düzeltme işlerinde kullanılır. Günlük kapasitesi 80 metreküp köpüktür. Otomatik dikey kesim makineleri ise daha büyük parçaları eşit ölçülerde kesmek için kullanılır. 8 saat içinde 150-160 metreküp köpük kesebilmektedir.

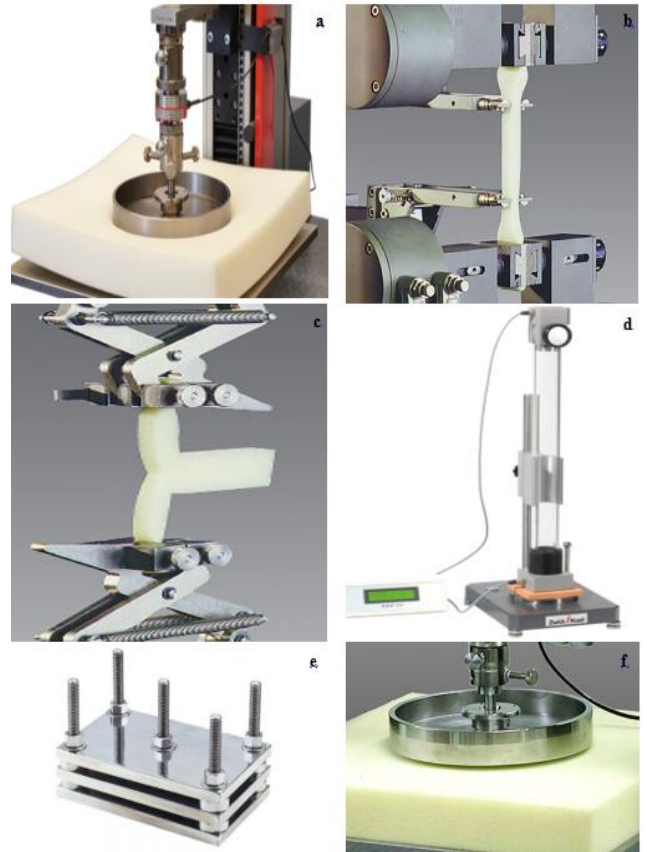
7.3. Rulo köpük kesme makineleri

Rulo köpük kesme makineleri köpükleri rulo haline getirmek için kullanılır. Bu makineler üç çeşittir; birincisi basit soyma tipi köpük kesme makinesidir. Köpüğün ortasına mil geçirilerek döndürülerek soyulur. Küçük üreticiler için uygundur. İkinci olarak tabaka kesim tipi köpük kesim makineleridir. Köpük bloğu katmanlar halinde kesilir, operatör ruloya sarar. 8 saatte 120-130 metreküp köpük kesebilir. Üçüncüsü ise, looper tipi köpük kesim makineleridir. Köpük blokları birbirine yapıştırılarak oval hale getirilir ve soyularak rulo yapılır. Looper tipi köpük kesme

makineleri en verimli yöntemi sunar. Bu makineler 300 metreküp köpük kesebilir (Anonim, 2025h). Bu makineler köpük işleme süreçlerinde önemli bir rol oynar ve üretim kapasitesine göre tercih edilmektedir.

8. Kalite Kontrol

Mobilya sektöründe kalite kontrol, üretim süreçlerinin her aşamasında ürünlerin belirlenen standartlara uygun olup olmadığını denetlemek için yapılan sistematik işlemler bütünüdür. Kalite kontrol, müşteri memnuniyetini artırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve uzun ömürlü, dayanıklı ürünler sunmak için kritik bir rol oynar (Anonim, 2025i). Mobilya köpükler üretiminde kullanılan testlerin görselleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Mobilya köpük üretiminde kullanılan testlere ait görseller (a: sertlik, b: çekme (kopma), c: yırtılma, d: elastikiyet, e: kalıcı deformasyon, f: dinamik yorulma) (Anonim, 2025i).

Figure 7: Images of tests used in furniture foam production (a: hardness, b: tensile, c: tear, d: elasticity, e: permanent deformation, f: fatigue) (Anonymus, 2025i).

8.1. Yoğunluk (ISO-845, 2006)

Yoğunluk, köpüğün birim hacimdeki kütlesini ifade eder ve kg/m^3 cinsinden ölçülür. Yüksek yoğunluklu köpükler daha dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Ancak

maliyetleri daha yüksektir. Düşük yoğunluklu köpükler ise hafif ve ekonomiktir, ama dayanıklılıkları daha azdır. Bu nedenle, köpüğün kullanım amacına uygun yoğunlukta seçilmesi, konfor ve uzun ömür açısından önemlidir.

8.2. Sertlik (ISO-3386-1, 2025)

Sertlik, köpüğün yük taşıma kapasitesini belirler. Köpük numunesi, %25, %40 ve %65 oranında sıkıştırılarak gerekli kuvvet ölçülür. Kullanım amacına göre farklı sertliklerde köpük üretmek mümkündür. Ancak sertlik, köpüğün kalitesini veya dayanıklılığını belirlemez. Önemli olan, köpüğün kullanım amacına uygun olup olmadığıdır. Yumuşak köpükler konfor için, orta sertlikte köpükler dengeli destek için ve sert köpükler ise yüksek yük taşıma için tercih edilmektedir.

8.3. Çekme (kopma) (ISO-1798, 2008)

Çekme mukavemeti, bir malzemenin kopmadan önce dayanabileceği en büyük kuvvettir. Test numuneleri, standartlara uygun şekilde özel kalıplarla kesilir. Çekme testi, numunenin her iki ucunun test makinesine sıkıştırılarak eşit kuvvetle çekilmesiyle yapılır. Ayrıca, numunenin maksimum uzama miktarı ve kopma uzaması yüzdesi de hesaplanır.

8.4. Yırtılma (ISO-8067, 2018)

Yırtılma mukavemeti, köpüğün yırtılmaya karşı direncidir. Test, numunenin cihazda tutuculara sıkıştırılıp çekilmesiyle yapılır. Bu özellik, köpüğün zımbalanması, dikilmesi veya tutturulması gereken yerlerde önemlidir.

8.5. Kalıcı deformasyon (ISO-1856, 2008)

Köpük, belirli bir yük ve sıcaklık altında belirli bir süre bekletildikten sonra, yük kaldırılarak kalınlık kaybı ölçülür. Bu kalıcı deformasyon değeri, köpüğün zamanla ne kadar çökeceğini ve yük kaldırıldığında orijinal formuna ne kadar dönebildiğini gösterir.

8.6. Dinamik yorulma (ISO-3385, 2014)

Dinamik yorulma testinde, köpüğe ortalama insan ağırlığını temsil eden 75 kg (750 N) kuvvetle belirli sayıda (8000 veya 80000) basınç uygulanır. Test sonunda köpüğün kalınlık ve sertlik kaybı ölçülerek yüzde olarak ifade edilir. Bu veriler, köpüğün uzun süreli kullanımda ne kadar dayanıklı olduğunu ve ömrünü değerlendirmeye yardımcı olur.

8.7. Gözenek sayısı

Köpüklerin morfolojisini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmaktadır. Analizden önce numuneler altınla kaplanmaktadır. Köpüklerin kesitlerinin görüntüleri incelenmektedir. Daha sonra ise, ortalama hücre çapı büyüklüğü belirlenmektedir.

8.8. Yanma (UL-94, 2001)

Belirli bir süre alev kaynağına tutulan köpük, alev kaynağından uzaklaştırıldıktan sonra, alevin köpük üzerinde birim zamanda ne kadar ilerlediği ölçülür.

8.9. Isı iletkenlik katsayısı (ASTM C518, 2017)

Esnek poliüretan köpüklerin ısı iletkenlik katsayısı, sıcaklıkları sabit tutulan iki plaka arasında yerleştirilen numune üzerinden geçen ısı akışının ölçülmesiyle, yani korunmuş sıcak plaka yöntemiyle belirlenir. Numune iki plaka arasında sıkıştırılmadan yerleştirilir ve sistem termal dengeye ulaştığında, numunenin kalınlığı, yüzey alanı, plaka sıcaklık farkı ve geçen ısı miktarı kullanılarak ısı iletkenlik katsayısı hesaplanır. Bu yöntem, numunenin homojenliği ve düzgün yüzey özellikleri esas alınarak hassas ölçüm yapılmasını sağlar.

9. Sonuç

Mobilya sanayisinde kullanılan poliüretan köpükler, konfor, dayanıklılık, ergonomi ve estetik açısından vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Farklı yoğunluk ve sertlik seviyelerinde üretilerek geniş kullanım alanları sunan bu köpükler, hem mobilya sektöründe hem de diğer endüstriyel alanlarda büyük bir öneme sahiptir. Yapılan incelemeler göstermektedir ki, sürdürülebilir üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımının yaygınlaştırılması, poliüretan köpüklerin çevresel etkisini minimize etmede kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, yeni nesil köpük teknolojileri sayesinde ses ve ısı yalıtımı, antibakteriyel özellikler ve yangına dayanıklılık gibi ek avantajlar sağlanarak mobilya üretiminde inovatif çözümler geliştirilmektedir.

Kalite kontrol süreçleri, köpüklerin dayanıklılığı, konforu ve güvenliğini garanti altına almak açısından büyük önem taşımaktadır. Yoğunluk, sertlik, elastikiyet ve deformasyon gibi testler sayesinde, kullanım ömrü uzun ve yüksek performanslı köpükler üretilmektedir. Sonuç olarak, mobilya sektöründe köpük kullanımı, teknolojik ilerlemeler ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar sayesinde gelecekte de önemini artırarak devam edecektir.

Üreticiler hem ekonomik hem de çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak yeni nesil poliüretan köpük çözümlerine yönelmelidir.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Yazarların Katkıları: Konsept: M.S.F., Tasarım: M.S.F.; Danışmanlık: T.T., M.S.F.; Kaynaklar: T.T.; Veri Toplama: T.T.; Analiz: M.S.F.; Literatür Taraması: T.T.; Makale Yazımı: T.F, M.S.F.; Eleştirel İnceleme: M.S.F.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

Anonim. (2025, Şubat 10). Sünger üretiminde yapılan işlemler. <https://endustriyelkesim.com/sunger-uretimi/>

Anonim. (2025a, Şubat 10) Sünger üretimi. <https://puyolkimya.com/urun-1-ozel-kesim-sungerler.html>

Anonim. (2025b, Şubat 10). Sünger çeşitleri ve kullanım alanları. https://endustriyelkesim.com/sunger-cesitleri-ve-kullanim-alanlari/#Sunger_Secimi_ve_Uygulama_Alanlarinin_Genisligi

Anonim, (2025c, Şubat 10). Sünger dansite. <https://www.marmarakoltuk.com/dosemelik-sunger/>

Anonim. (2025d, Şubat 10). Poliüretan hakkında. <https://www.marfom.com/poliuretan-hakkinda/>

Anonim. (2025e, Şubat 10). Kimyasal üretim. <https://www.birliksunger.com/sayfa.php?kat=4>

Anonim. (2025f, Şubat 10). Sünger döküm sistemleri. <http://www.sungerdokum.com/uretIm.html>

Anonim. (2025g, Şubat 10). Sünger döküm sistemleri. <http://www.sungerdokum.com/sogutma.html>

Anonim. (2025h, Şubat 10). Sünger döküm sistemleri.

<http://www.sungerdokum.com/kesIm.html>

Anonim. (2025i, Şubat 10). Kalite kontrol. <https://www.marfom.com/kalite-kontrol/>

Ashida, K. (2007). Polyurethane foams: properties and applications in furniture design. Progress in Polymer Science, 32(8-9), 1047–1076.

ASTM C518. (2017). Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus. ASTM International.

Członka, S., Strakowska, A., & Strzelec, K. (2019). Rigid polyurethane foams with improved mechanical properties for furniture applications. Journal of Materials Science, 54(12), 8952–8966.

Defonseka, C. (2013). Practical guide to flexible polyurethane foams in furniture manufacturing. Journal of Applied Polymer Science, 130(2), 987–995.

Defonseka, C. (2019). Two-component polyurethane systems: innovative processing methods. De Gruyter.

Efstathiou, K. (2011). Synthesis and characterization of a polyurethane prepolymer for the development of a novel acrylate-based polymer foam. Budapest University of Technology and Economics (BME), 1–57.

Gama, N. V., Silva, R., & Soares, B. (2018). Polyurethane foams for acoustic and thermal insulation in furniture applications. Polymers, 10(9), 1013.

ISO-845. (2006). Test standardı yöntemi. Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent density. Third edition.

ISO-1798. (2008). Test standardı yöntemi. Flexible cellular polymeric materials, Determination of tear strength. Fourth edition.

ISO-1856. (2008). Test standardı yöntemi. Flexible cellular polymeric materials, Determination of compression set. Fourth edition.

ISO-3385. (2014). Test standardı yöntemi. Flexible cellular polymeric materials, Determination of fatigue by constant-load pounding. Fourth edition.

ISO-3386-1. (2025). Test standardı yöntemi. Polymeric materials, cellular flexible. Determination of stress-strain characteristic in compression. Low-density materials (British Standard).

ISO-8067. (2018). Test standardı yöntemi. Flexible cellular polymeric materials, Determination of tear strength. Third edition.

Karaağaç, B., & Şimşek, B. (2018). Poliüretan köpüklerin mobilya endüstrisindeki kullanımı ve mekanik özellikleri üzerine bir inceleme. *Journal of Polytechnic*, 21(3), 645–652.

Kausar, A. (2017). Polyurethane foams for furniture: advances in health safety and environmental sustainability. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(12), 1295–1308.

Lee, S. T., & Ramesh, N. S. (2004). Polymeric foams: technology and developments in furniture and

bedding applications. *Polymer Engineering & Science*, 44(10), 1835–1845.

Oprea, S., & Vlad, S. (2015). Polyurethane foams for furniture: synthesis and properties. *Materials Science Forum*, 827, 215–220.

Randall, D., & Lee, S. (2002). The polyurethanes book: applications in furniture and beyond. *Polymer Reviews*, 42(3), 355–375.

Szycher, M. (2012). Advances in polyurethane foam technology for furniture applications. *Journal of Cellular Plastics*, 48(5), 389–410.

UL-94, (2001). Tests for flammability of plastic materials for partscin devices and appliances.

Zafar, U., Hare, C., & Mohamed, M. (2020). Sustainable polyurethane foams for furniture: environmental and health impacts. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122047.



Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Ahşap Malzemelerin Boyutsal Stabilitesi

Dimensional Stability of Heat-Treated Wood Materials

Vahit Eşener¹ , Eylem Dizman Tomak^{2*} 

¹ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü (LEE), Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

² Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 6/04/2025
Kabul Tarihi: 5/05/2025

Atıf:

Eşener, V., & Dizman Tomak, E. (2025). Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Ahşap Malzemelerin Boyutsal Stabilitesi. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 69-75.

*Sorumlu yazar: Eylem Dizman Tomak
E-mail: eylem.dizman@btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Ahşap / Wood
Boyutsal stabilizasyon / Dimensional stabilization
Isıl işlem / Heat treatment
Odun modifikasyonu / Wood modification
Su alma oranı / Water uptake

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Ahşabın boyutsal kararlılığı ve nem içeriği, onun nihai kullanımını etkileyen önemli fiziksel özelliklerdendir. Bu çalışmada, meşe (*Quercus* spp.), sarı kavak (*Dalbergia decipularis*), ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum), iroko (*Milicia excelsa*), dişbudak (*Fraxinus* spp.) ve çam (*Pinus sylvestris*) türlerine ait keresteler endüstriyel bir ısıtma tesisinde 212°C'de termal modifikasyona tabi tutulmuştur. Termal modifiyeli ve termal modifiyesiz (kontrol) kerestelerden 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kesilmiştir. Her grup için 10 adet örnek kullanılmıştır. Tam kuru ağırlık ve boyutları belirlenen örnekler, daha sonra suyun içerisinde 5 gün boyunca bekletilmiş ve süre sonunda tekrar tam kuru ağırlık ve boyutları alınmıştır. Bu döngü 2 kez tekrarlanmıştır. Deneyde örneklerin su alma oranı (%), su itici etkinliği (%), hacimsel genişleme katsayısı (%) ve boyutsal stabilitesi (%) hesaplanmıştır. Sonuç olarak, termal modifiyeli örneklerde kontrollerine kıyasla en az su alma oranı meşe ve ayous odununda görülmüştür. Su itici etkinlik açısından, çam ve sarı kavak örneklerde ısıtmanın etkisi diğer odun türlerine kıyasla daha düşük tespit edilmiştir. Hacimsel genişleme katsayısı ise, ısıtılmış dişbudak, çam, sarı kavak ve nispeten meşede, kontrollerine kıyasla önemli ölçüde düşük bulunmuştur. Test edilen 6 tür arasında en düşük boyutsal stabilite iroko odununda tespit edilmiştir.

ABSTRACT

The moisture content and dimensional stability of wood are crucial physical properties that influence its end-use performance. In this study, oak (*Quercus* spp.), tulip (*Dalbergia decipularis*), ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum), iroko (*Milicia excelsa*), ash (*Fraxinus* spp.) and pine (*Pinus sylvestris*) timbers were subjected to thermal modification at 212°C in an industrial heat treatment factory. Samples with dimensions of 20x20x30 mm were cut from both thermally modified and unmodified (control) timbers. Ten samples were used for each sample group. After measuring the oven-dry weight and dimensions of the specimens initially determined, then they were immersed in water for 5 days, and the oven-dry weight and dimensions were measured again at the end of this period. This cycle was repeated 2 times. In the experiment, the water uptake rate (%), water-repellent efficiency (%), volumetric swelling coefficient (%), and dimensional stability (%) of the specimens were calculated. As a result, the lowest water uptake rate among the thermally modified samples compared to their controls was observed in oak and ayous wood. In terms of water-repellent efficiency, the effect of heat treatment was found to be lower in pine and tulip samples compared to other wood species. The volumetric swelling coefficient was found to be significantly lower in heat-treated ash, pine, tulip, and oak compared to their controls. Among the 6 species tested, the lowest dimensional stability was found in iroko wood.

1. Giriş

Odunun ısıya tabi tutularak korunması çok eski zamandan beri kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde herhangi bir koruyucu kimyasal kullanılmadığından çevre dostu bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Isıl işlem 160-220°C arasındaki sıcaklıkta ve farklı gaz ortamlarında gerçekleştirilir ve bu aşamada hemiselüloz ve lignin degradasyonu gerçekleşir (Kocaefe vd., 2015). Termal modifikasyon odunun boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığını artırarak odunun higroskopisitesini ve ıslanabilirliğini azaltılmaktadır (Hill, 2006; Kocaefe vd., 2008; Esteves & Pereira, 2009). İşlemin başarısı, odun türünden, ortamda kullanılan gaz, sıcaklığa, süreye vb. birçok değişkene bağlıdır. Ahşabın ısıl işlemini konu alan çalışmalar neticesinde, Finlandiya’da Thermowood®, Hollanda’da PLATO®, Almanya’da Menz Holz OHT® gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Danimarka’da WTT ve IWT (Molrup) gibi basınçlı kapalı koşullarda odunun ısıl işlemi, İtalya’da Termovuoto ve Almanya’da Timura gibi vakum altında odunun ısıl işlemi gibi yeni teknolojiler geliştirilmiş ve pazara sunulmuştur. Son yıllarda çeşitli Avrupa ülkelerinde ve Kuzey Amerika’da ısıl işlem tesisleri kurulmuş ve bu tesisler ısıl işlem görmüş ahşabın Oleobois, Retiwood, BMT ve Bois Perdu gibi farklı ticari isimler altında üretimine ve ticarileştirilmesine öncülük etmiştir (Gérardin, 2016).

Ülkemizde kullanılan ısıl işlem yöntemi Thermowood®’dur. Bu yöntem, üç ana aşamadan oluşur. İlk aşamada, odun ısı ve buhar kullanılarak yüksek bir sıcaklıkta kurutulur. Fırın sıcaklığı hızla 100 °C’ye çıkarılır, ardından daha yavaş bir sıcaklık artışıyla 130 °C’ye çıkar ve odun nem içeriğinin sıfıra yakın bir seviyeye düşmesi sağlanır. Bundan sonra, fırın sıcaklığı 2 veya 3 saat boyunca 185 ila 215 °C arasındaki sıcaklıklara çıkarılır. Son aşama, odun nem içeriğini %4 ila %7 arasına getirmek için soğutma ve nemlendirme ile ilgilidir. Bu, çatlak oluşumunu önler ve termohidroliz reaksiyonlarını başlatır (Gérardin, 2016; Thermowood El Kitabı, 2021). Thermowood®, Thermo-S ve Thermo-D olmak üzere 2 ana başlıkta incelenir. Thermo-S’de, ısıl işlemin uygulama sıcaklığı 185°C’dir. Thermo-S sağlamlık/kararlılık anlamına gelmektedir. Thermo-S sınıfı ahşap malzeme, zarar sınıfı (Hazard Class) 3 sınıfına kadar dirençlidir. Thermo-S sınıfında ahşap malzemenin kullanım alanları yumuşak ahşaplar için yapı malzemeleri, kuru mekan zemin, cephe döşemeleri, kuru mekan sabit eşyalar, mobilya, bahçe mobilyası, sauna oturma yerleri ve kapı ve pencere doğramaları iken sert ahşaplar için döşemeler, sabit

eşyalar, mobilya, yer kaplamaları, sauna ve bahçe mobilyalarıdır. Thermo-D işlemi ise ısıl işlem uygulanan ahşap malzemenin 212°C’de işlem göresinden oluşmaktadır. Thermo-D dayanıklılığı belirlemektedir. Bu sınıftaki ahşap malzemeler biyolojik dayanıklılık sağlamaktadır. Thermo-D sınıfındaki ahşapların kullanım alanları yumuşak ahşaplar için dış cephe kaplaması, dış mekân zemin, duvar kaplama, pencere panjurları, park ve bahçe mobilyaları, sauna ve banyo elamanları, yer kaplamaları, iskele/güverte ve bahçe elemanları iken sert ahşaplar için döşemeler, sabit eşyalar, mobilya, yer kaplamaları, sauna ve bahçe mobilyalarıdır. Isıl işlem görmüş ahşap malzeme için daha koyu renk tercih ediliyorsa, Thermo-D kullanılmalıdır (Thermowood El Kitabı, 2021).

Isıl işlemli odunun su alma ve boyutsal stabilitesini bir diğer deyişle daralmayı önleyici etkinliğini (ASE) konu alan birçok çalışma yapılmıştır. Meşe ve kayın (Aydemir vd., 2019), ayous ve iroko (İcel & Beram, 2017; Tomak & Ermeşyan, 2025), sapele, iroko ve limba (Korkut, 2012), kavak (Orhan & Bal, 2022), yalancı akasya, kızılğaç, ardıc ve kiraz (Kesik vd., 2014) çalışılan bazı ağaç türü odunlarından. Çalışmaların sonuçları ısıl işlem uygulamasındaki sıcaklık süre, gaz gibi parametreler ile ağaç türlerine ve boyutsal stabilite belirleme yöntemlerine göre değişiklikler göstermektedir. Termal modifikasyonda artan boyut stabilizasyonunun sebepleri literatürde şöyle belirtilmiştir. (1) hücre çeperi içinde hacim arttırıcı maddelerin varlığı, (2) OH- gruplarının uzaklaştırılması, (3) hücre çeper polimerleri içinde çapraz bağlanmanın artması ve (4) polimer ağıının hareketliliğindeki değişikliklerdir (Hill vd., 2021).

Bu çalışmada, ülkemizde endüstriyel olarak ısıl işleme tabi tutulan 6 farklı odun türü (çam, dişbudak, iroko, ayous, sarı kavak ve meşe) örneklerinin boyutsal stabilitesinin belirlenmesi ve bu odun türlerinin birbirilerine kıyasla performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, endüstriyel bir tesiste ısıl işleme tabi tutulan kerestelerden odun örnekleri kesilmiş ve ardından 2 döngülü ıslatma-kurutma aşamalarından oluşan boyutsal stabilite belirleme testine tabi tutulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada altı farklı ağaç türünden elde edilen keresteler kullanılmıştır. Bu türler, meşe (*Quercus* spp.), sarı kavak (*Dalbergia decipularis*), ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum), iroko (*Milicia excelsa*), dişbudak (*Fraxinus* spp.) ve çamdır (*Pinus sylvestris*). Keresteler, ülkemizde endüstriyel olarak faaliyet gösteren bir ısıtma işlem fabrikasından (Novawood, Gerede, Bolu) temin edilmiştir. Her ağaç türüne ait ısıtma işlem görmemiş fakat endüstriyel fırınlarında kurutulmuş keresteler (kontrol grubu) ile Thermo-D (212°C ısıtma işlem görmüş kereste) örnekleri kullanılmıştır. Örneklerin hazırlanma aşamasında kalınlıkları 20 mm olarak ayarlanmıştır. Ardından 20 mm genişliklerine kesilen odun örnekleri 30 mm uzunluğuna getirilmiştir. Her grup için 10 adet örnek kullanılmıştır. Hazırlanan örnekler arasında iç çatlak oluşumu gözlenen malzemeler ayrılmıştır. 20x20x30 mm (R, T, L) boyutlarında hazırlanan örneklerin ölçüm zamanlarında aynı yerden ölçümünün alınması için teğet yönleri işaretlenmiştir. Düzensiz lif yönü, budak, çatlak vb. kusurlu örnekler deneye tabi tutulmamıştır.

2.2. Yöntem

Deneyde, örneklerin su alma oranı (%), su itici etkinliği (%), hacimsel genişleme katsayısı (%) ve boyutsal stabilitesi (%) hesaplanmıştır. Deney, Tomak ve Ermeýdan (2025) tarafından rapor edilen suda bekletme ve kurutma döngülerinden oluşan teste göre yürütülmüştür. Ölçümler aşamasında, kumpas ve hassas terazi kullanılmıştır. Etüvde 103°C'de 1 gün bekletilen örneklerin başlangıçtaki tam kuru ağırlık ve boyutları alınmış ardından 5 gün boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler sudan çıkarılmış, ağırlık ve boyutları alındıktan sonra tekrar etüvde tam kuru hale getirilmiş, tam kuru

ağırlık ve boyutları ölçülmüştür. Bu döngü toplam iki kez tekrarlanmıştır. Grafiklerde gösterilen bir numara (SAO1, SİE1, HG1, ASE1), birinci döngü sonunda elde edilen verileri, iki numara (SAO2, SİE2, HG2, ASE2), ikinci döngü sonrasında elde edilen verileri göstermektedir. Örneklerin su alma oranı (SAO, %), su itici etkinliği (SİE, %), hacimsel genişleme katsayısı (HG, %) ve boyutsal stabilitesi (ASE, %) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SAO (\%) = \left[\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$SİE (\%) = \left[\frac{SAO_{um} - SAO_m}{SAO_{um}} \right] \times 100 \quad (2)$$

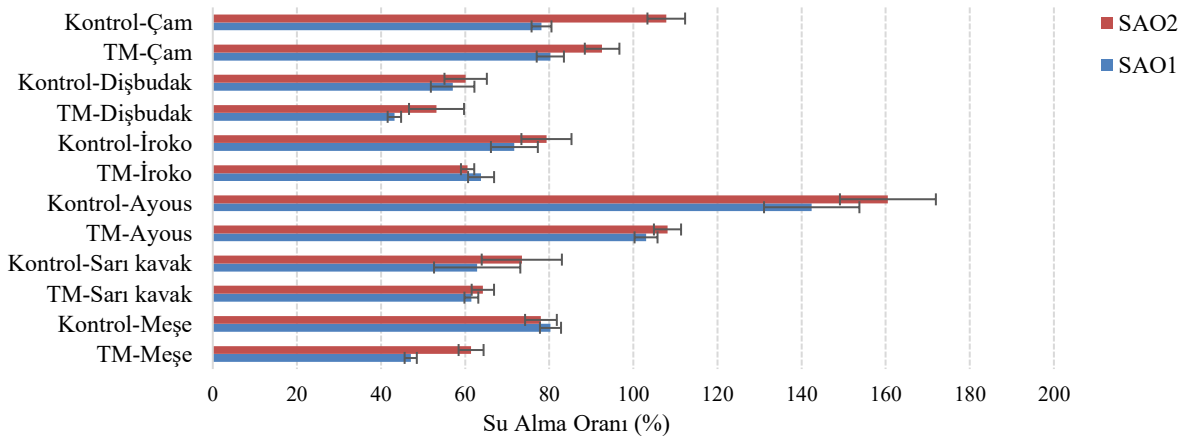
$$HG (\%) = \left[\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right] \times 100 \quad (3)$$

$$ASE (\%) = \left[\frac{VS_{um} - VS_m}{VS_{um}} \right] \times 100 \quad (4)$$

Burada, W_2 = her suya batırma döngüsünde ıslak ağırlık; W_1 = başlangıçtaki tam kuru ağırlık; SAO_{um} = kontrol örneklerinin su alma oranı; SAO_m = modifiye örneklerin su alma oranı; V_2 = her suya batırma sonrasında örneklerin şişmiş haldeki hacmi; V_1 = başlangıçtaki tam kuru hacim; VS_{um} = kontrol örneklerinin hacimsel genişleme katsayısı; VS_m = modifiye örneklerin hacimsel genişleme katsayısıdır.

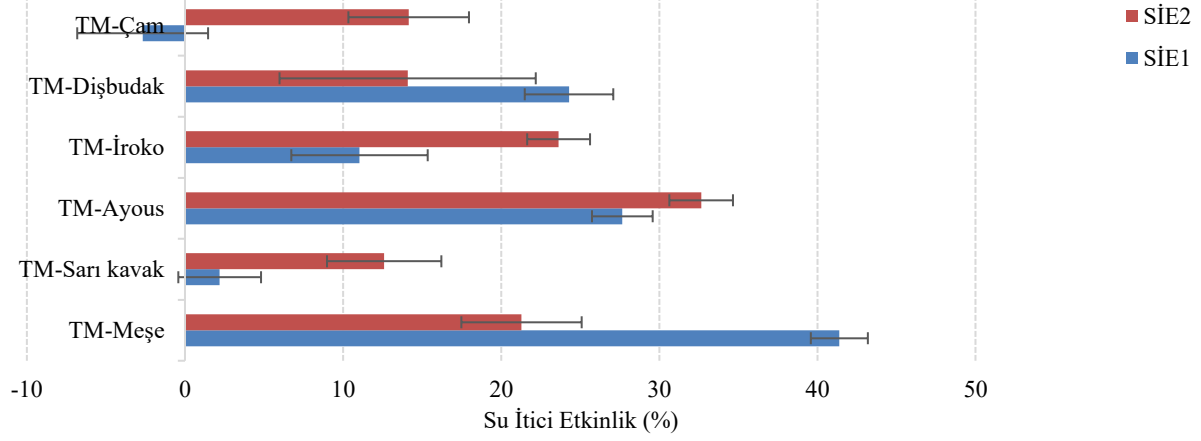
3. Bulgular

Yapılan ölçümlerin ardından örneklerin birbirlerine kıyasla su alma oranı ve su itici etkinlik değerleri (%) Şekil 1 ve 2'de, hacimsel şişme katsayısı ile boyutsal stabilite değerleri Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir. Deney esnasında bazı örneklerin enine kesitlerinde ıslatma-kurutma döngüsüne bağlı olarak çatlaklar görülmüştür. Meşe odun örneklerindeki bir çatlak görüntüsü Şekil 5'de verilmiştir.



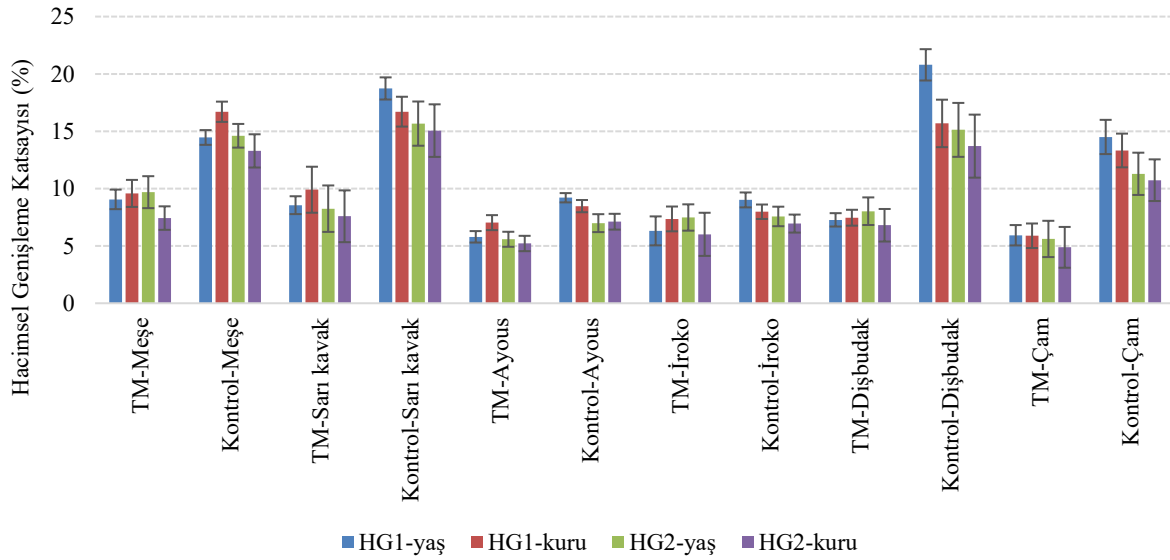
Şekil 1: Örneklerin su alma oranı değerleri (%).

Figure 1: Values of water absorption of the specimens (%).



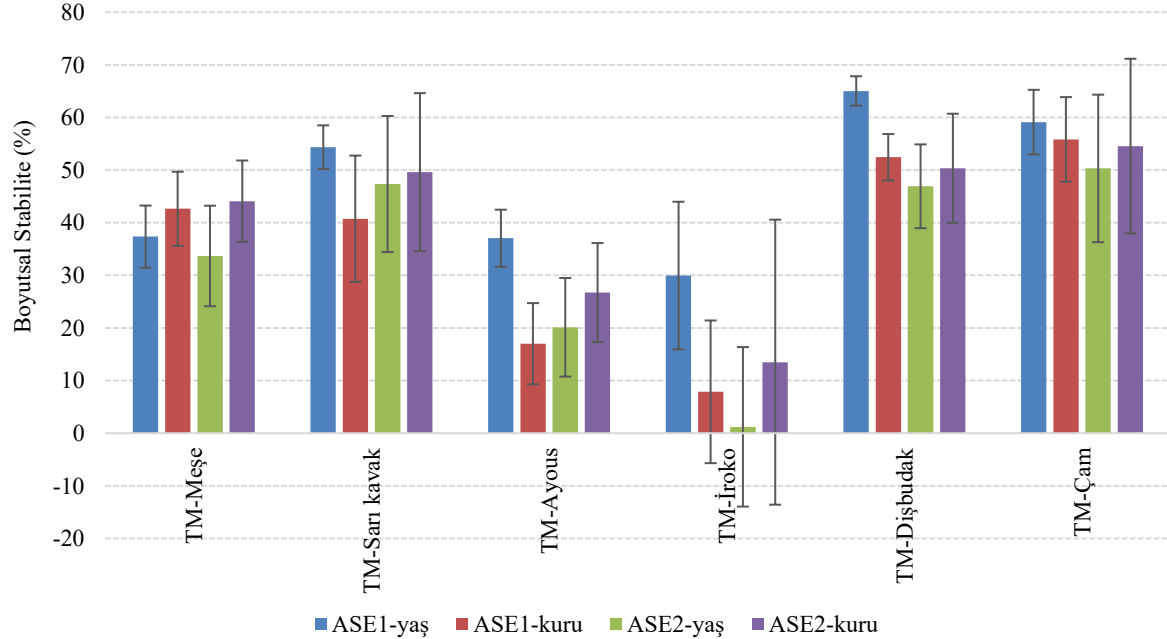
Şekil 2: Örneklerin su itici etkinlik değerleri (%).

Figure 2: Values of water repellent efficiency of the specimens (%).



Şekil 3: Örneklerin hacimsel genişleme katsayısı değerleri (%).

Figure 3: Values of volumetric swelling coefficient of the specimens (%).



Şekil 4: Örneklerin boyutsal stabilite değerleri (%).

Figure 4: Values of dimensional stability of specimens (%).



Şekil 5: Meşe örneği üzerinde meydana gelen çatlaklar.

Figure 5: Cracks developed on the oak specimen.

4. Tartışma ve Sonuç

Şekil 1’de verilen su alma oranı değerlerinden görüleceği üzere, su içerisinde bekletme süresi arttıkça su alma oranı değerleri artış göstermiştir. Örnekler içinde en fazla su alma oranı ısıtma işlemi tabi tutulmamış (kontrol) ayous odununda, ardından, kontrol çam odununda görülmüştür. Bu örnekler diğer türlere kıyasla nispeten daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan suyun gireceği daha fazla boşluk alanı olabilir. Ayous odununun iroko odunundan daha fazla su alması Tomak ve Ermeydan (2025) tarafından da rapor edilmiştir. Yüksek yoğunluklu ağaç türleri, düşük yoğunluklu ağaç türlerine göre orantılı olarak daha fazla hücre çeperine ve daha az boşluğa sahiptir (Dias vd., 2019). Isıtma işlemi tüm gruplar, kontrol örneklerinden daha az su alma oranına sahiptir. Isıtma işlemi örneklerin, kontrol örneklerine kıyasla su alma oranındaki % azalma oranı olarak da ifade edilebilen su itici etkinlik değerleri 2 döngünün ortalama değeri açısından en yüksek meşede ardından ayous örneklerde tespit edilmiş, bunları dişbudak ve iroko takip etmiştir. En düşük ortalama su itici etkinlik, çam ve sarı kavak örneklerde bulunmuştur. Isıtma işlemi çam, iroko, ayous ve sarı kavak örneklerde 2. döngüdeki su itici etkinlik, 1. döngü sonundaki su itici etkinliktan daha yüksek bulunurken, ısıtma işlemi meşe ve dişbudak örneklerde bunun tam tersi bir sonuç elde edilmiştir (Şekil 2). Meşe ve dişbudak halkalı traheli odun türlerinden olup büyük özışınlarına sahiptirler (Erdin & Bozkurt, 2013). Özellikle bu türlerde erken aşamalarda enine kesitlerde çatlak oluşumu görülmüştür (Şekil 5). Islatma ve kurutma aşamaları örneklerde strese sebebiyet vererek çatlak oluşumuna yol açmaktadır (Tomak & Ermeydan, 2025). Deneyde 2. döngünün kurutma aşamasında ısıtma işlemi ve kontrol meşe örneklerinde, kontrol dişbudak, kontrol sarı kavak ve kontrol iroko

örneklerde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların odunun su itici etkinliğini etkilemesi muhtemel bir sebeptir. Deneyler başlangıçta 4 döngü olarak planlanmıştır ancak 3. döngünün kurutma aşamasından sonra ısıtma işlemi ve kontrol iroko, meşe ve dişbudak örnekleri ile kontrol ayous, sarı kavak ve kontrol çam örneklerde çatlaklar meydana gelmiş veya daha önce oluşan çatlakların sayısı ve derinliği artmıştır. Süre uzadıkça da daha fazla örnekte bu olumsuzluklar görülmüştür. Örneklerde döngünün uzaması nedeniyle veri alınamadığından 2 döngünün sonucuna kadar elde edilen verilere yer verilmiştir.

Örneklerin ortalama hacimsel genişleme değerleri incelendiğinde, en fazla şişme kontrol sarı kavak ve kontrol dişbudak örneklerinde gözlemlenirken bunu kontrol meşe ve kontrol çam örneklerinde takip ettiğini söylemek mümkündür. Kontrol ayous ve kontrol iroko benzer değerleri vererek, test edilen tüm kontrol örnekler arasında en düşük hacimsel genişleme değeri göstermiştir. Isıtma işlemi örnekler açısından ise; en düşük hacimsel genişleme ısıtma işlemi ayous ve çamda, bunu sırasıyla ısıtma işlemi iroko, ısıtma işlemi dişbudak, ısıtma işlemi sarı kavak ve ısıtma işlemi meşe takip etmiştir. Isıtma işlemi örneklerde tüm gruplar, kontrol örneklerinden daha az hacimsel genişleme göstermiştir. Isıtma işlemi örneklerin, kontrol örneklerine kıyasla hacimsel genişleme oranındaki % azalma oranı olarak da ifade edilebilen boyutsal stabilite değerleri 2 döngünün ortalama değeri açısından en yüksek çam ve dişbudakta, bunu sırasıyla sarı kavak, meşe, ayous ve irokonun takip ettiği bulunmuştur. Isıtma işlemi ayous ve irokonun diğer odun türlerine kıyasla daha düşük boyutsal stabilizasyon değerleri vermesi, doğal haldeki ayous ve irokonun (kontrol) diğer türlere kıyasla daha az çalışması olabilir. 2. döngü ile birinci döngünün verileri kıyaslandığında, en iyi stabilite ısıtma işlemi meşe, çam ve nispeten sarı kavak örneklerinde görülürken, en büyük değişkenlik ve zamanla

boyutsal stabilitenin keskin olarak azalması ısıtma işlemli iroko örneklerinde tespit edilmiştir. Örneklerdeki çatlak oluşumunun boyutsal stabilizeyi olumsuz yönde etkilediği daha önce Tomak ve Ermeýdan (2025) tarafından rapor edilmiştir. Benzer olarak yüksek yoğunluk değerine sahip odunların düşük yoğunluklu türlere kıyasla daha fazla şişip daraldığı belirtilmiştir (Dias vd., 2019). Isıtma işlemli iroko örneklerde tespit edilen bulgular daha önceki çalışma (Tomak & Ermeýdan, 2025) ile de uyumludur. Boyutsal stabilitenin irokoda zamanla çok keskin olacak şekilde azalması, özellikle 2. döngüde ısıtma işlem nedeniyle bozulan ekstraktiflerin ve bileşenlerin yıkanmasına ve çatlaklara atfedilmiştir (Tomak & Ermeýdan, 2025). Biwole vd. (2022) irokodaki ekstraktiflerin oduna su itici etkinlik kazandırdığını belirtmiştir. Isıtma işlem nedeniyle irokodaki ekstraktif madde miktarındaki değişim ve ekstraktiflerin ve uçucu bileşenlerin odun yüzeyine doğru çıkması Gaff vd. (2023) tarafından da rapor edilmiştir. Altgen vd. (2018)'e göre, ilk ve sonraki ısıtma döngüleri arasındaki şişme davranışındaki farklılık, ilk su ısıtma sırasında odundan bazı bileşiklerin yıkanmasından kaynaklanmakta ve bu, sonraki ısıtma döngülerindeki kararlılığı etkilemektedir. Bu yıkanma olayı, ahşap hücre çeperinin termal bozulan ürünlerinden kaynaklanıyor olabilir (Altgen vd., 2018).

Sonuçlar, ısıtma işleminin çam, dişbudak, sarı kavak ve meşe odun türlerinde boyutsal stabilizeyi önemli ölçüde iyileştirdiğini ve bu tür odunlara kullanım açısından önemli avantajlar kazandırdığını ortaya koymuştur. Deney ve ölçümler süresince, sert odun türlerinde örneklerinin daha kolay çatladığı ve deney aşamalarında daha hızlı bozunduğu gözlemlenmiştir. Yumuşak odun tür örneklerinde ise çatlakların daha geç meydana geldiği belirlenmiştir. Isıtma işlem görmüş çam grubuna ait örneklerin hiçbirinde deney süresince çatlama oluşmamıştır. Öte yandan, meşe örneklerinde çatlakların daha derin olduğu; liflerin birbirinden ayrıldığı ve örneklerin basit bir kuvvetle ortadan ikiye bölünebildiği gözlemlenmiştir (Şekil 5).

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Teşekkür: Yazarlar, örnek temini ve analizlerdeki katkılarından dolayı Novawood Firması'na (Gerede Bolu) teşekkür ederler.

Yazarların Katkıları: Konsept: E.D.T.; Tasarım: E.D.T.; Danışmanlık: E.D.T., V.E.; Kaynaklar:

E.D.T., V.E.; Veri Toplama: V.E.; Analiz: E.D.T., V.E.; Literatür Taraması: E.D.T.; Makale Yazımı: E.D.T.; Eleştirel İnceleme: E.D.T., V.E.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

Altgen, M., Willems, W., Hosseinpourpia, R., & Rautkari, L. (2018). Hydroxyl accessibility and dimensional changes of Scots pine sapwood affected by alterations in the cell wall ultrastructure during heat-treatment. *Polym. Degrad. Stab.*, (152), 244–252.

Aydemir, D., Bürüç, G., & Bakır, K. (2019). Doğu kayını ve saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısıtma işlemin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3), 713–721.

Biwole, J. J. E., Biwole, A. B., Zobo Mfomo, J., Segovia, C., Pizzi, A., Chen, X., & Meausoone, P. J. (2022). Causes of differential behavior of extractives on the natural cold water durability of the welded joints of three tropical woods. *J. Adhes. Sci. Technol.*, 36(12), 1314–1331.

Dias, F. M., de Almeida, T. H., De Araújo, V. A., Panzera, T. H., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2019). Influence of the apparent density on the shrinkage of 43 tropical wood species. *Acta Sci. Technol.*, (41), e30947.

Erdin, N., & Bozkurt, Y. (2013). Odun anatomisi. *İÜ Orman Fakültesi Yayınları*.

Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4, 370–404.

Gaff, M., Kubovsky, I., Sikora, A., Kacikova, D., Li, H., Kubovsky, M., & Kacik, F. (2023). Impact of thermal modification on color and chemical changes of African padauk, merbau, mahogany, and iroko wood species. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 62(1), 20220277.

Gérardin, P. (2016). New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood— a review. *Annals of Forest Science*, 73, 559–570.

Hill, C., Altgen, M., & Rautkari, L. (2021). Thermal modification of wood: a review—chemical changes and hygroscopicity. *J Mater. Sci.*, 56, 6581–6614.

Hill, C.A.S. (2006). *Wood modification: Chemical, thermal and other processes*. Wiley.

Icel, B., & Beram, A. (2017). Effects of industrial heat treatment on some physical and mechanical properties of iroko wood. *Drvna Industrija*, 68(3), 229–2369.

Kesik, H. I., Korkut, S., Hiziroglu, S., & Sevik, H. (2014). An evaluation of properties of four heat treated wood species. *Industrial Crops and Products*, 60, 60–65.

Kocaefe, D., Poncsak, S., Dor, G. V., & Younsi, R. (2008). Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Als Roh-und Werkstoff*, 66(5), 355–361.

Kocaefe, D., Huang, X., & Kocaefe, Y. (2015). Dimensional stabilization of wood. *Curr. Forestry Rep.*, (1), 151–161.

Korkut, S. (2012). Performance of three thermally treated tropical wood species commonly used in Turkey. *Ind. Crops. Prod.*, 36(1), 355–362.

Orhan, H., & Bal, B. C. (2022). Azot gazı atmosferinde ısıtıl işlem uygulanmış kavak odununun fiziksel özellikleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 405–413.

Thermowood, El Kitabı, (2021, Nisan 7). ThermoWood handbook. <https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.pdf>

Tomak, E. D., & Ermeýdan, M. A. (2025). Measuring dimensional stability of thermally modified ayous and iroko wood: comparison of the three test methods. *Cellulose*, 32, 2581–2597.