

Atık kâğıtlardan levha üretim denemeleri

Board production experiments from waste paper

Cengiz GÜLER^{1*}, Büşra ÜÇÜNCÜ²

¹Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1520964

Sorumlu yazar / Corresponding author

Cengiz GÜLER

e-mail:cengizguler@duzce.edu.tr

Geliş tarihi / Received

23.07.2024

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

17.09.2024

Kabul tarihi / Accepted

07.10.2024

Elektronik erişim / Online available

15.10.2024

Anahtar kelimeler:

Yonga levha

Atık ofis kâğıt

Fiziksel ve mekanik özellikler

Keywords:

Particleboard

Waste office paper

Physical and mechanical properties

Özet

Bu çalışma, hammadde kaynaklarımızı verimli bir şekilde değerlendirme amacı gütmektedir. Alternatif kaynakların kullanımını maksimize etmek ve geri dönüşüm yoluyla atıkları yeni ürünlere dönüştürmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda, atık ofis kâğıtlarının belirli oranlarda kullanıldığı yonga levhalar üretilmiş ve bu malzemelerin teknolojik özellikleri incelenmiştir. Yonga levha üretiminde, tutkal olarak üre formaldehit, sertleştirici olarak amonyum klorür tercih edilmiştir. Levha üretimi, %0'dan %50'ye kadar değişen oranlarda atık kâğıt kullanılarak ve fabrikadan sağlanan odun yongaları ile karıştırılarak yapılmıştır.

TS-EN standartlarına uygun olarak test edilen yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ofis kâğıt atıklarının levha üretiminde %20'ye kadar kullanılmasının mümkün olduğu anlaşılmıştır. Geri dönüşümle kaynakların yeniden kullanımı, levha sektöründe üretim maliyetlerini düşürebilir ve böylece çevresel ve ekososyal faydalar sağlayabilir.

Abstract

This study aims to efficiently utilize our raw material resources. It seeks to maximize the use of alternative resources and convert waste into new products through recycling. In this context, particleboards incorporating certain proportions of waste office paper were produced, and the technological properties of these materials were examined. In particleboard production, urea formaldehyde was used as an adhesive, while ammonium chloride served as a hardener. The boards were produced by mixing factory-sourced wood chips with waste paper in varying proportions, from 0% to 50%.

The physical and mechanical properties of the particle boards were tested according to the relevant TS-EN standards. The results indicate that it is feasible to use shredded office paper particles in board production up to a 20% ratio. The recycling of resources into new products can partially reduce production costs in the board industry, thus providing environmental and ecosocial benefits.

GİRİŞ

Geri dönüşüm süreci, atık miktarını azaltarak çevremizi korumak, doğal kaynaklarımızın tükenmesini engellemek ve bu kaynakların gereksiz yere israf edilmesini önlemek için hayati öneme sahiptir. Bu süreç, katı atıkların taşınması ve depolanması gibi çevresel sorunlara da etkili çözümler sunmaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için kaynakların akılcı ve verimli kullanımı, hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük faydalar sağlayabilir.

Özellikle, orman emvali olarak bilinen ve değerli bir hammadde olan atık kâğıtların yonga levha teknolojisi aracılığıyla geri kazanılması, orman ürünleri endüstrisinde yenilikçi ve önemli bir adım olarak görülmektedir. Bu yaklaşım, ormanlarımızın korunmasına katkıda

bulunurken, aynı zamanda atık yönetimi ve geri dönüşüm alanında yeni fırsatlar yaratmaktadır. Geri dönüşümle elde edilen yonga levhalar, mobilya üretiminden inşaat sektörüne kadar geniş bir kullanım alanına sahip olabilir ve bu sayede ekonomiye katma değer sağlayabilir.

Masif ağaç kullanımının yüksek maliyeti ve kayıpları, malzeme verimliliğini artırma çabalarına engel olmaktadır. Dünya nüfusunun artması ve orman kaynaklarının azalması göz önünde bulundurulduğunda, mobilya üretimindeki temel hammadde olan ağacın daha etkin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu durum, mobilya üretiminde masif ağaç yerine, odun artıklarından üretilen kompozit malzemelerin kullanımını artırmıştır. Yonga levhalar, bu kompozit malzemeler arasında yer

almakta ve ağaç levha endüstrisinde en büyük üretim payına sahip malzemelerdir (Nemli ve Kalaycıoğlu 2000).

Atık kâğıtlar, hammaddeler arasında kaynak olarak önemli bir yere sahiptir. Bu kaynak 1970'lerin ortalarından itibaren sürekli büyümeye başlamıştır (Thompson ve ark. 2001). Hammadde ve enerjinin tüketimini sınırlamak, yüksek fiyatlar ve odun hammaddesi kıtlığı gibi olumsuz şartlar, diğer yandan teknolojik gelişmeyi de modifiye etmiştir. Lif fiyatlarının yüksek olması ve odun arzının kıtlığı gibi konular, teknik gelişmeyi harekete geçirerek kaynakların kullanım alanları ve yeniden kazanım ile tekrar kullanım oranlarında dünya genelinde artışa yol açmıştır.

Diğer bir taraftan, Avrupa'da ilk zamanlar, lif ve lif levha tüketiminin yaklaşık %37'si geri dönüştürülmüş malzemelerden elde edilmiştir. Kâğıt ve karton üretiminde kullanılan ham maddenin üçte birinin atık kâğıtlardan sağlanmakta olduğu tahmin edilmekte olup Cepi Statistiek verilerine göre bu oran %35 civarındadır (URL-1). Etkili bir geri dönüşüm sektörünün kurulabilmesi için bir dizi koşulun karşılanması şarttır. Şehirlerin düzenli plânlaması ve yeterli nüfus yoğunluğu, bu koşulların başında gelir. Dağınık yerleşim alanları ve kırsal bölgelerde atık kâğıt toplama işlemi maliyetlidir. Bu süreci düzenleyebilmek için, güçlü bir organizasyonel yapı ile çevresel ve toplumsal bilince ihtiyaç vardır.

Son yıllarda, çevre bilincinin artması ve kirlilik endişelerinin yükselmesi, kâğıt endüstrisinde işletme ve yatırım maliyetlerinin artmasıyla birleşerek, atık kâğıtların hammadde olarak yeniden kullanımını daha karmaşık hale getirmiştir. Bu durum, özellikle kâğıt hamuru üretimi için gerekli malzemelerin maliyetli olduğu ülkelerde, atık kâğıt geri dönüşümünün önemini artırmıştır. Atık kâğıtların yeniden kullanımı üzerine ilgi giderek artış göstermiş ve günümüzde atık kâğıtlar uluslararası ticaretin konusu durumuna gelmiştir (Şahin 2016). Çevre kirliliği sorunlarının artan etkisiyle, atık kâğıt kullanımı, sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerinin bir parçası olarak daha fazla önem kazanmıştır.

Atık kâğıtların geri dönüşümü, doğal kaynakların korunması ve çevresel ayak izinin azaltılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Geri dönüştürülmüş kâğıt, yeni kâğıt üretimi için gereken enerjiyi ve suyu önemli ölçüde azaltırken, aynı zamanda ormanların korunmasına ve atık depolama alanlarının azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu süreç, ekonomik ve çevresel faydaların yanı sıra, toplumların geri dönüşüm konusunda daha bilinçli hale gelmesine ve atık yönetimi uygulamalarının iyileştirilmesine olanak tanır (Güler 2005).

Geri dönüşüm endüstrisinin gelişimi, atık kâğıtların toplanması, ayrıştırılması ve işlenmesi için daha verimli teknolojilerin ve yöntemlerin ortaya çıkmasını teşvik edebilir. Bu yenilikler, atık kâğıtların daha yüksek kalitede ham madde olarak kullanılmasını ve böylece kâğıt ürünlerinin genel kalitesinin artırılmasını sağlayabilir. Ayrıca, geri dönüşüm sürecinin optimizasyonu, işletmelerin maliyetlerini düşürmelerine ve rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olabilir.

Atık kâğıt kullanımının artması, kâğıt endüstrisinin hammadde temini açısından önemli bir rahatlatma sağlamıştır. Özellikle oduna dayalı olan kâğıt üretimi, atık kâğıtların geri dönüşümü sayesinde daha sürdürülebilir hale gelmiştir. Bu durum, ülke ormanlarımız üzerindeki baskıyı azaltmada önemli bir adımdır (Güler 2005).

Atık kâğıt geri dönüşümü, yeni kâğıt hamuru üretimine göre daha az enerji tüketilmesi ile geri dönüşüme katkı sağlayacağı gibi enerji maliyetlerini de düşürür. Yeniden kullanılan atık kâğıtların işlenmesiyle, daha ucuz bir şekilde kâğıt hamuru üretilebilir. Bu, farklı türlerde (yazı tabı, gazete, oluklu mukavva, ambalaj, temizlik ürünleri vb.) kâğıt üretimini mümkün kılar. Bu nedenle atık kâğıt geri dönüşümü, kâğıt endüstrisindeki hammadde açığını büyük ölçüde kapatmaya yardımcı olabilir. İkinci kez kullanılan atık kâğıtlar, kalitelerine bakılmaksızın çeşitli kâğıt ve karton ürünlerinin üretiminde değerli bir kaynak olarak değerlendirilebilirler (Akgül ve Güler 2002). Çizelge 1'de 2022 yılı Türkiye ithal ve yerli kâğıt toplam miktarı gösterilmiştir.

Çizelge 1. 2022 yılı türkiye ithal ve yerli kâğıt toplam miktarı (ton) (Anonim 2022)

İthal					Yerli					Genel toplam
Oluklu ve kraft torba	Gazete	1.hamur	Karışık	İthal toplam	Oluklu ve kraft torba	Gazete	1.hamur	Karışık	Yerli toplam	
699.447	53.001	2.516	590.080	1.345.044	2.161.372	12.663	344.932	1.094.131	3.613.098	4.958.142

Taramian ve ark. (2007)'nin yaptıkları çalışmaya göre, kâğıt fabrikası çamuru yonga levha üretiminde kullanılmıştır. Bu çalışmada, tek katmanlı ve üç katmanlı yüzeyde kâğıt çamuru içeren tahtalar üretilmiştir. Kâğıt çamuru ile ahşap partiküllerinin farklı oranları (0:100, 15:85, 30:70 ve 45:55) kullanılmıştır. Levhalar, %3 ve %4 metilen difenil diizosiyanat (MDI) ile %10 ve %12 üreformaldehit (UF) yapıştırıcıları kullanılarak üretilmiştir. İncelenen özellikler arasında levhaların eğilme ve kesme mukavemetleri, su emme ve kalınlık şişmesi yer almaktadır. Sonuçlar, kâğıt çamuru miktarının levhaların mekanik özelliklerini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Genel olarak, UF bağlı yonga levhalar, MDI bağlı yonga levhalara göre daha iyi mekanik performans, su direnci ve kalınlık şişmesi sağlamıştır. Ancak, kâğıt çamuru içeriği arttıkça UF bağlı levhaların mukavemeti MDI bağlı levhalara göre daha fazla azalmıştır. Sonuçlar, %12'lik UF ve %15 kâğıt çamurundan yapılan üç katmanlı levhaların EN ve ASTM D 1037-99 tarafından belirlenen minimum gereksinimleri tam olarak karşıladığını göstermektedir. Eshraghi ve Khademieslam (2012) yaptıkları çalışmada, atık mukavva liflerini ve ahşap odun yongalarını kullanarak tek katmanlı yonga levhalar üretmişlerdir. Burada, üre formaldehit reçinesi farklı oranlarda uygulanmıştır. Bununla beraber, statik eğilme dayanımı yüzeye dik çekme direnci ve kalınlık artımı gibi değerler ölçülmüştür. Sonuçta, atık mukavva liflerinin minimum eğilme dayanımı (MOR) gereksinimini karşıladığını, eğilmede elastikiyet modülü (MOE) değerlerinin nemli ve kuru koşullarda kullanım için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Nicewicz ve ark. (2006), atık kâğıt parçacıklarından tek katmanlı yonga levhalar üretmişlerdir. İşlemde iki çeşit atık kâğıt (karışık atık kâğıt ve atık kâğıt torbalar) ve iki yapıştırıcı (üre-formaldehit reçinesi (UF) ve melamin-üre-formaldehit (MUF)) uygulanmıştır. Üretilen levhaların özellikleri (eğilme mukavemeti, elastikiyet modülü, dik çekme mukavemeti ve kalınlık şişmesi) incelenmiştir.

Sonuç olarak, atık kâğıdın yonga levhaların üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Bir çalışmada, atık gazete kâğıtlarının yonga levha üretiminde kullanıldığı ve bu levhaların mekanik özelliklerinin pres sıcaklığı ve maleik anhidritin etkisiyle incelendiği belirtilmiştir. Farklı oranlarda (75/25, 50/50, 25/75, 0/100) atık kâğıt ve odun yongaları karıştırılarak levhalar üretilmiş, eğilme direnci, elastikiyet modülü, iç bağlama direnci ve kalınlık artımı gibi özellikler değerlendirilmiştir. Bu levhaların Avrupa Normları standartlarını karşıladığı tespit edilmiştir (Nourbakhsh ve Ashori 2010). Yonga levha bitkisel veya odunsu yongaların tutkal ilâvesi ile belirli özelliklerde oluşturulan levha taslağının preslenmesi sonucu elde edilen bir üründür. Yonga levhaların yoğunlukları 0.50-0.80 g/cm³ arasında değişir.

Yonga levha üretiminde, levha ağırlığının yaklaşık %90'ından fazlasını odun oluştururken, sentetik reçineler yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu ve Özen 2012). Bu endüstride iğne yapraklı ağaçlar başta olmak üzere geniş yapraklı ağaçlar ve endüstriyel atıklar ile çeşitli yıllık bitkilerin odunsu kısımları değerlendirilmektedir.

Ülkemizdeki hammadde kaynaklarının daha etkin ve rasyonel kullanımı, sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle orman ürünleri endüstrisinde, yonga levha gibi temel girdilerin üretiminde, kâğıt atıklarının değerlendirilmesi, hem hammadde kaynaklarını çeşitlendirecek hem de ürünlerin teknolojik özelliklerine katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmada atık kırpıntı kâğıtlardan belirli oranlarda karıştırılarak levhalar üretilmiştir. Böylece her yıl yakılarak ya da değişik amaçlarla kullanılagelen ofis kırpıntı atık kâğıtların orman ürünleri endüstrisinde hammadde kaynağına destek olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bununla beraber, levha üretiminde

kullanılan atık kâğıtların levha özelliklerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada kullanılan kırpıntı kâğıt atıkları, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi'ndeki atık kâğıt toplama biriminden temin edilmiştir. Bu atıklar, fotokopi makinelerinde kullanılan ve tekrar kullanılamayan 80 g/m² yoğunluğa sahip kâğıtların, kâğıt imha makinesiyle parçalanması sonucunda elde edilmiştir. Endüstriyel odun yongaları ise Yıldız Entegre AŞ. Mudurnu yonga levha tesislerinden temin edilmiştir. Burada, 440 x 440 x 18 mm ebatlarında, 700 kg/m³ hedeflenen yoğunlukta, üreformatdehit tutkalı ile üretilen levhaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Yöntem

Deney levhalarının üretimi, hammadde yonga içerisine farklı oranlarda atık kırpıntı ofis kâğıtları ilâve edilerek geleneksel yonga levha üretim esaslarına göre yapılmıştır. Her gruptan ikişer levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Deney levhalarının üretiminde, %65'lik üre formatdehit kullanılmış olup, tam kuru yonga ağırlığına oranla dış tabakada %10, orta tabakada %8 oranında tam kuru tutkal uygulanmıştır. Sertleştirici olarak, tam kuru tutkalın %10'u kadar %33'lük amonyum klorür eklenmiştir. Kırpıntı ofis kâğıt ve endüstriyel odun yongaları, dış ve orta tabaka olmak üzere, mekanik elle karıştırma kollarına sahip tutkallama makinesinde ayrı ayrı en az 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu esnada, hazırlanmış tutkal çözeltisi havalı tutkal püskürtme tabancası ile üstten püskürtülmüştür. Daha sonra tutkallanmış karışım, şekillendirme çerçevesinde el yordamı ile dikkatlice üç tabaka halinde serilmiştir. Oluşturulan levha taslağı, çelik pres sacları arasına yerleştirilerek sıcak prese alınmıştır. Levha taslakları, 150°C sıcaklıktaki preste 7 dakika boyunca bekletilmiştir. Levhaların üretim plânı Çizelge 2'de, levha taslağının oluşturulması ve levha taslağı ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Levhaların üretim plânı

Levha grupları	Kırpıntı kâğıt (%)	Endüstriyel odun yongası (%)
A	0	100
B	10	90
C	20	80
D	30	70
E	40	60
F	50	50
I	100	0



Levha taslağının oluşturulması

Levha taslağı

Şekil 1. Levha taslağının oluşturulması ve levha taslağı

Her gruptan ilgili standartlara göre örnekler alınmış ve mekanik testler için 10 adet deney örneği uygulanmıştır. Yoğunluk, TS-EN 323 (1999) standardına göre belirlenmiştir. Ayrıca kalınlık artışı TS-EN 317 (1999) standardına uygun olarak incelenmiştir. Mekanik özellikler arasında eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü (TS-EN 310, 1999) ve yüzeye dik yönde çekme direnci (TS-EN 319, 1999) bulunmaktadır. Levhalardan alınan örnekler, TS-EN 326-1 (1999) standardına uygun olarak kesilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yoğunluk

Deneme levhalarında her bir gruba ait yoğunluk değerleri Çizelge 3 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Levha yoğunluğu 0.699 g/cm³ ile 0.733 g/cm³ arasında değişmektedir ve üretilen levhaların yoğunluk değerleri arasındaki farklılık varyans analizi ile test edilmiştir. Yoğunluk değerleri ve varyans analizi sonuçları ise, Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Deneme levhalarında her bir gruba ait yoğunluk değerleri (g/cm³)

Levha grupları	Aritmetik ortalama ($\bar{x}$) (g/cm ³)	Std. sapma (S)	Varyasyon katsayısı (%)
A	0.733a	0.01986	2.70
B	0.699b	0.01566	2.23
C	0.718ab	0.01967	2.73
D	0.718ab	0.02431	3.38
E	0.710ab	0.04235	5.95
F	0.713ab	0.01753	2.45
I	0.725ab	0.03266	4.50

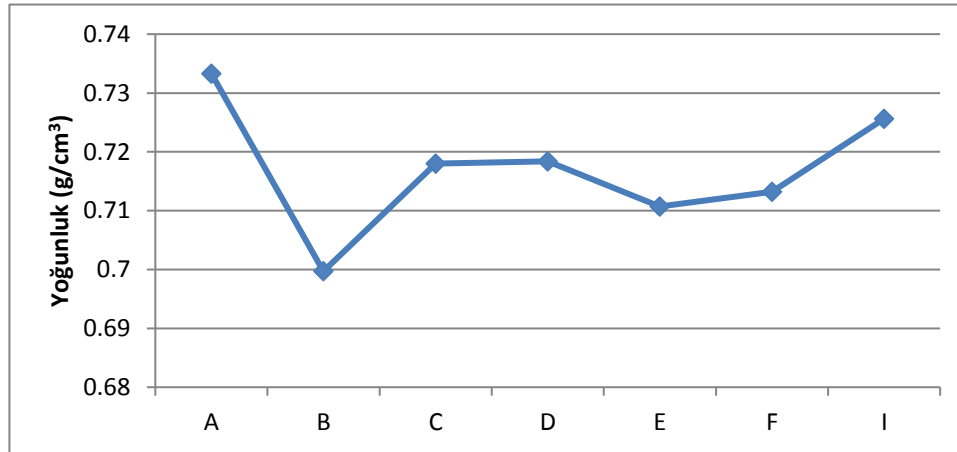
Çizelge 4. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	0.007	6	0.001	1.702	0.135
Gruplar içi	0.043	63	0.001		
Toplam	0.050	69			

Levhanın yoğunluğu, fiziksel ve mekanik özellikleri etkileyen önemli faktörlerden biridir. Levhalarda yoğunluğun artması, kalınlığındaki artışı ve stabilizeyi sağlayarak diğer özelliklerin iyileşmesine katkıda bulunur. Yoğunluğun artmasıyla birlikte parçacıklar arasındaki temas daha güçlü hale gelir ve levhanın direnci artar (Göker ve Akbulut 1992).

Duncan istatistik testi sonucuna göre ortalama yoğunluk değeri, I grubu levhada değerin yüksek olduğu

görülmektedir. Fakat genel olarak diğer levha gruplarında yoğunluk farklılığı görülmemektedir. Bununla beraber hedeflenen yoğunluk değerinden sapmaların nedeni laboratuvar ortamında serme işlemlerinin mekanik olarak yapılmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. TS EN 312 (2012)'e göre levhadaki yoğunluk toleransı $\pm$ %10 olabilir. Buna göre levha gruplarında ortalama yoğunluk dağılımının homojen olduğu kabul edilerek elde edilen sonuçlar standartlara uygun bulunmuştur.

**Şekil 2.** Deney levhalarının yoğunluk değerleri

Kalınlık Artışı ve Su Alma Miktarı

Deneme levhalarının her birine ait kalınlık artışı değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Üretilen levhaların ortalama 2 saatlik kalınlık artışı değerleri arasında farklılık varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Buradaki 2 saat ve 24 saat kalınlık artışı varyans analiz sonuçları Çizelge 6, 7 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Kalınlık artış değerleri (%)

Levha Grupları	2 saat (%) ortalama ($\bar{x}$)	Std. sapma (S)	24 saat (%) ortalama ($\bar{x}$)	Std. sapma (S)
A	19.23a	1.312	29.32bc	1.904
B	21.12ab	2.283	27.06ab	2.539
C	25.44de	3.294	32.43d	5.064
D	29.24f	5.039	38.01e	2.429
E	24.50cd	2.676	30.31cd	2.812
F	27.23ef	2.171	32.44d	2.235
I	22.08bd	1.599	25.49a	1.296

Çizelge 6. Kalınlık artışı 2 saat için varyans analizi sonuçları

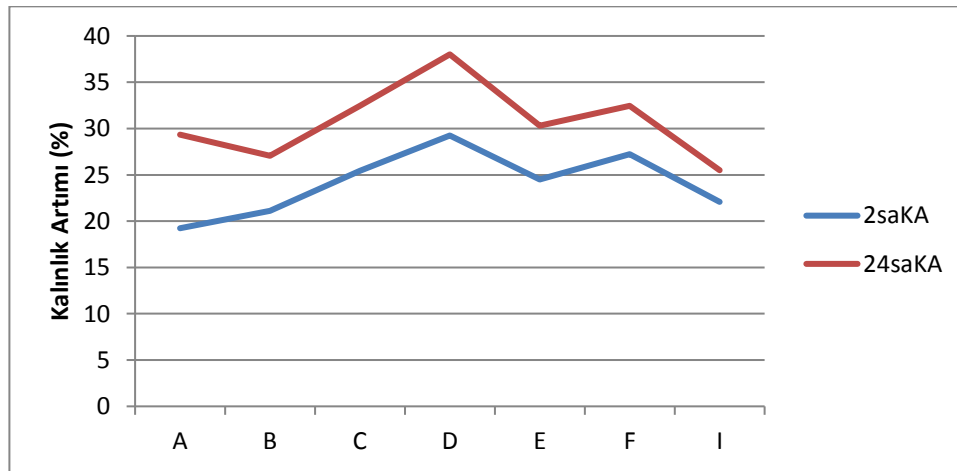
Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	749.030	6	124.838	15.165	0.00
Gruplar içi	518.612	63	8.232		
Toplam	1267.642	69			

Çizelge 7. Kalınlık artımı varyans analizi sonuçları (24 saat)

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	1018.041	6	169.673	21.128	0.00
Gruplar içi	505.940	63	8.031		
Toplam	1523.981	69			

Kalınlık artımı 2 saat suda bekletme sonucunda en düşük A grubu levhalarda %19.23, en yüksek D grubu levhalarda %29.24 olarak tespit edilmiştir. 24 saat için ise, en düşük I grubu levhalarda %25.49, en yüksek D grubu levhalarda %38.01 olarak tespit edilmiştir. Duncan testi sonucuna göre ortalama 24 saatlik kalınlık artışı değerleri bakımından I - B, B - A, A - E ve E - C - F grupları benzer, diğer grupların birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmıştır. TS EN 312 (2012)'e göre nemli şartlarda kullanılan yük taşıyıcı olmayan levhalar (tip-P3)'e göre $13 < t \leq 20$ mm kalınlığında olan levhalar için kalınlık artımı 24 saatte en fazla %14 olması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre kalınlık artımı 24 saat için tüm gruplarda standart değerden yüksek bulunmuştur. Ancak levha içerisindeki atık kâğıt

oranı arttıkça genelde kalınlık artışı olduğu söylenebilir. Ayrıca kullanılan kırpıntı ofis kâğıt yoğunluğunun yüksek olmasından da kaynaklanabilir. Eshraghi ve Khademieslam (2012) yaptıkları çalışmada, karton mukavva kâğıtlarını levha üretiminde kullandıklarını belirtmiş olup benzer şekilde kalınlık artımının yüksek olduğunu tespit etmiş ancak reçine miktarının artırılması ile kalınlık artımında iyileşme sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada %100 ofis kâğıtlarından üretilmiş levhalarda kalınlık artımı daha düşük olduğu görülmüş olup benzer sonuçlar elde edilmiştir (Konukçu ve Engin 2024).



Şekil 3. Deney levhalarının kalınlık artımı (%)

Deneme levhalarının her birine ait su alma değerleri Çizelge 8 ve Şekil 4'te verilmiştir.

Su alma değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 9, 10 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. En düşük 2 saatlik su alma oranı I grubu levhalarda (%55.08) ve en yüksek C grubu levhalarda (%70.42) tespit edilmiştir. En düşük 24 saatlik su alma oranı B grubu levhalarda (%60.04) ve en yüksek C grubu levhalarda (%77.28) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 8). Birim hacme düşen tüketilmiş

yonga karışımı daha yüksek olması durumunda levhaların preslenmesi sırasında daha yüksek sıkıştırma faktörü seçilebilmekte ve partiküller daha iyi yapışabilmektedir. Bu nedenle kırpıntı kâğıt oranı arttıkça C grubu levhalardan sonra su alma miktarında kısmen azalma meydana gelmiştir. Ancak tüm gruplarda su alma miktarı birbirine yakındır. Bir çalışmada da su alma miktarı genel olarak yüksek olduğu görülmektedir (Konukçu ve Engin 2024).

Çizelge 8. Su alma değerleri (%)

Levha grupları	2 saat (%) (x)	Std. sapma (S)	24 saat (%) (X)	Std. sapma (S)
A	55.08ab	1.301	61.39ab	1.591
B	56.42de	1.785	60.04a	2.119
C	70.42f	2.940	77.28d	6.523
D	61.97cd	1.930	67.53d	2.880
E	60.08ef	2.947	64.04bc	3.293
F	61.82bc	2.486	65.53cd	2.838
I	63.42a	2.141	63.87bc	2.234

Çizelge 9. Su alma 2 saatlik varyans analizi sonuçları

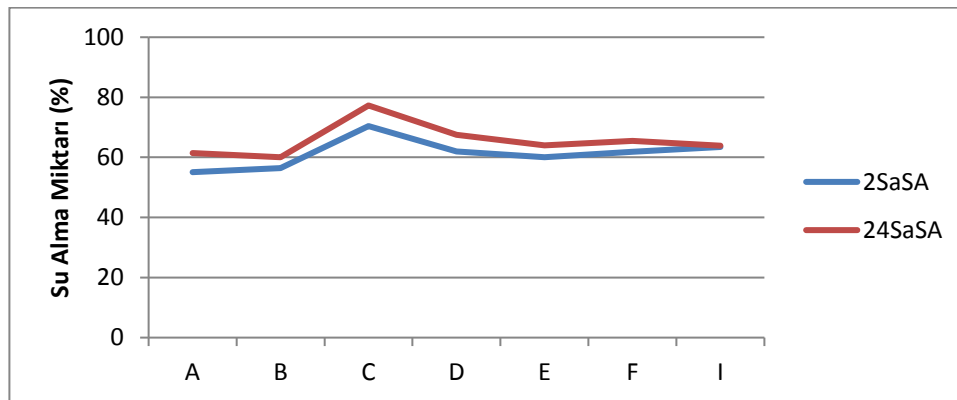
Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	1522.838	6	253.806	48.394	0.00
Gruplar içi	330.410	63	5.245		
Toplam	1853.248	69			

Çizelge 10. Su alma 24 saatlik varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	1941.880	6	323.647	27.703	0.00
Gruplar içi	736.022	63	11.683		
Toplam	2677.902	69			

Duncan testi sonuçlarına göre ortalama 2 saatlik su alma oranları bakımından I - A, A - F, F - D, D - B, B - E ve E - C grupları benzer, diğer gruplarda ise farklılıklar bulunmuştur. 24 saatlik su alma oranları bakımından A - I,

I - H - D, H - D - E ve E - C grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.



Şekil 4. Su alma miktarları (%)

Mekanik Özellikler

Deneme levhalarının eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci için ortalama ($\bar{x}$), standart sapma (s) değerleri Çizelge 11'da sunulmuştur.

En düşük eğilme direnci değeri I grubu levhalarda (3.69 N/mm²), en yüksek A grubu levhalarda (15.18 N/mm²) olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 11. Deney levhalarının eğilme direnci değerleri

Levha grupları	Eğilme direnci (N/mm ²)	Std. sapma (S)	Eğilmede elastikiyet mod. (N/mm ²)	Std. sapma (S)	Yüzeye dik çekme direnci (N/mm ²)	Std. sapma (S)
A	15.18a	2.098	3072.79a	600.94	0.368a	0.051
B	12.04b	0.986	1798.17b	120.97	0.226bc	0.033
C	10.83b	0.409	1770.80b	233.00	0.288bc	0.433
D	8.65c	0.394	1715.70b	407.82	0.163bc	0.056
E	7.68c	1.219	1407.29cb	364.59	0.226bc	0.086
F	6.15d	0.831	1235.31c	282.26	0.245bc	0.022
I	3.69e	0.323	480.82d	39.32	0.103c	0.026

Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri arasında farklılık olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir.

Eğilme direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 12'de verilmiştir.

Çizelge 12. Eğilme direnci değerleri varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	532.334	6	88.722	77.791	0.00
Gruplar içi	39.918	35	1.141		
Toplam	572.253	41			

Üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında fark varyans analizi ile tespit edilmiştir.

Levhaların eğilmede elastikiyet modülü direncine ait varyans analizi sonucu Çizelge 13'de gösterilmiştir.

Çizelge 13. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	21974190.317	6	3662365.053	31.629	0.00
Gruplar içi	4052647.057	35	115789.916		
Toplam	26026837.373	41			

Üretilen levhaların yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri arasında farkı tespit etmek amacıyla varyans

analizi yapılmıştır. Yapılan varyans analizi sonucu Çizelge 14 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 14. Yüzeye dik yönde çekme direnci varyans analizi sonuçları

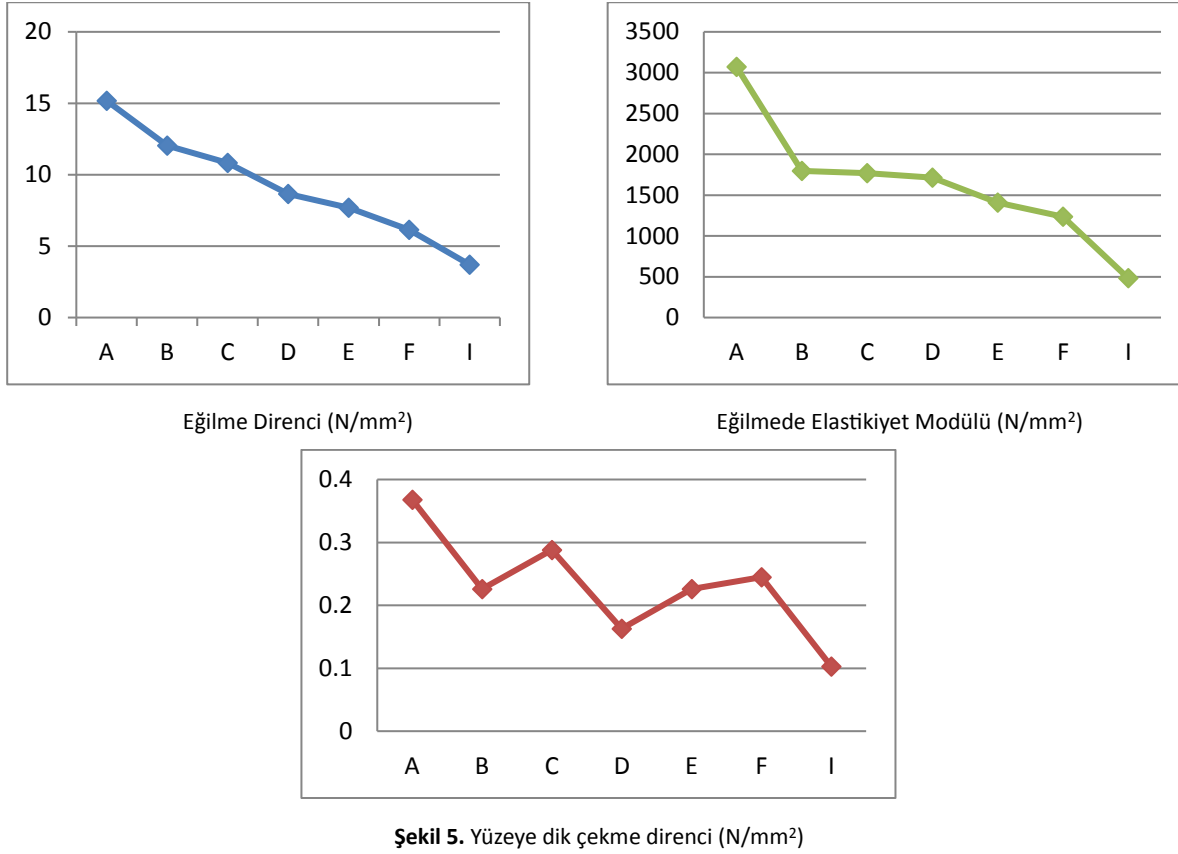
Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F (Oran)	P (Önem düzeyi)
Gruplar arası	0.260	6	0.043	1.488	0.211
Gruplar içi	1.017	35	0.029		
Toplam	1.277	41			

Eğilme direnci en yüksek A grubu (kontrol) levhalarda (15.18 N/mm²), en düşük I grubu levhalarda (3.70 N/mm²) olarak tespit edilmiştir. Burada levha içerisindeki kâğıt oranı arttıkça eğilme direncinde azalma meydana gelmektedir. Nourbakhsh ve Ashori (2010)'nin yaptığı çalışmada da benzer şekilde sonuçlar ortaya çıkmış olup levha içerisindeki kâğıt oranı arttıkça eğilme direnci ve

elastikiyet modülünde bir azalma olduğunu belirtmiştir. Konukçu ve Engin (2024) ise %10 tutkal ile %25 ofis kâğıdı karışımında en düşük fakat %15 tutkal ile %100 ofis kâğıdından üretilmiş yonga levhalarda en yüksek eğilme direncine sahip olup standartlara uygun olduğunu belirtmişlerdir. Burada levhada kullanılan tutkal oranının artırılması ile daha iyi sonuçlar alındığını göstermektedir.

Bu durum aynı zamanda kullanılan ofis kâğıdının yoğunluğundan da ileri gelmektedir. TS EN 312 (2012)'de kuru şartlarda kullanılan genel amaçlı levhalar (Tip P1) için ($13 < t \leq 20$ mm kalınlıklarda) minimum eğilme mukavemetinin 10 N/mm^2 olması öngörülmüştür. A, B ve

C grubu levhalarda eğilme direnci değerleri standartlara uygundur. Buna göre %20'ye kadar kırpıntı kâğıt karışımlarının levha üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 5. Yüzeye dik çekme direnci (N/mm²)

Eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direncine benzer şekilde en yüksek A grubu levhalarda (3072 N/mm^2), en düşük I grubu levhalarda (480 N/mm^2) olarak tespit edilmiştir. Burada levha içerisindeki kâğıt oranı arttıkça eğilme direncinde olduğu gibi elastikiyet modülünde de düşme olduğu görülmüştür. Bunun nedeni kâğıt oranı arttıkça, levhada kullanılan bağlayıcı olarak kullanılan tutkalın oranı azalabilir. Bu da levhanın bütünlüğünü ve dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanmakta olup levhanın direnç özellikleri içerisindeki kâğıt oranı arttıkça hem eğilme direncinde hem de elastikiyet modülünde azalma olduğu görülmektedir (Nourbakhsh ve Ashori 2010, Eshraghi ve Khademieslam 2012, Güler 2015). Başka bir çalışmada ise %10 tutkal ile %50 ofis atık kâğıt kullanımında en düşük eğilmede elastikiyet modülü direncine sahip olduğu fakat %15 tutkal ile %100 ofis atık kâğıttan üretilmiş levhalarda daha yüksek eğilmede

elastikiyet modülü direnci elde edildiği belirtilmiştir (Konukçu ve Engin 2024). TS EN 312 (2012) kuru şartlarda iç donanımlarda (mobilya dâhil) kullanılacak 20 mm kalınlığa kadar olan yonga levhalar için elastikiyet modülü minimum 1600 N/mm^2 olması öngörülmüştür. Buna göre A, B, C ve D grubu levha gruplarında elastikiyet modülü standartlara uygun olup %30'a kadar kırpıntı kâğıt uygun karışımlarda levha üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir.

Yüzeye dik yönde çekme direnci, en yüksek A grubu levhalarda (0.391 N/mm^2), en düşük ise I grubu levhalarda (0.103 N/mm^2) tespit edilmiştir. Levha içerisindeki kâğıt oranı arttıkça eğilme direncinde ve elastikiyet modülü verilerinde olduğu gibi yüzeye dik yönde çekme direncinde de düşme olduğu görülmüştür. TS EN 312 (2012) kuru şartlarda kullanılan genel amaçlı levhalar (Tip P1) belirlenen mekanik özelliklerden yüzeye dik

çekme direnci, 20 mm kalınlığa kadar olan yonga levhalar için minimum 0.24 N/mm² olması öngörülmüştür. Yalnızca A, C ve F grubu levhaların standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonucuna göre kırpıntı kâğıt kullanım oranının yonga levhanın yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamıştır. Buna göre atık kırpıntı kâğıt kullanım oranı arttıkça önemli bir değişim olmadığı ifade edilebilir. Konukçu ve Engin (2024)'de benzer sonuçlara ulaşmıştır. Bunun nedeni birim hacme düşen kâğıt atık miktarı fazla olup belirli yoğunlukta daha iyi yapışma sağlaması ile izah edilebilir.

Nicewicz ve ark. (2006), atık kâğıt parçacıklarından tek katmanlı yonga levhalar üretmiş olup levha içerisindeki kâğıt oranının artmasına bağlı olarak levhanın yüzeye dik yöndeki çekme direncinde bir düşme olduğunu belirtmişlerdir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada odun yongalarına kuru yonga ağırlığına oranla %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranında atık kırpıntı kâğıt katılarak üretilen 18 mm kalınlığındaki yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş olup kontrol grubu örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre üretilen levhalarda kalınlık artımı ve su alma miktarları genel olarak yüksek bulunmuştur. Üretim sürecinde ilâve edilecek parafin ve tutkal miktarının artırılması ile kalınlık artımı ile su alma miktarları makul bir düzeye gelebilir.

Elde edilen verilere göre atık kâğıtlardan üretilen levhaların gerek fiziksel ve gerekse mekanik özellikleri bakımından levha içerisinde %20 oranına kadar kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Levha içerisindeki kâğıt katılım oranları arttıkça levhanın mekanik özelliklerinde bir azalma söz konusudur. Genel olarak %20 oranına kadar kuru şartlarda genel amaçlı levhalar için (Tip P1) eğilme direncini karşılamıştır. Eğilmede elastikiyet modülü incelendiğinde kuru şartlarda iç donanımlarda (mobilya dâhil) kullanılan levhalar Tip P2 için min 1600 N/mm² olup, bu durumda

%30 oranına kadar kâğıt atık ilâvesiyle üretilen levhalar standartlara uygun bulunmuştur. Liflere dik yönde çekme direncinde durum farklı olup sadece atık kâğıtlardan üretilen levhalarda yüzeye dik çekme direnci genel olarak standart dışıdır. Genel amaçlı üretilen levhalar için minimum 0.24 N/mm² mukavemet gerekliliği bulunmaktadır. %30 ve %50 oranında atık kâğıttan üretilmiş levhalar, bu standarda uygun olarak değerlendirilmiştir ve diğer gruplardaki levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri de bu standarda oldukça yakındır (TS EN 312 2012).

Atık kâğıtların yonga levha teknolojisiyle geri kazanılması orman ürünleri endüstrisinde önemli bir adım olacaktır. Ofis kâğıt atıklarının geri dönüşümü, yeni ve kaliteli ürünlerin üretimine katkı sağlayarak hammadde açığına kısmen bir çözüm getirebilir. Ofis kâğıt atıkları yakılmadan geri dönüşüme kazandırıldığında, karbon emisyonu azaltılarak çevreyi koruyabilir. Ayrıca geri dönüşüm, yeni iş alanları yaratırken hammadde rezervlerini de korur. Türkiye'de bu konuda yapılan araştırmalar ve akademik çalışmalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle, kaynakların geri dönüşümle tekrar ürüne dönüştürülmesi, levha sektöründe üretim maliyetlerini kısmen azaltabilir ve çevresel koşullara katkı sağlayabilir. Dahası, istihdam açısından da olumlu etkileri olabilir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Düzce Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 2023.02.03.1416 numaralı projeden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgül M, Güler C (2002) Orman artıkları, yıllık bitki, tarımsal ve fabrikasyon atıklarının orman ürünleri endüstrisinde değerlendirilmesi. Harran Ün. Müh. Fak. Gap IV. Mühendislik Kongresi (Uluslararası Katılımlı) Bildiriler Kitabı, (2): 1613-1620, Şanlıurfa.
- Anon. (2022) Selüloz ve Kâğıt Sanayii Vakfı İstatistikleri.
- Eshraghi A, Khademislam H (2012) Waste paperboard in composition panels. Cellulose Chem. Technol., 46 (9-10): 637-642.
- Güler C (2005) Orman ürünleri endüstrisinde; artıklar dönüşüm ve yeniden kullanım. Ahşap Teknik Dergisi, (8): 5-8.
- Güler C (2015) Pamuk Saplarından Yonga Levha Üretimi ve Fabrikasyon İşlemi. Türkiye Alim Kitapları Yayınları, ISBN: 978-3-639-67436-1.
- Göker Y, Akbulut T (1992) Factors affecting the properties of particleboard and plywood. Orenko'92: I. National Forest Industry Product Symposium, Trabzon.

- Kalaycıoğlu H, Özen R (2012) Yonga levha Endüstrisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon.
- Konukçu AC, Engin M (2024) Shredded waste office paper as a component with wood particles in the production of particleboard. *BioResources*, 19 (3): 5935-5948.
- Nemli G, Kalaycıoğlu H (2000) Yonga levha teknolojisi. *Laminart*, (7): 120-126.
- Nicewicz D, Pawlicki J, Borysiuk P (2006) Application of waste paper in manufacturing of particleboards, *acta sci colendar. Rat. İnd. Lignar*, 5(1): 163-171.
- Nourbakhsh A, Ashori A (2010) Particleboard made from waste paper treated with maleic anhydride. *Waste Management & Research*, (28): 51–55.
- Taramian A, Doosthoseini K, Mirshokraii SA (2007) Mehdei faezipour a particleboard manufacturing: an innovative way to recycle paper sludge. *Waste Management*, (27): 1739–1746.
- Thompson G, Swain J, Kay M, Forster CF (2001) The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. *Bioresource Technology*, 77 (3): 275-286.
- Şahin HT (2016) Atık kâğıt geri dönüşüm işlemlerinde genel esaslar ve mürekkep uzaklaştırma işlemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (7): 31-37.
- TS-EN 326-1 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar, Numune Alma Kesme ve Muayene. Bölüm 1: Deney Numunelerini Seçimi, Kesimi ve Deney Sonuçlarının Gösterilmesi, Ankara.
- TS EN 323 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini. Ankara.
- TS EN 310 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini. Ankara.
- TS EN 319 (1999) Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini. Ankara.
- TS EN 312 (2012) Yonga Levhalar-Özellikler-Kuru Şartlarda Yük Taşıyıcı Olarak Kullanılan Yonga Levhaların Özellikleri. Ankara.
- TS EN 317 (1999) Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Su İçerisine Daldırma İşleminden Sonra Kalınlığına Şişme Tayini. Ankara.
- URL-1 (2024) Cepi Key Statistics. <http://www.Cepi.org/statistics>., Erişim Tarihi: 10.08.2024.