

## CCA ile emprenyeli sarıçam planya artıklarından üretilen çimentolu yongalevhaların bazı teknolojik özelliklerinin incelenmesi

### Investigation of some technological properties of cement-bonded particleboards manufactured from planer shavings of CCA-treated scotch pine woods

Uğur ARAS<sup>1</sup>, Hüsnü YEL<sup>2</sup>, Hülya KALAYCIOĞLU<sup>3</sup>, Süleyman KUŞTAŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Arsin Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

<sup>4</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Pamukova Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Sakarya, Türkiye

#### Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 1017474/artvinofd.1068053

Sorumlu yazar / Corresponding author

Hüsnü YEL

e-mail: yel33@artvin.edu.tr

Geliş tarihi / Received

04.02.2022

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

15.02.2022

Kabul Tarihi / Accepted

16.02.2022

Elektronik erişim / Online available

15.05.2022

#### Anahtar kelimeler:

Çimentolu Yongalevha

CCA İle Emprenyeli Odun Planya Artıkları

Odun/Çimento Oranı

Pres Sıcaklığı

Fiziksel Özellikler

Mekanik Özellikler

#### Keywords:

Cement-Bonded Particleboard,

CCA-Treated Wood Planer Shavings

Wood-Cement Ratio

Press Temperature

Physical Properties

Mechanical Properties

#### Özet

Bu çalışmanın amacı, bakır-krom-arsenik (CCA) ile emprenyeli sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) planya artıkları kullanılarak üretilen çimentolu yongalevhaların mekanik, fiziksel ve termal özellikleri üzerine odun/çimento oranı ve pres sıcaklığının etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, 3 farklı odun-çimento oranı (1/2, 1/2.5 ve 1/3) ve 2 farklı pres sıcaklığı (20 °C ve 60 °C) kullanılarak 1200 kg/m<sup>3</sup> hedef yoğunluk ve 500 mm x 500 mm x 10 mm boyutuna sahip tek tabakalı çimentolu yongalevhalar üretilmiştir. Üretilen levhalar, fiziksel (rutubet, yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme oranı), mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci ve vida tutma direnci) ve termal (TGA/DTG) özellikler açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pres sıcaklığının artması levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerinde önemli bir iyileşme sağlamıştır. Levhada odun-çimento oranının artması, eğilme direnci ve vida tutma direncini artırırken, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direncini düşürmüştür. Diğer taraftan, odun/çimento oranı arttıkça, su alma ve kalınlığına şişme oranları da artmıştır. TGA sonuçlarına göre, odun-çimento oranının azalması ve pres sıcaklığının artması, levhalarda çimento hidrasyon ürünlerinin artmasına neden olmuştur. Genel olarak, CCA ile emprenyeli planya artıklarından üretilen tüm levhalar, EN standardında belirtilen değerleri karşılamıştır.

#### Abstract

This study investigates the effects of wood/cement ratio and press temperature on the mechanical, physical and thermal properties of cement-bonded particleboards manufactured from the planer shavings of copper-chromium-arsenic (CCA) treated scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) woods. For this purpose, single-layer cement-bonded particleboards were produced in a target density of 1200 kg/m<sup>3</sup> and a dimension of 500 mm x 500 mm x10 mm using three different wood-cement ratios (1/2, 1/2.5 and 1/3) and two different press temperatures (20 °C and 60 °C). The experimental boards produced were evaluated in terms of physical (moisture content, density, water absorption, and thickness swelling), mechanical (modulus of rupture, modulus of elasticity, internal bond strength, screw withdrawal resistance), and thermal (TGA/DTG) properties. The results demonstrated that increasing press temperature significantly improved the mechanical and physical properties of the boards. An increase in wood-cement ratio improved bending strength and screw withdrawal resistance and decreased internal bond strength and modulus of elasticity. In addition, the high wood-cement ratio led to an increase in the water absorption and the thickness swelling. TGA results revealed that an increase in cement ratio and press temperature led to a significant improvement in the cement hydration products. In general, all the boards made from CCA-treated planer shavings met the requirements specified in EN 634-2 standard.

## GİRİŞ

Odun-çimento kompozit malzeme, kompozit endüstrisinde en yenilikçi ürünlerden birisidir (Rana ve ark. 2020). Düşük üretim maliyeti, yüksek mekanik direnç, iyi ses ve ısı izolasyonu, yangın, su, mantar ve böceğe karşı yüksek dayanım ve çevre dostu bir ürün olması gibi üstün

özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Quiroga ve ark. 2016).

Odun/çimento oranı, su/çimento oranı, yoğunluk, bağlayıcı türü, presleme koşulları, lignoselülozik materyalin türü ve boyutu gibi birçok faktör odun-çimento kompozit malzemelerin özelliklerini

etkilemektedir (Semple ve Evans 2004). Odun-çimento kompozit malzemelerin üretimindeki en büyük zorluklardan birisi, çimento sertleşme süresinin uzamasına ve düşük mekanik dirence neden olan, odun ve çimento arasındaki uyumsuzluktur. Bu durum, üretimde kullanılan lignoselülozik materyalin türü ve miktarına göre değişiklik göstermektedir. Alkali ortamda çözünebilen basit şekerler ve ekstraktif maddeler bu uyumsuzluğun başlıca sorumlularıdır (Brahmia ve ark. 2020). Her odun türü farklı kimyasal bileşime sahip olduğundan dolayı, bunların çimento hidrasyonu üzerindeki etkisi de farklı olmaktadır. Kavak ve ladin odunları, çimento ile yüksek bir uyumluluğa sahip olduğundan dolayı odun-çimento kompozit malzemelerin üretiminde en çok kullanılan türlerdir (Kochova ve ark. 2020). Diğer taraftan, kızılğaç ve karaçam gibi yüksek miktarda tanen ve şeker içeren türler ise çimento hidrasyon reaksiyonunu büyük oranda engellediği için odun-çimento kompozit malzeme üretimi için tercih edilmemektedir (Aro 2008). Bu uyumsuzluk sorunu, lignoselülozik malzemelerin odun-çimento kompozit malzemedeki kullanımını kısıtlamaktadır. Odun-çimento-su karışımına, farklı oranlarda  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  gibi kimyasal katkı maddeleri ilave edilerek odun-çimento uyumsuzluğu belirli bir dereceye kadar azaltılarak, üretilen levhanın direnci artırılabilir. Bunun yanında, üretimden önce odun hammaddesinin soğuk/sıcak su ekstraksiyonu ve %1 NaOH ekstraksiyonu gibi ön işlemlere tabi tutulması, odunun çimento hidrasyon reaksiyonu üzerindeki olumsuz etkisini azaltabilmektedir (Rana ve ark. 2020). Son yapılan çalışmalarda ise, bu iki yöntemin birlikte uygulanması odun-çimento uyumsuzluğu üzerinde çok daha iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Nasser ve ark. 2014).

Liflevha, maden direği, yongalevha, tel direği, kontrplak, mobilya, palet, kereste, ambalaj sandıkları ve kağıt gibi odun ve odun esaslı malzemelerin üretimi ve taşınması esnasında ve kullanımı sonrası ortaya çıkan artıklar, sürekli artış eğiliminde olup küresel bir sorun haline gelmiştir (Kalaycıoğlu ve Özen 2012, Yel 2015). Bunun yanında, odun ve odun esaslı malzemeler, su, mantar, böcek ve yangına karşı dayanımını ve kullanım ömrünü arttırmak amacıyla, insan ve çevre sorunlarına neden olan birçok koruyucu kimyasal ile emprenye edilmektedir.

Fakat kullanım ömrünü tamamlamış emprenyeli odun artıkları, genellikle ya yakacak malzeme olarak kullanılmakta ya da doğada çürümeye terk edilmektedir. Bu durum hem çevre kirliliğine hem de orman varlığının etkin bir şekilde kullanılmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, çevresel ve ekonomik etkileri dikkate alındığında, odun ve odun esaslı malzemelerin üretimde tekrar değerlendirilmesi son derece önemli bir konu haline gelmiştir. Çevre kirliliğinin azaltılması, ürün maliyetlerinin düşürülmesi ve odun hammaddesinde yaşanan darboğazın aşılması amacıyla, yıllık bitkiler ve tarımsal artıklar gibi odun dışı lignoselülozik malzemeler yanında odun ve odun esaslı levha artıklarının üretimde değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar her geçen gün önemini artırmaktadır.

Qi ve ark. (2006), kullanım ömrünü tamamlamış liflevha artıklarından çimentolu liflevha üretmiştir. Normal odun lifinden üretilen çimentolu liflevhalar ile karşılaştırıldığında, artık liflevhadan üretilen çimentolu liflevhaların su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde iyileşme olurken, mekanik özelliklerinde ise az da olsa bir düşüşün olduğu rapor edilmiştir.

Kasai ve ark. (1998), inşaatlardan elde edilen kereste artıklarının çimentolu levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, beton ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir basınç –eğilme direnci ilişkisi elde edilmiştir.

Ashori ve ark. (2012), çimentolu yongalevha üretiminde atık ahşap demiryolu traverslerinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, artık ahşap demiryolu traverslerinin kullanımının, çimentolu levhaların su alma ve kalınlığına şişme değerlerini düşürdüğünü ve mekanik özellikleri üzerinde ise önemli bir etkiye sahip olmadığını tespit etmişlerdir.

Nasser ve ark. (2016), soğuk veya sıcak su ekstraksiyonu ve %3 oranında  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  veya  $\text{MgCl}_2$  kimyasal katkı maddelerinin kullanılması ile 6 farklı ağaç türünün budama artıklarından çimentolu yongalevha üretiminin mümkün olduğunu ifade etmişlerdir.

Huang ve Cooper (2000), CCA ile emprenye edilmiş kızılçam tel direklerinin çimentolu levha üretiminde

değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada; CCA ile emprenyeli kızılçam odunlarının Portland çimentosu ile daha uyumlu olduğu ve çimentolu yongalevhaların suya karşı dayanım, boyutsal kararlılık ve mekanik direnç değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. CCA ile emprenyeli kızılçam odunlarının çimentolu yongalevhada kullanımıyla bakır ve arsenik sızıntısı büyük oranda engellenmiştir. Ayrıca, CCA ile emprenyeli yongalardan üretilen çimentolu levhalar, yapılan mantar çürüklük testlerinde de yüksek dayanım özellikleri göstermiştir.

Bu çalışmada, CCA ile emprenye edilmiş sarıçam planya artıklarından üretilen çimentolu yongalevhalar üzerine pres sıcaklığı ve odun/çimento oranının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 3 farklı odun-çimento oranı (1/2, 1/2.5 ve 1/3) ve 2 farklı pres sıcaklığı kullanarak CCA ile emprenyeli planya artıklarından tek tabakalı çimentolu yongalevhalar üretilmiştir. Üretilen deneme levhalarının mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci, vida tutma direnci), fiziksel (rutubet, yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme oranı) ve termal (TGA/DTG) özellikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar literatür ve ilgili EN standart değerler ile kıyaslanmıştır.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Bu çalışmada kullanılan CCA ile emprenyeli sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) planya artıkları Trabzon TEDAŞ deposundan temin edilmiştir. Üretimden önce planya artıkları ince yongalama makinesinde öğütülmüş ve ardından elenmiştir. 1.5 mm'lik elekten geçen ve 0.5 mm'lik elek

üzerinde kalan yongalar üretimde kullanılmıştır. İnorganik bağlayıcı olarak kullanılan Portland çimentosu, Trabzon'daki Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Odun ile çimento arasındaki uyumluluğu artırmak amacıyla çimento ağırlığının %5'i oranında kullanılan kalsiyum klorür ( $\text{CaCl}_2$ ), katı halde piyasadan satın alınmıştır. Deneme levhalarına ait üretim planı Çizelge 1'de verilmiştir.

### Deneme levhalarının üretimi

Homojen bir şekilde karıştırılan odun-çimento-su karışımı, 50 cm x 50 cm ebadında ahşap kalıp kullanılarak alüminyum plaka üzerine serilmiştir. Levha taslağı, laboratuvar tipi sıcak pres kullanılarak 24 saat boyunca 18-20 kg/cm<sup>2</sup> basınç altında bekletilmiştir. Daha sonra, çimentonun hidrasyon reaksiyonunun devam etmesi nedeniyle, levhalar 20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl neme sahip klimatize odasında 4 hafta bekletilmiştir. Bu işlemden sonra, levhalar mekanik, fiziksel ve termal testler için ilgili standartlarda belirtilen boyutlarda kesilmiştir.

### Mekanik ve fiziksel testler

Eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülü (EEM) testleri, TS EN 310 (1999) standardına uygun olarak 250 mm x 50 mm x 10 mm boyutundaki örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yüzeye dik çekme direnci (YDÇD) ve vida tutma direnci (VTD) testleri ise sırasıyla TS EN 319 (1999) ve TS EN 320 (2011) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm mekanik testler, Zwick Roel Z050 üniversal test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Deneme levhalarına ait üretim planı

Levha Tipi	O/Ç Oranı*	Pres sıcaklığı	Diğer üretim parametreleri
C1	1/2	8 saat sıcak pres (60 °C) ve 16 saat soğuk presleme	Kimyasal katkı maddesi: %5 $\text{CaCl}_2$ Levha boyutu: 500 x 500 x 10 mm <sup>3</sup> Çimento: Portland çimentosu CEM II B-M (P-LL) 32.5 R Su/çimento oranı: 0.61 Pres basıncı: 18-20 kg/cm <sup>2</sup>
C2	1/2.5		
C3	1/3		
C4	1/2	24 saat soğuk presleme	
C5	1/2.5		
C6	1/3		

\*O/Ç: Odun-çimento oranı

Deneme levhalarının fiziksel testleri (rutubet miktarı, yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme oranı), 5 cm x 5 cm boyutunda örnekler kullanılarak sırasıyla TS EN 322 (1999), TS EN 323 (1999), ASTM D1037 (2006) ve TS EN 317 (1999) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

### Termogravimetrik analiz (TGA)

Deneme levhalarından kesilen küçük parçaların, öğütme ve eleme işlemlerinden sonra termal analiz numuneleri elde edilmiştir. Termogravimetrik analiz (TGA), PerkinElmer TGA-6000 termal analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin TGA/DTG (Termogravimetrik/türev termogravimetrik) değerleri, çimento karbonizasyonunu önlemek için azot atmosferinde, 35 °C'den 900 °C'ye kadar 10 °C/dk ısıtma hızında ölçülmüştür.

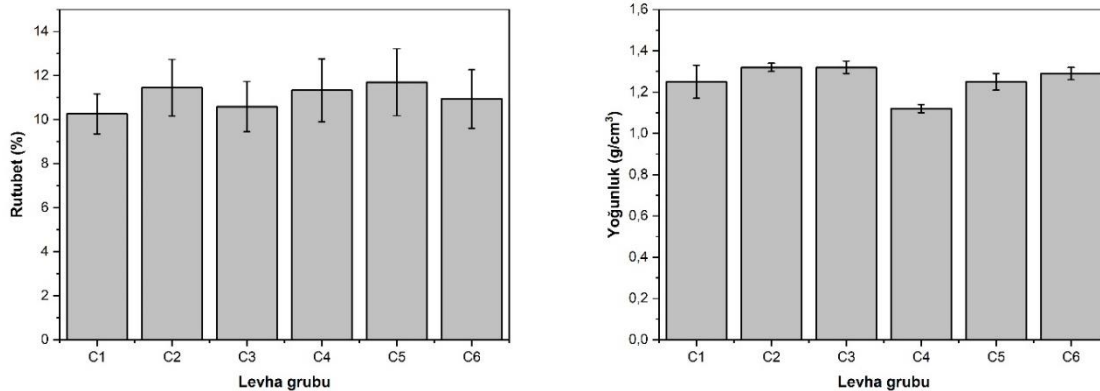
### BULGULAR ve TARTIŞMA

#### Fiziksel özellikler

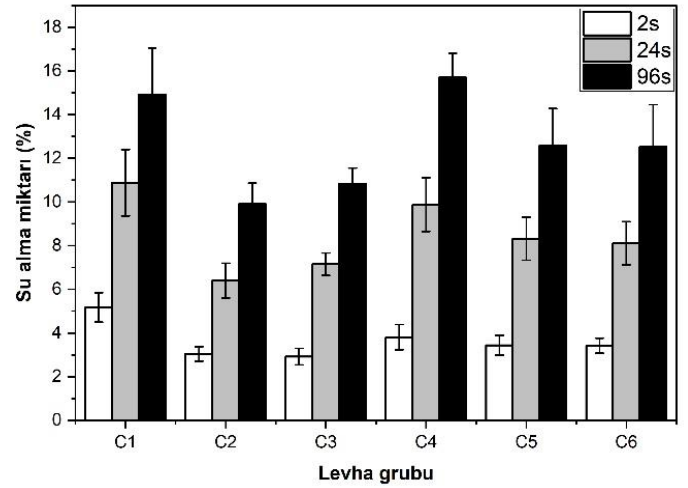
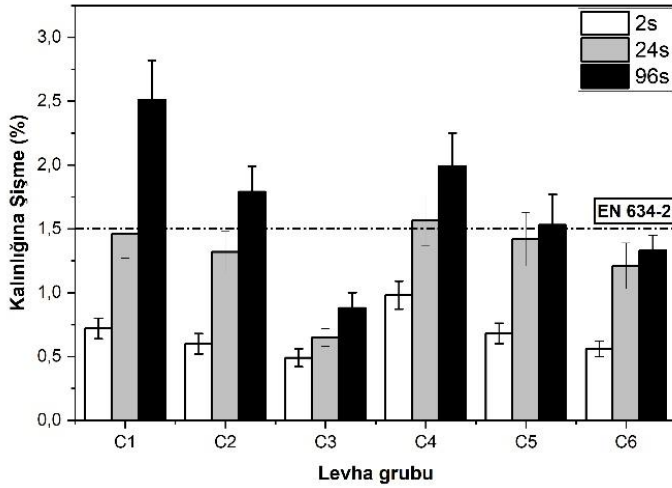
Emprenyeli odun artıklarından üretilen çimentolu yongalevhaların fiziksel özellikleri üzerine odun-çimento ve pres sıcaklığının etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 1-2 ve Çizelge 2-4'te verilmiştir. Levhaların rutubet değerleri %10.26 ile %11.70 arasında bulunmuştur. TS EN 634-1 (1999)'de çimentolu yongalevhaların rutubet değerleri %6 - %12 arasında verilmiştir. Levhaların rutubet değerleri standartlara uygun bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analizi sonucu levhaların rutubet değerleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yoğunluk değerlerinde genel olarak hedef yoğunluğa yakın değerler elde edilmekle birlikte C4

levha grubunda yoğunluk değerlerinde geri yaylanmadan kaynaklanan azalma daha fazla meydana gelmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda levhaların su alma ve kalınlığına şişme değerleri üzerine suda bekletme süresi, çimento oranı ve sıcaklık parametrelerinin önemli olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ).

Suda bekletme süresinin artmasıyla su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde artış meydana gelirken çimento oranının artması da boyutsal kararlılığı olumlu etkilemiştir. Odun çimento kompozitlerinde kullanılan yonga miktarının artmasıyla birlikte yongaların daha fazla su alma meyiline sahip olması sebebiyle boyutsal kararlılıkta azalma meydana gelmektedir (Savastano ve ark. 2003). Marzuki ve ark. (2011) çimento oranının artmasıyla birlikte yongaların çimento ile daha iyi bir bağlanma gerçekleştirerek kalınlığına şişme değerlerini azalttığını belirtmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada çimento odun oranının 1.15'ten 2.75'e çıkması ile su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde azalma meydana gelmiştir (Castro ve ark. 2018). Levhaların preslenmesi esnasında sıcaklık uygulaması, çimentonun hidratasyon reaksiyonu üzerinde olumlu etki yapmıştır. Bu durum, çimento ile odun arasındaki bağ kuvvetini arttırdığından dolayı, levhaların boyutsal kararlılığında önemli bir artış sağlanmıştır. TS EN 634-2 (2009)'de 24 saatte maksimum kalınlığına şişme oranı %1.5 olarak verilmiştir. C4 grubu hariç levhaların kalınlığına şişme değerleri standartla uyum göstermektedir. Odun-çimento oranının artması ve sıcaklık uygulanmaması C4 grubu levhalarda düşük odun-çimento bağına ve daha fazla geri yaylanmaya neden olmuştur. Bu durum, levhaların daha fazla su almasına ve daha fazla kalınlığına şişmesine neden olmuş olabilir.



Şekil 1. Çimentolu yongalevhaların rutubet ve yoğunluk değerleri



Şekil 2. Çimentolu yongalevhaların kalınlığına şişme ve su alma miktarı değerleri

Çizelge 2. Yoğunluk ve rutubet değerlerine ait homojenlik grupları

Fiziksel özellikler	Homojenlik grupları						P değeri
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
Yoğunluk	b	a	a	c	b	ab	0.0001
Rutubet	a	a	a	a	a	a	0.0714

Çizelge 3. Kalınlığına şişme değerlerine ait varyans analiz sonuçları ve homojenlik grupları

Varyans kaynağı	P değeri	Homojenlik grupları	
Süre	0,0001	Süre	Çimento oranı
Çimento oranı	0,0001	2 saat	a 1:3 a
Sıcaklık etkisi	0,0001	24 saat	b 1:2.5 b
Süre*Çimento oranı	0,0001	96 saat	c 1:1 c
Süre*Sıcaklık	0,0001		
Çimento oranı*Sıcaklık	0,0001		
Süre*Çimento oranı*Sıcaklık	0,0001		

Çizelge 4. Su alma miktarı değerlerine ait varyans analiz sonuçları ve homojenlik grupları

Varyans kaynağı	P değeri	Homojenlik grupları	
Süre	0.0001	Süre	Çimento oranı
Çimento oranı	0.0001	2 saat	a 1:3 a
Sıcaklık etkisi	0.0001	24 saat	b 1:2.5 a
Süre*Çimento oranı	0.0001	96 saat	c 1:1 b
Süre*Sıcaklık	0.0001		
Çimento oranı*Sıcaklık	0.0001		
Süre*Çimento oranı*Sıcaklık	0.4687		

## Mekanik özellikler

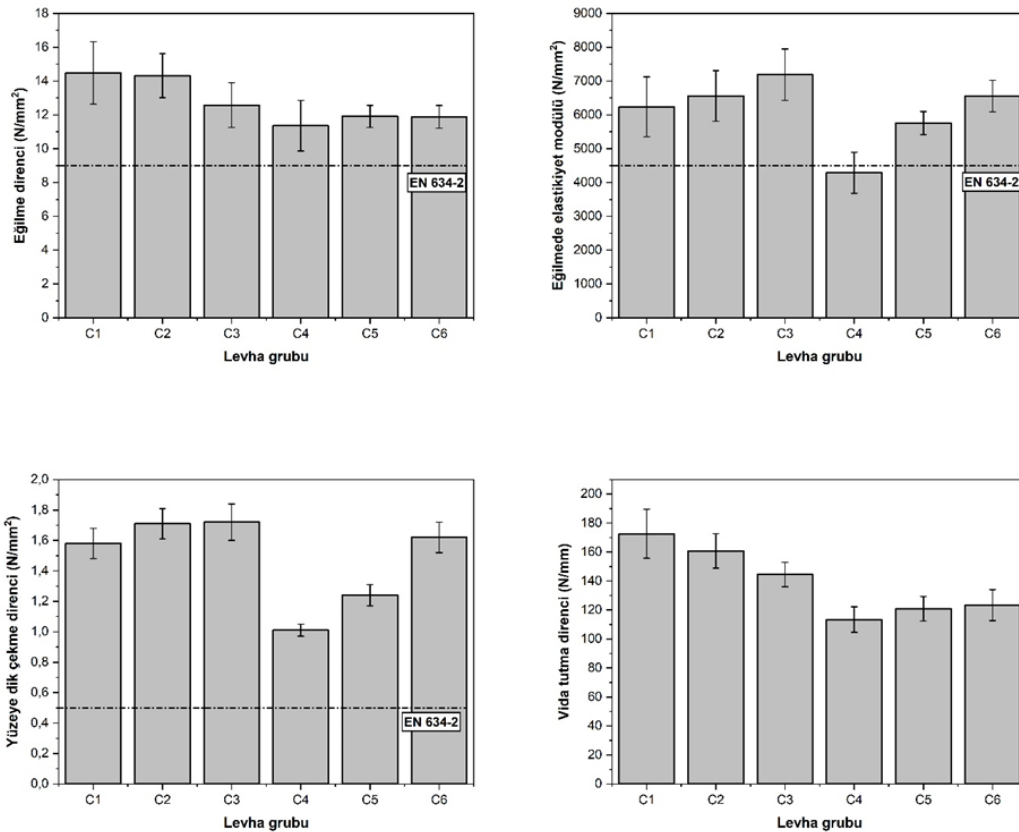
Emprenyeli odun artıklarından üretilen çimentolu yongalevhaların mekanik özellikleri üzerine odun-çimento ve pres sıcaklığının etkisi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3 ve Çizelge 5'te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 5), hem odun-çimento oranı hem de pres sıcaklığının çimentolu yongalevhaların mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip

olduğu tespit edilmiştir. Ancak soğuk presleme ile üretilen levhaların eğilme direnci ve vida tutma direnci değerleri üzerinde odun-çimento oranının istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Genel olarak, üretimde 60 °C pres sıcaklığı uygulamanın levhaların mekanik özelliklerini artırdığı görülmüştür. 60 °C'ye kadar sıcaklık uygulamalarının çimento hidrasyonu üzerinde olumlu etkisinin olduğu bilinmektedir. Fakat ağaç türlerinin farklı kimyasal bileşime sahip olması ve yüksek

sıcaklıkta çözünürlüklerinin artmasından dolayı, odun-çimento kompozit malzemelerde sıcaklığın çimento hidratasyonu üzerindeki etkisi ağaç türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Tang ve ark. (2017), farklı ortam sıcaklığının (normal, 40, 60, 75 and 90 °C) betonun hidratasyon reaksiyonu üzerindeki etkisini belirlediği çalışmada, sıcaklığın beton hidratasyonu üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve en yüksek mekanik özelliklerin 60 °C'lik ortamda sertleşen beton örneklerinden elde edildiğini rapor etmiştir. Yel ve ark. (2020), kavak ve ladin yongalarından üretilen çimentolu yongalevhaların üretiminde farklı pres sıcaklıkları (20, 30, 40, 50, 60, 70 ve 80 °C) uygulamıştır. En iyi mekanik ve fiziksel özellikler, 40 °C'de üretilen kavak esaslı levhalarda ve 60 °C'de üretilen ladin esaslı levhalarda bulunmuştur. Diğer taraftan, Ashori ve ark. (2012) demiryolu traverslerinden ürettikleri çimentolu levhalarda 25 °C ve 60 °C pres sıcaklığı uygulamıştır. Araştırmacılar, en yüksek mekanik özellikler ve en düşük fiziksel özelliklerin, 25 °C'de üretilen levhalardan elde edildiğini rapor etmiştir. Huang ve Cooper (2000), emprenyeli kızılçam odununun emprenyesiz olana göre çimento ile daha iyi

uyumluluk gösterdiği ve dolayısıyla daha iyi mekanik ve fiziksel özellikler verdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında, emprenyeli kızılçam odunundan üretilen çimentolu levhaların eğilme direnci (2-6 N/mm<sup>2</sup>) ve eğilmede elastikiyet modülü (2000-3800 N/mm<sup>2</sup>) değerlerinin çok daha düşük olduğu ve standart değerleri karşılamadığı anlaşılmaktadır.

TS EN 634-2 (2009) standardında, çimentolu yongalevhaların eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnç değerlerinin sırasıyla minimum 9 N/mm<sup>2</sup>, 4500 N/mm<sup>2</sup> ve 0.5 N/mm<sup>2</sup> olması gerektiği belirtilmiştir. Üretilen tüm levhaların eğilme direnci ve yüzeye dik çekme direnci değerleri, standart değer üzerinde bulunmuştur. C4 grubu hariç diğer tüm levha gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri de standardı karşılamıştır. Odun-çimento oranının artması ve preslemede sıcaklık uygulanmaması, C4 grubu levhalarda düşük odun-çimento bağına, daha fazla geri yaylanmaya ve daha düşük yoğunluğa neden olmuştur. Bu durum, C4 grubu levhalarda daha fazla direnç kayıpları meydana getirmiştir.



Şekil 3. Çimentolu yongalevhaların mekanik özellikleri

Eğilme direnci ve vida tutma direnci testlerinde en yüksek değerler, 1/2 odun-çimento oranı ve 60 °C pres sıcaklığı uygulanan C1 grubu levhalarda, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzey dik çekme direnci testlerinde ise en yüksek değerler 1/3 odun-çimento oranı ve 60 °C pres sıcaklığı uygulanan C3 levha grubunda gözlenmiştir. Levhada çimento miktarının artması eğilme direnci ve vida tutma direncini düşürürken, eğilmede elastikiyet modülünü ve yüzeye dik çekme direnci değerlerini arttırmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermektedir. Papadopoulos ve ark. (2006) çalışmalarında 1/2 ve 1/3 odun-çimento oranı kullanarak ürettikleri çimentolu levhaların eğilme direnci değerlerini sırasıyla 12.25 N/mm<sup>2</sup> ve 8.27 N/mm<sup>2</sup>, eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sırasıyla 4949.1 N/mm<sup>2</sup> ve 5212.5 N/mm<sup>2</sup> ve yüzeye dik çekme direnci değerlerini ise sırasıyla 0.87 N/mm<sup>2</sup> ve 0.94 N/mm<sup>2</sup> bulmuştur. Yonga miktarı ve yongalar arası yüzey temas alanının artması, dolayısıyla yük altında levhanın geriliminin yük uygulanan bölgeden diğer bölgelere dağılışı artmakta ve levhanın eğilme direncinde artış olmaktadır. Bunun yanında, çimentonun odundan daha rijit bir yapıya sahip olmasından dolayı çimentolu yongalevhalarda çimento miktarı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü de artmıştır (Moslemi ve Pfister 1987). C4 levha grubunun en düşük mekanik özellikler vermesi, diğer faktörler yanında geri yaylanmadan kaynaklı düşük yoğunluk değerlerinin de etkisi olmuş olabilir.

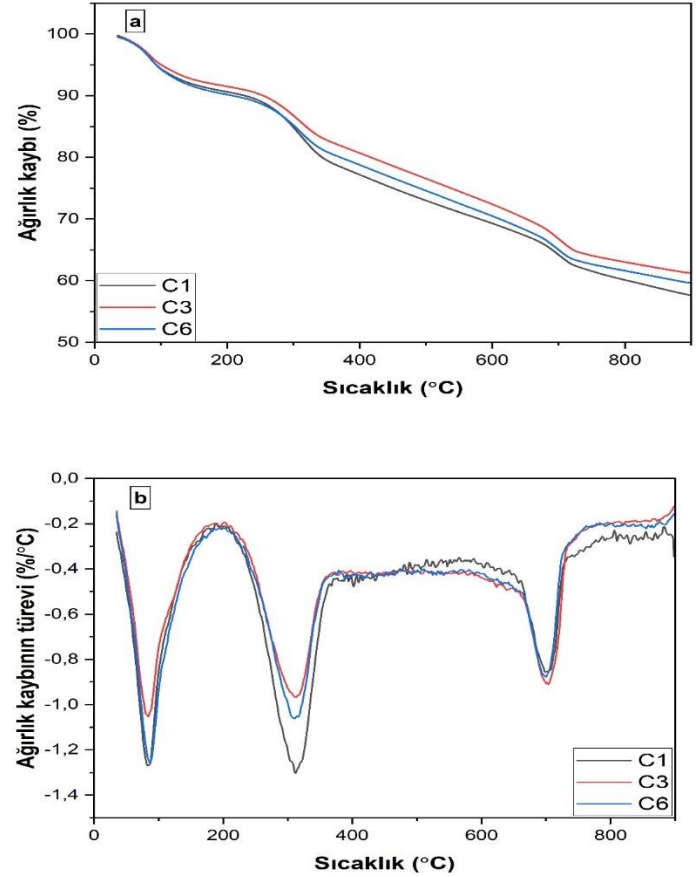
**Çizelge 5.** Mekanik özelliklere ait varyans analizi sonuçları ve homojenlik grupları

Mekanik özellikler	Homojenlik grupları						P değeri
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
ED	a	a	b	b	b	b	0.0001
EEM	bc	ab	a	d	c	ab	0.0001
YDÇD	b	a	a	d	c	b	0.0001
VTD	a	b	c	d	d	d	0.0001

ED: Eğilme direnci, EEM: Eğilmede elastikiyet modülü, YDÇD: Yüzeye dik çekme direnci, VTD: Vida tutma direnci

### Termal özellikler

Levhaların termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları Şekil 4 ve Çizelge 6'da verilmiştir. Levha örneklerinin oda sıcaklığından 900 °C'ye kadar ısıtıldığı termal analizde 4



**Şekil 4.** Çimentolu yongalevhaların TGA (a) ve DTG (b) grafikleri

adet endotermik pik meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4). İlk pikler (75- 104 °C), levhalardaki kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), etrenjit ve odun yongalarından su ayrılması sonucu meydana gelmektedir (Wang ve ark. 2020). İkinci pikler (290-325 °C), levhadaki odun bileşenlerinin [(selüloz (275-350 °C), hemiselüloz (180-350 °C), lignin (250-500 °C)] bozunması sonucu meydana gelmiştir (Kim ve ark. 2006). Bu nedenle, çimentolu yongalevhalarındaki odun/çimento oranının artması, 2. Pik'teki ağırlık kaybını artırdığı görülmüştür (Çizelge 6). Üçüncü pikler (395-4467 °C), bir çimento hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksitin [Ca(OH)<sub>2</sub>] bozunması ile ilgilidir. Kalsiyum hidroksit miktarı, çimento hidratasyon derecesi hakkında çok önemli bir göstergedir. Kalsiyum hidroksit miktarı ne kadar fazla ise, çimento hidratasyon derecesinin de o kadar yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Odun-çimento oranı azaldıkça, levhadaki odun miktarı azalmakta ve çimento miktarı artmaktadır. Bu durum, çimento hidratasyonunun odundan daha az etkileneceği ve daha fazla hidratasyon ürünü meydana getireceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle odun-çimento oranı azaldıkça, 3. Pik'teki ağırlık kaybı artmıştır. Ayrıca,

Çizelge 6. Çimentolu yongalevhaların TGA sonuçları

Levha Tipi	1. pik		2. pik		3. pik		4. pik		Kalıntı miktarı (900 °C)
	T (°C)	AK (%)	T (°C)	AK (%)	T (°C)	AK (%)	T (°C)	AK (%)	
C1	83	3.94	311	6.92	447	0.64	694	2.07	57.65
C3	81	3.45	318	4.85	396	0.74	698	2.32	61.240
C6	94	4.86	315	5.32	426	0.52	709	2.16	59.617

\*T: Sıcaklık (°C); AK: Ağırlık kaybı (%)

levhalara sıcaklık uygulaması ile 3.Pik'teki ağırlık kaybı miktarının %0.52'den %0.74'e çıktığı görülmüştür. Bu durum, sıcaklık uygulamasının çimento hidratasyonu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bu sonuçlar, levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki gelişmelerin sebebinin açıklamaktadır.

Yaklaşık 703 °C'de ortaya çıkan son pikler ise, levhadaki kalsiyum karbonatın dekarbonizasyonundan kaynaklanmaktadır. Kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>), bir çimento hidratasyon ürünü olmayıp, kalsiyum hidroksitin [Ca(OH)<sub>2</sub>] karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır (Yel ve ark. 2020, Wang ve ark. 2020). Çimento hidratasyon derecesinin artması kalsiyum hidroksit miktarını arttırmış ve bu nedenle kalsiyum karbonat miktarı da artmıştır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, CCA ile empenyeli sarıçam odunu ile Portland çimentosu arasında yüksek bir uyumluluk olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, üretilen levhaların mekanik direnci, suya karşı dayanımı ve boyutsal kararlılığı, normal odundan üretilen levhalara göre oldukça yüksek bulunmuştur. CCA ile empenyeli sarıçam odunu ile çimento arasındaki yüksek uyumluluk nedeniyle, 60 °C pres sıcaklığı uygulaması, levhaların kalınlığına şişme oranı ve mekanik özelliklerinde önemli bir iyileşmeye neden olmuştur. En yüksek eğilme ve vida tutma direnci değerleri, 1/2 odun-çimento oranı ve 60 °C pres sıcaklığı uygulanan levhalarda, en yüksek eğilmede elastikiyet modülü ve yüzey dik çekme direnci değerleri ise 1/3 odun-çimento oranı ve 60 °C pres sıcaklığı uygulanan levha grubundan elde edilmiştir. Levhalarda çimento miktarının artması eğilme direncini %21 ve vida tutma direncini %34'e kadar düşürürken, eğilmede elastikiyet

modülünü %45 ve yüzeye dik çekme direncini %56'ya kadar artırdığı görülmüştür. TGA sonuçlarına göre, 60 °C pres sıcaklığı uygulaması levhalardaki çimento hidratasyon ürününün artmasına neden olmuştur. Ayrıca odun-çimento oranının artması çimento hidratasyon ürünlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu çalışma, üretimde 60 °C pres sıcaklığı uygulayarak CCA ile empenyeli sarıçam planya artıklarından yüksek direnç özelliklerine sahip çimentolu yongalevhalar üretilebileceğini göstermiştir. CCA ile empenyeli sarıçam planya artıklarının odun-çimento kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi, ekonomik ve çevresel faktörler açısından oldukça önemlidir.

## KAYNAKLAR

- Aro M (2008) Wood Strand Cement Board. In: Proceedings of 11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference. Madrid, İspanya, pp 169-179.
- Ashori A, Tabarsa T, Amos F (2012) Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood-cement composite materials. *Construction and Building Materials* 27: 126-129.
- ASTM D1037 (2006) Standard test method for evaluating properties of wood-based fibres and particle panel materials. ASTM, ABD.
- Brahmia FZ, Horvath PG, Alpar TL (2020) Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composites: a review. *BioResources* 15(3): 7288-7308.
- Castro V, Parchen C, Iwakiri S (2018) Particle sizes and wood/cement ratio effect on the production of vibro-compacted composites. *Floresta e Ambiente* 25(4): e20150213.
- Huang C ve Cooper PA (2000) Cement-bonded particleboard using CCA-treated wood removed from service. *Forest Products Journal* 50(6): 49-56.
- Kalaycıoğlu H, Özen R (2012) Yongalevha endüstrisi ders notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayını, No: 89, Trabzon.
- Kasai Y, Kawamura M, Zhou JD (1998) Study on wood chip concrete with used timber. In: Proceedings of Fourth CANMET/ACI/JCI International Conference. Tokushima, Japonya, pp 905-928.
- Kochova K, Gauvin F, Schollbach K, Brouwers HJH (2020) Using alternative waste coir fibres as a reinforcement in cement-fibre composites. *Construction and Building Materials* 231:1-10.
- Marzuki AR, Rahim S, Hamidah M, Ruslan RA (2011) Effects of wood: cement ratio on mechanical and physical properties of three-



- layered cement-bonded particleboards from *Leucaena leucocephala*. *Journal of Tropical Forest Science* 23(1): 67-72.
- Moslemi AA, Pfister SC (1987) The influence of cement-wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood Fiber Science* 19: 165-175.
- Nasser RA, Salem MZM, Al-Mefarrej HA, Aref İM (2016) Use of tree pruning wastes for manufacturing of wood reinforced cement composites. *Cement and Concrete Composites* 72: 246-256.
- Nasser R A, Al-Mefarrej HA, Abdel-Aal MA, Alshahrani TS (2014) Effects of tree species and wood particle size on the properties of cement-bonded particleboard manufacturing from tree prunings. *Journal of Environmental Biology* 35: 961-971.
- Papadopoulos AN, Ntalos GA, Kakaras I (2006) Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB. *European Journal of Wood and Wood Products* 64: 517-518.
- Qi H, Cooper PA, Wan H (2006) Effect of carbon dioxide injection on production of wood cement composites from waste medium density fiberboard (MDF). *Waste Management* 26: 509-515.
- Quiroga A, Marzocchi V, Rintoul I (2016) Influence of wood treatments on mechanical properties of wood-cement composites and of *Populus Euroamericana* wood fibers, *Composites Part B: Engineering* 84: 25-32.
- Rana MN, Islam MN, Nath SK, Das AK, Ashaduzzaman M, Shams MI (2020) Influence of chemical additive on the physical and mechanical properties of cement-bonded composite panels made from jute stick. *Journal of Building Engineering* 31: 1-6.
- Savastano JR, Warden PG, Coutts RS (2003) Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas. *Cement and Concrete composites* 25(6): 585-592.
- Semple E, Evans PD (2004) Suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas, *Rural Industries Research and Development Corporation, Publication 4 (102), Kingston, Avustralya*.
- Tang Y, Su H, Huang S, Qu C, Yang J (2017) Effect of curing temperature on the durability of concrete under highly geothermal environment, *Advances in Materials Science and Engineering* 2017: 1-9.
- TS EN 322 (1999) Ahşap esaslı levhalar-rutubet miktarının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 323 (1999) Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 317 (1999) Yonga levhalar ve lif levhalar-su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 310 (1999) Ahşap esaslı levhalar-eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 319 (1999) Yonga levhalar ve lif levhalar-levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 320 (2011) Yonga levhalar ve lif levhalar-vida tutma mukavemetinin tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 634-1 (1999) Çimentolu yonga levhalar- özellikler- bölüm 1: genel özellikler. TSE, Ankara.
- TS EN 634-2 (2009) Çimentolu yonga levhalar - özellikler - bölüm 2: kuru, nemli ve açık hava şartlarında kullanılan normal Portland çimentosu (NPÇ) ile yapıştırılmış yonga levhaların özellikleri. TSE, Ankara.
- Wang L, Chen L, Tsang DCW, Guo B, Yang J, Shen Z, Hou D, Ok YS, Poon CS (2020) Biochar as green additives in cement-based composites with carbon dioxide curing, *Journal of Cleaner Production* 258: 1-8.
- Yel H, Donmez Cavdar A, Boran Torun S (2020) Effect of press temperature on some properties of cement bonded particleboard. *Maderas Cienc Tecnol* 22(1): 83-92.
- Yel H (2015) Bazı üretim faktörlerinin çimentolu yongalevhaların özellikleri üzerine etkileri. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon, 225s*.