

Esmer çürüklük mantarına karşı ısıtılmış ve yoğunlaştırılmış kavak odununun biyolojik dayanımının araştırılması

Gonca Düzkale Sözbir^{a,*}, İbrahim Bektaş^b

Özet: Kavak odunu örnekleri, çevre ve insan sağlığına herhangi bir zararı olmaması nedeniyle önce ısıtılma sonrada basınç altında yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Kavak odunu (*Populus usbekistanica*) örneklerine 120, 160 ve 200 °C sıcaklıklarda 60 ve 180 dakika olarak iki farklı süre ile ısıtılma uygulanmış ve ısıtılma işlemi gören örneklerin yarısının sıcak pres altında basınç ile yoğunluğu artırılmıştır. Daha sonra, ısıtılma uygulanan ve yoğunlaştırılan örneklerin, AWP A E10-12 standardı ve EN113 standardı modifiye edilerek petri kaplarında, esmer çürüklük mantarına karşı dayanımı araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, örneklerde sıcaklık ve zaman arttıkça kütle kaybının arttığı, en fazla kütle kaybının 200 °C'de süre artışına paralel olarak meydana geldiği tespit edilmiştir. Yoğunluğun, kütle kaybına bağlı olarak artan ısıtılma sıcaklığıyla birlikte azaldığı, basınç işleminin yoğunluğu artırdığı belirlenmiştir. ısıtılma işlemi uygulandıktan sonra yoğunlaştırılan örneklerde, kütle kaybına bağlı olarak artan sıcaklıkla birlikte yoğunluk azalmaları görülmüştür. Öte yandan, AWP A standardına göre test edilen örnekler, *Postia placenta* mantarına karşı yoğunlaştırma işleminin, tek başına uygulanan ısıtılma işlemi ile karşılaştırıldığında dayanımı artırdığı, ayrıca *Neolentinus lepideus* mantarına karşı dayanımda ise, ısıtılma işleminin daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Modifiye edilen EN 113 standardına göre petri kaplarında test edilen örneklerde, *Coniophera puteana* mantarına karşı yoğunlaştırma işlemi dayanımı artırırken, *Neolentinus lepideus* mantarına karşı ise ısıtılma işleminin daha etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: ısıtılma, Yoğunlaştırma, Esmer çürüklük mantarı, Kavak odunu

Investigation of biological durability of heat treated and densified poplar wood against brown rot fungi

Abstract: Poplar wood samples were subjected to heat treatment first and then densification under pressure since there was no harm to the environment and human health. Poplar wood (*Populus usbekistanica*) samples were heat treated at 120, 160 and 200 °C for 60 and 180 minutes for two different periods and the density of half of the heat treated samples was increased under hot press. Then, the heat treated and densified samples, AWP A E10-12 standard and EN113 standard was modified, resistance to brown rot fungi was investigated. As a result of the study, it was determined that as the temperature and time increases, the mass loss increases and the maximum mass loss occurs in parallel with the increase in time at 200 °C. It has been determined that the density decreases with increasing heat treatment temperature due to the mass loss and the pressure treatment increases the density. Densified samples after heat treatment showed density decreases with increasing temperature due to mass loss. On the other hand, the samples tested according to the AWP A standard showed that the densification process against *Postia placenta* fungus increased the resistance compared to the heat treatment applied alone, and that heat treatment was more effective in resistance against *Neolentinus lepideus* fungus. In the samples tested in petri dishes according to the modified EN 113 standard, the densification process against *Coniophera puteana* fungus increased the resistance, while the heat treatment against *Neolentinus lepideus* fungus was found to be more effective.

Keywords: Heat modification, Densification, Brown rot fungi, Poplar wood

1. Giriş

Dünya nüfusunun her geçen gün artmasıyla birlikte, doğal odun kaynakları ihtiyacı karşılayamamakta, bu nedenle, artan talebi karşılayabilmek için mevcut kaynakların yeterli ve uzun süreli kullanımı önem kazanmaktadır. Ahşaba duyulan talep artışına cevap verebilmek için geçmişten bugüne çok çeşitli odun koruma yöntemleri geliştirilmektedir. Bunların içerisinde en yaygın uygulananı emprenye işlemi olmuştur. Ancak, bu yöntem uzun süre kullanılmış olmasına rağmen, uygulama sırasında

kullanılan kimyasalların içeriklerinde değişen oranlarda çevre ve canlı sağlığına olan zararlı etkilerinden dolayı, ısıtılma modifikasyonu ve odunun yoğunluğunun artırılması (Yoğunlaştırma) işlemlerinin de aralarında bulunduğu diğer çevre dostu yöntemlerin geliştiği hız kazanmıştır (Kartal vd., 2006; Demirel ve Temiz, 2015).

ısıtılma işlemi, Boonstra (2008) ve Rowell vd. (2009) tarafından, hücre çeperi bileşiklerinin (selüloz, hemiselüloz, lignin vb.) kimyasal içeriklerinde kalıcı değişimlerle sonuçlanan fiziksel bir proses olarak tanımlanmıştır. ısıtılma işlemi, odunun yapısının modifiye edilmesine neden

✉ ^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş.

^b Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş.

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): goncaduzkale@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 23.10.2019, **Accepted** (Kabul tarihi): 25.11.2019



Citation (Atıf): Düzkale Sözbir, G., Bektaş, İ., 2019. Esmer çürüklük mantarına karşı ısıtılma işlemi görmüş ve yoğunlaştırılmış kavak odununun biyolojik dayanımının araştırılması. Turkish Journal of Forestry, 20(4): 421-426. DOI: [10.18182/tjf.636671](https://doi.org/10.18182/tjf.636671)

olduğundan performansını arttırmaktadır. Isıl işlem uygulamasıyla ahşap malzemede, mantar ve böceklerle karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubet içeriği, odunun çalışmasındaki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinde uzama gibi birçok avantaj sağlanmaktadır (Wikberg, 2004; Jones ve Enjily, 2006).

Ağaç malzemenin yoğunluğunun artırılması ile ilgili çalışmalar, özellikle hızlı büyüyen düşük yoğunluklu ağaç türlerinin bu prosesle yoğunluğu artırılarak kullanımıyla başlamıştır (Wang vd., 2000). Yoğunlaştırma, termal basınç işlemi ile yapılmakta ve ağaç malzemenin, boyutsal stabilitesini, higroskopisitesini, dayanıklılığını, yüzey kalitesini ve mekanik özelliklerini etkilemektedir (Welzbacher vd., 2008; Unsal ve Candan, 2008).

Yukarıdaki değerlendirmelerin ışığı altında planlanan bu çalışma ile ısıl işlem ve yoğunlaştırma uygulanan kavak odunu örnekleri, esmer çürüklük mantarlarına maruz bırakılarak, sıcaklık, basınç ve işlem süresi faktörlerine bağlı olarak biyolojik dayanımları araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Çalışmada test materyali olarak, Kahramanmaraş (Türkiye) yöresinden temin edilen kavak odunu (*Populus usbekistanica*) numuneleri kullanılmıştır. Örnekler öncelikle laboratuvar tipi fırında, 120, 160 ve 200 °C sıcaklıklarda 60 ve 180 dk olarak 2 farklı sürede ısıl işleme tabi tutulmuştur (Çizelge 1). Isıl işlem sırasında, örnekler içerisinde 100 ml su bulunan fırında 100 °C sıcaklığa gelinceye kadar tutulmuş ve elde edilen buhar sayesinde örneklerin çatlaması önlenmiştir. 100 °C'ye ulaştıktan sonra, su ortamdan uzaklaştırılmış ve arzu edilen sıcaklığa (120, 160 ve 200 °C) gelinceye kadar sıcaklık artırılmıştır. Isıl işlem tamamlandıktan sonra her bir sıcaklık için örnekler 2 gruba ayrılmış ve ısıl işlem görmüş örneklerin yarısına basınçla yoğunlaştırma işlemi uygulanmıştır. Yoğunlaştırma işlemi laboratuvar tipi sıcak pres kullanılarak yapılmıştır. Örnekler, 120 °C pres sıcaklığında, 5MPa pres basıncı altında 30 dk

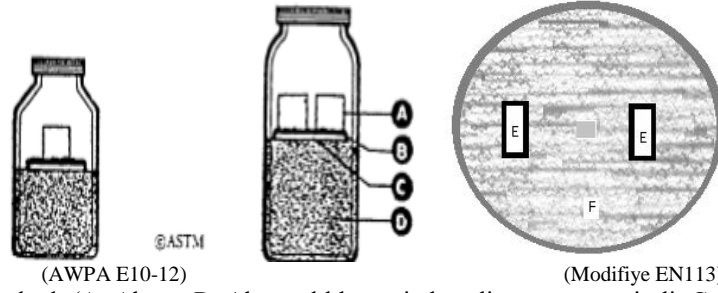
bekletilmek sureti ile yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur (Çizelge 1).

AWPA E10-12 standardı ve EN 113 standardı modifiye edilerek kolle kültür kapları yerine petri kaplarında test edilen örnekler, uygulanacak işleme göre Çizelge 1'de görülen 14 farklı gruba ayrılmış ve her grup deneme için 16'şar adet örnek üzerinde biyolojik dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. AWPA E10-12 standardına göre hazırlanan 14×18×26 mm boyutlarındaki örnekler *Neolentinus lepideus* ve *Postia placenta*, modifiyeli EN113 standardına uygun 9×14×26 mm boyutlarında hazırlanan örnekler ise *Neolentinus lepideus* ve *Coniophera puteana* esmer çürüklük mantarlarının tasallutuna maruz bırakılmıştır (Şekil 1). Test örneklerinin 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nemde yeterli süre klimatize edilerek %12 rutubet derecesine ulaşmaları sağlanmıştır. İklimlendirme dolabında yaklaşık 4 hafta sonunda ağırlığı değişmez hale gelen örnekler, otoklavda 121 °C de 90 dakika bekletilerek sterilize edilmiştir. Sterilizasyon işleminin ardından, örneklerin soğuması ve mantar misellerinin aşılması için, laminar flow kabine alınarak bekletilmiştir. AWPA E10-12 standardı uygulanacak örnekler için, öncesinde toprak ve toprak üstü altlığı sterilize edilmiş ve toprak üstü altlığına daha önceden misel aşılansak geliştirilmiştir. Misel gelişimi sağlanan altlık etrafına, sterilize edilen test örnekleri yerleştirilerek yaklaşık 16 hafta mantara maruz bırakılmıştır. Mantar arızı tamamlanan örnekler şişelerinden çıkartılıp artık miselleri temizlenmiş ve örnekler fırın içerisinde kurutulmuş ağırlık kayıpları belirlenmiştir (Denklem 2). Modifiye edilen EN 113 standardı testi için örnekler test edilmeden önce malt agar besi yeri ortamları hazırlanmış, petri kaplarının merkezine misel aşılması yapılarak petri kapları içerisinde misel gelişimi sağlanmıştır. Misel gelişimi yaklaşık 3 hafta sürmüş ve ardından sterilize edilen test örnekleri petri içerisine yerleştirilerek mantar arızına bırakılmıştır. 16 hafta sonunda örnekler petri kaplarından çıkartılarak, örnekler üzerindeki miseller temizlenmiş ve ardından fırın içerisine yerleştirilerek tam kuru ağırlıkları hesaplanmış ardından ağırlık kayıpları belirlenmiştir (Denklem 2).

Çizelge 1. Test örneklerine uygulanan işlemler

Parametreler	Isıl işlem sıcaklığı (°C)	Isıl işlem süresi (dk)	Basınç miktarı (Mpa)	Basınç sıcaklığı (°C)	Basınç süresi (dk)
MK	-	-	-	-	-
M1	120	60	-	-	-
M2	120	180	-	-	-
M3	160	60	-	-	-
M4	160	180	-	-	-
M5	200	60	-	-	-
M6	200	180	-	-	-
BK	-	-	5	120	30
B1	120	60	5	120	30
B2	120	180	5	120	30
B3	160	60	5	120	30
B4	160	180	5	120	30
B5	200	60	5	120	30
B6	200	180	5	120	30

MK: Kontrol numunesi, BK: Basınç kontrol numunesi



Şekil 1. AWPA E10-12 standardı (A: Ahşap, B: Ahşap altlık üzerinde gelişen mantar miseli, C: Odun altlık, D: Toprak) ve Modifiye edilmiş EN113 standardı (E: Ahşap, F: Malt agar besi ortamında gelişen mantar miseli) uygulanan örneklerin genel görünümü

Testler sırasında hesaplanan, fırın kuru yoğunluk (FKY) ve denge rutubeti (DRM), TS2471'e göre belirlenmiştir. Isıl işleme bağlı kütle kaybı (IML) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Denklem 1);

$$IML(\%) = [(Mi - Ms) / Mi] \times 100 \quad (1)$$

Burada; IML: Isıl işlem sonrası kütle kaybı (%), Mi: Isıl işlem uygulanmadan önceki 103 ± 2 °C deki tam kuru ağırlığı (g), Ms: Isıl işlem uygulandıktan sonraki 103 ± 2 °C deki tam kuru ağırlığı (g)'dir.

Aynı şekilde, mantar arızına bağlı kütle kaybı (DML) aşağıdaki yolla hesaplanmıştır (Denklem 2);

$$DML(\%) = [(DMi - DMs) / DMi] \times 100 \quad (2)$$

Burada; DML: Mantar degradasyonundan sonraki ağırlık kaybı (%), DMi: Proses uygulanmış örneklerin mantar degradasyonuna uğratılmadan önceki 103 ± 2 °C deki tam kuru ağırlığı (g), DMs: mantar degradasyonuna uğratıldıktan sonraki 103 ± 2 °C deki tam kuru ağırlıkları (g)'dir.

3. Bulgular ve tartışma

AWPA E10-12 standardı uygulanmış örneklerin ısıl işlem sonrası ve ısıl işlem uygulanan örneklerin basınçla yoğunlaştırılması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları, tam kuru yoğunlukları ve denge rutubeti yüzdeleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. AWPA E10-12 standardı uygulanan örneklerde ölçülen ağırlık kaybı, tam kuru yoğunluk ve denge rutubeti miktarları

Parametreler	Ağırlık kaybı (%)	Tam kuru yoğunluk (g/cm ³)	Denge rutubeti (%)
MK	-	0.334b	10.52c
M1	0.37a ^(*)	0.332b	10.32bc
M2	0.59a	0.33b	9.84b
M3	0.87a	0.328b	9.78b
M4	1.63a	0.327b	9.63b
M5	5.14b	0.313a	8.47ab
M6	13.41d	0.306a	7.58a
BK	-	0.950e	10.45bc
B1	0.60a	0.944de	10.05bc
B2	0.71a	0.884d	9.82b
B3	1.14a	0.878d	9.74b
B4	1.63a	0.869cd	9.56b
B5	4.32b	0.859cd	8.37ab
B6	9.80c	0.668c	7.43a
ANOVA	($\rho < 0.001$)	($\rho < 0.001$)	($\rho < 0.001$)

(*)Duncan'ın testi sonuçlarına göre, aynı küçük harfle temsil edilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Kavak odununa uygulanan ısıl işlem sonucunda, sıcaklık ve süreye bağlı olarak, test örneklerinin ağırlık kaybı yüzdelerinde (%0.37-13.41 aralığında) bir artış olduğu Çizelge 2'de gösterilmiştir. Farklı proseslerin neden olduğu kütle kayıpları arasındaki farklılıkların, istatistiki analiz sonuçlarına göre $\rho < 0.001$ düzeyinde anlamlı olduğu aynı tablodan anlaşılmaktadır. Ancak, 120 ve 160 °C sıcaklıkta ısıl işlem uygulanan örneklerden elde edilen kütle kayıpları arasında Duncan testi sonuçlarına göre M1, M2, M3, M4 grupları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. En fazla kütle kayıpları ise 200 °C sıcaklık ve 180 dk süre ile ısıl işlem uygulanan M6 (%13.41) ve B6 (%9.80) grubu örneklerde ortaya çıkmıştır.

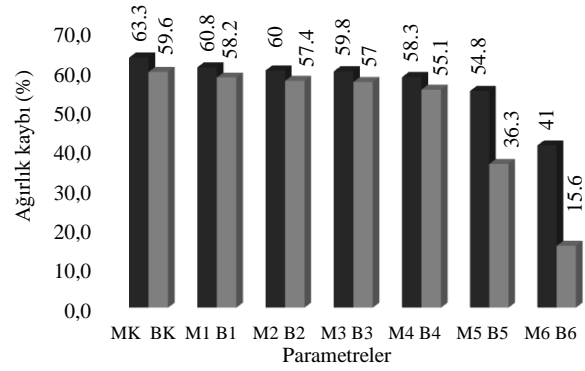
Basınç uygulanarak yoğunlaştırma işleminde kullanılan pres sıcaklığı (120 °C) herhangi bir kütle kaybına neden olmamıştır. Kütle kaybındaki azalmaya bağlı olarak odunun denge rutubetinde doğru orantılı olarak azalma görülmüştür. Uygulanan ısıl işlemde sıcaklık ve sürenin artmasıyla, tam kuru yoğunluk değerinde bir miktar azalma görülmüştür (Çizelge 2). Bu durum kütle kaybının azalması ile açıklanabilir. Ayrıca basınç ile yoğunlaştırma işlemi, örneklerin yoğunluğunda ortalama 3 katı kadar bir artışa neden olmuştur. Isıl işlemin ardından uygulanan yoğunlaştırma işlemi, artan yoğunlukla birlikte, uygulanan ısıl işlem sıcaklığının artmasıyla, yoğunlukta azalmalara neden olmuştur. En yüksek yoğunluk artışı basınç kontrol örneklerinde (BK: 0.950 g/cm³), en düşük yoğunluk değeri ise 200 °C ve 180 dk süre ile ısıl işlem uygulanan kavak örneklerinde (M6: 0.306 g/cm³) elde edilmiştir. Metsa-Kortelainen ve Viitanen (2011) yaptıkları bir çalışmada, 200 °C ve üzerinde yapılan ısıl işlemin, hemiselülozu degradasyona uğratmasından dolayı, odunda yoğunluk kayıpları oluştuğunu ortaya koymuştur. Diğer bir kaynakta (Korkut ve Budakçı, 2010) ise üvez ağacı odununu 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda ve belirli sürelerde (2, 6, 10 sa) ısıl işleme tabi tutulduktan sonra, odunun tam kuru yoğunluk değerlerinde, sıcaklık ve sürenin artmasıyla birlikte azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir. Yine, Bal ve Bektaş (2012) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmanın sonuçları, okalptüs odunun 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda 4, 6, 8 sa sürelerle ısıl işleme maruz bırakılması ile artan sıcaklık ve zamana bağlı olarak örneklerde kütle kaybının arttığını göstermiştir. Ayrıca Sözbir vd. (2019) yaptığı bir çalışmada, kavak odunu örneklerini ısıl işleme tabi tutarak mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişler ve örneklere uygulanan ısıl işlem sıcaklığı arttıkça, kütle kaybının da arttığını tespit etmişlerdir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, *Postia placenta* mantarına karşı en yüksek direnç değerleri, 200 °C 'de 180 dk ısıl işlem

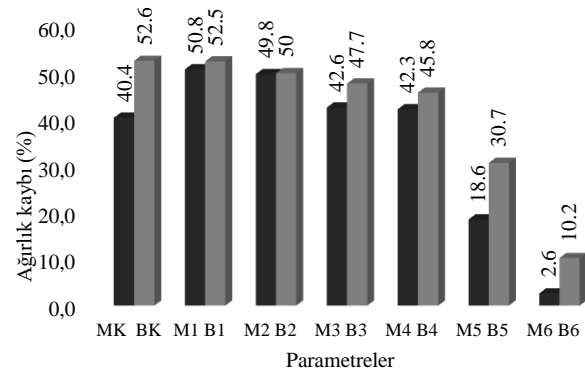
uygulanan ve yoğunlaştırılan kavak odunu örneklerinde (B5 ve B6) tespit edilmiştir. Yani, ısıtma işlemi uygulaması ve yoğunlaştırma, *P.placenta* mantarına karşı dayanımı kontrol örneğine göre arttırmaktadır. Şekil 2'deki grafik, ısıtma işleminden sonra uygulanan yoğunlaştırma işleminin, süre, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak kavak örneklerinde değişen oranlarda ağırlık kaybını azaltıp bunun sonucu olarak biyolojik dayanımı arttırdığı söylenebilir. En yüksek ağırlık kaybı, kontrol örneğinde (MK) %63.3 olarak hesaplanırken, en düşük ağırlık kaybı %15.6 ile 200 °C ısıtma işlemi gördükten sonra yoğunlaştırılan (B6) örneklerde tespit edilmiştir. Isıtma işlemi uygulanan M grubu örneklerin tamamında, yoğunlaştırılmış B grubu örneklerle karşılaştırıldığında, yoğunlaştırılmış B grubu örneklerde daha fazla ağırlık kayıpları oluşmuştur. Ünsal vd., (2009) tarafından, çam odunu örnekleri, 5 Mpa ve 7 Mpa basınçla 120 ve 150 °C sıcaklıkta 60 dk süre ile yoğunlaştırma işlemine tabi tutularak *Trametes versicolor* esmer çürüklük mantarına karşı AWA E10-06 standardına göre dayanımı araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kontrol örneğinde %40 ağırlık kaybı görülürken, yoğunlaştırılmış odunun ağırlık kaybının %35 olduğu belirlenmiştir. Skyba vd., (2009) benzer bir çalışmada, kayın ve göknar odunu örnekleri, basınçla ve sıcak basınç işlemi ile yoğunlaştırma işlemine tabi tutularak *T.Versicolor* mantarına karşı dayanımını araştırmış ve her iki proseste de kontrol numunelerine göre örneklerde mantara bağlı daha az kütle kaybının olduğunu görmüştür. Yine aynı çalışmada, sıcak basınçla yoğunlaştırılan odun örneklerinin, sadece basınçla yoğunlaştırılanlara göre daha yüksek dayanım gösterdiği ortaya konmuştur.

Yapılan kütle kaybı ölçümlerinde *Neolentinus lepideus* mantarının örneklerde oluşturduğu tahribata karşı koymada kontrol örneklerinin kütle kaybına (%40.4) nazaran, en yüksek dayanımı 200 °C de ısıtma işlemi görmüş (M6: %2.6) ve ısıtma işlemi yaparak yoğunlaştırılmış (B6: %10.2) örneklerin sağladığı Şekil 3'teki grafikten belirlenmiştir. Öte yandan, ısıtma işlemde ölçülen kütle kayıpları (Ortalama %34), ısıtma işlemi yaparak yoğunlaştırılmış örneklerle karşılaştırıldığında (Ortalama %40), sadece ısıtma işlemi uygulandığı örneklerin *N.lepideus* mantarına karşı %6 daha dayanıklı olduğu söylenebilir. MK ve BK prosesi sırasında ortaya çıkan bu fark, basınç işlemiyle yoğunlaştırılan odun örneklerinin yayılma (spring back) etkisi göstermesi ile izah edilebilir. Benzer etkiyi, Sözbir ve Bektaş (2017), Heger vd. (2004) ve Kamke (2006) yaptıkları çalışmalarda tespit etmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada (Lesar vd., 2013) da, 170 °C'de 5.5 Mpa'da 3 farklı şekilde yoğunlaştırma işlemine tabi tutulan hibrit kavak odunu örneklerinin biyolojik dirençlerinin, kontrol örneğinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3'de EN113 standardı uygulanan örneklerde analiz sonucunda tespit edilen ağırlık kaybı, tam kuru yoğunluk ve denge rutubeti ortalama değerleri ve analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3 incelendiğinde, ısıtma işlemi ve ısıtma işlemi+yoğunlaştırma örneklerin kütle kaybı yüzdelerinde $\rho < 0.001$ düzeyinde anlamlı farklılıklar oluşturduğu saptanmıştır. Aynı tablodan, yapılan ısıtma işlemi sıcaklığı ve süresi arttıkça, örneklerin kütle kaybının da arttığı anlaşılmıştır. En fazla kütle kaybı, 200 °C ve 3 saat süre ile ısıtma işlemi uygulanan (M6 ve B6) grubu örneklerde tespit edilmiştir. Aynı zamanda, tam kuru yoğunluk değerleri, kütle kaybına bağlı olarak artan sıcaklık ve süre ile azalmıştır.



Şekil 2. AWA E10-12 standardına göre parametrelerin *Postia placenta* mantarına karşı degradasyonunun karşılaştırılması



Şekil 3. AWA E10-12 standardına göre parametrelerin *Neolentinus lepideus* mantarına karşı degradasyonunun karşılaştırılması

Çizelge 3. Modifiye edilerek EN113 standardı uygulanan örnekler için hesaplanan ağırlık kayıpları

Parametreler	Ağırlık kaybı (%)	Tam kuru yoğunluk (g/cm ³)	Denge rutubeti (%)
MK	-	0.353b	10.71c
M1	0.09a	0.349ab	10.26bc
M2	0.79ab	0.347ab	9.86b
M3	0.92b	0.343ab	9.62b
M4	1.40b	0.341ab	9.64b
M5	2.35c	0.335ab	8.66ab
M6	5.84d	0.315a	7.58a
BK	-	0.941e	10.51c
B1	0.62ab	0.937e	10.08bc
B2	0.98b	0.918de	9.84b
B3	1.30b	0.900de	9.6b
B4	1.38b	0.840cd	9.55b
B5	2.61c	0.812c	8.43ab
B6	6.74e	0.801c	7.39a
ANOVA	($\rho < 0.001$)	($\rho < 0.001$)	($\rho < 0.001$)

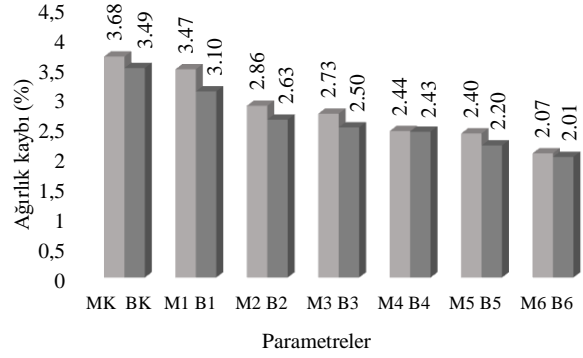
* Duncan testi sonuçlarına göre aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında önemli bir farklılık yoktur

Uygulanan sıcak presle yoğunlaştırma işlemi yoğunluğu arttırmakta, fakat yüksek sıcaklığın neden olduğu kütle kaybından dolayı, sıcaklık arttıkça yoğunlaştırılma sonucu yoğunluğu artmış olan örneklerin yoğunluklarında B1(0.937 g/cm³)'den B6 (0.801 g/cm³)'a doğru kısmi bir azalma görülmüştür. Bu arada, test örneklerinin denge rutubet miktarları, artan sıcaklık ve süre ile orantılı olarak azaldığı saptanmıştır. Bu durumun nedeni olarak literatürde (Korkut ve Kocafe, 2009), uygulanan yüksek sıcaklıkla birlikte ortaya çıkan kimyasal bozunmaların sonucunda bağlı OH

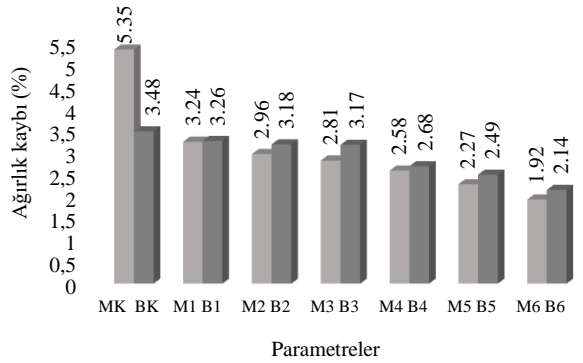
gruplarında oluşan azalmalar gösterilmiştir. Hakkou vd. (2006) yaptıkları bir çalışmada, kayın odunu örneklerine kademeli sıcaklık uygulaması sonucu, özellikle 160 °C den sonra önemli miktarlarda kütle kayıpları tespit etmiştir. Benzer bir çalışmada (Güller, 2012) da, çam odunu örneklerine 190, 200, 212 ve 225 °C sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat sürelerle ısıtım uygulandığında, kontrol örneğine göre, artan sıcaklık ve süreyle orantılı olarak, yoğunluklarının azaldığı belirlenmiştir.

Isıl işlem uygulanmış ve ısıtım uygulanarak yoğunlaştırılan kavak odunu örneklerinin *Coniophera puteana* mantarına karşı biyolojik dayanımı Şekil 4'teki grafikte gösterilmiştir. Şekil 4'e göre, kontrol örneği (MK) ile karşılaştırıldığında (% 3.68), *Coniophera puteana* mantarına karşı en yüksek dayanımı, 200 °C de ısıtım tabi tutulan M6 grubu örnekleri (% 2.07) ve ısıtım işleminden sonra yoğunlaştırılan B6 örnekleri (% 2.01) göstermiştir. Yine, basınçla yoğunlaştırılan B grubu odun örneklerinde (% 2.66), sadece ısıtım işlemine tabi tutulan M grubu örneklerine (% 2.48) göre, ortalama olarak % 0.18 daha az ağırlık (kütle) kaybı ölçülmüştür. Az da olsa bu farklılığın, literatürde (Bami ve Mohebbi, 2011), basınçla yoğunlaştırma işleminin, hücre lümenini küçültmesi ve hücre duvarı mikro porlarını azaltması sonucu mantar enzim aktivitesinin azalmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bami ve Mohebbi (2011) yaptıkları testlerde, 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda ısıtım uygulanan ve ardından 160 ve 180 °C'lerde sıcak pres yapılıp bırakılarak yoğunlaştırılan kavak odunu örneklerinin, esmer ve yumuşak çürüklük mantarına karşı dayanımında, ısıtım işlemli basınçla yoğunlaştırma işleminin sadece ısıtım işlemi uygulananlara göre daha yüksek biyolojik direnç gösterdiklerini ortaya koymuştur.

Şekil 5'te görüldüğü üzere, ısıtım işleminin süresi ve sıcaklığı arttıkça, odunun *Neolentinus lepideus* mantarına karşı biyolojik dayanımı artmaktadır. Sadece yoğunlaştırılan basınç kontrol örneğinin (BK) ağırlık kaybının (%3.5), MK kontrol örneğinde ölçülen değere (%5.4) göre % 2 daha düşük olduğu görülmüştür. Aynı grafikten, ısıtım uygulandıktan sonra yoğunlaştırılan örneklerde ölçülen ağırlık kayıpları toplamının (%2.8), yalnızca ısıtım gören örneklerde hesaplanan toplama (%2.6) göre % 0.2 kadar daha yüksek olduğu söylenebilir. Çok az da olsa bu farklılığa, ısıtım görenek yoğunlaştırılan örneklerin daha fazla spring back etkisi ile örnek yüzey alanını artırması ve bunun sonucunda mantar aktivitesini artırmasının neden olduğu söylenebilir. Yılgör ve Kartal (2010), 180 ve 220 °C sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde EN 113 standardına göre ısıtım uygulanan huş odunu örneklerinde *Trametes versicolor* mantarına karşı biyolojik direncin arttığını ve 200 °C'nin üzerinde ısıtım işleminin esmer çürüklük mantarıyla karşılaştırıldığında, beyaz çürüklük mantarına karşı daha etkili olduğunu rapor etmiştir. Skyba vd. (2008) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da, ladin ve kayın odun örneklerinin sıcak basınçla yoğunlaştırılması sonucunda, yumuşak çürüklük mantarına karşı bu yöntemin ladin ağacının biyolojik direncini arttırdığı, fakat kayınınkini azalttığı ortaya konmuştur.



Şekil 4. Modifiye edilen EN 113 standardına göre parametrelerin *Coniophera puteana* mantarına karşı degradasyonunun karşılaştırılması



Şekil 5. Modifiye edilen EN 113 standardına göre parametrelerin *Neolentinus lepideus* mantarına karşı degradasyonunun karşılaştırılması

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, kavak odunu (*Populus usbekistanica*) örneklerine 120, 160 ve 200 °C'de 60 ve 180 dakika olarak iki farklı süre ile ısıtım uygulanmış ve ısıtım gören örneklerin yarısı sıcak pres altında yoğunlaştırıldıktan sonra, ısıtım uygulanan ve yoğunlaştırılan örneklerin iki farklı standarda (AWPA E10-12 ve modifiye edilen EN 113) göre esmer çürüklük mantarına karşı dayanımı araştırılmıştır.

Test örneklerinde, meydana gelen kütle kaybına bağlı olarak sıcaklık ve süre arttıkça odunun tam kuru yoğunluk miktarı azalmıştır. ısıtım işlemine tabi tutularak sıcak pres altında yoğunlaştırılan kavak odunu örneklerinde 3 kata kadar bir yoğunluk artışı oluşmuştur, fakat ısıtım işlem sıcaklıklarının artmasıyla bu oran azalmıştır. ısıtım işlemine tabi tutularak yoğunlaştırılan örneklerin yoğunluğunda artma saptanmış ancak oluşan kütle kaybına bağlı olarak sıcaklık ve süre arttıkça yoğunlaştırılan odunun tam kuru yoğunluğu azalmıştır.

AWPA E10-12 standardı uygulanan örneklerde, *Postia placenta* mantarına karşı ısıtım işleminin sıcaklığı arttıkça mantara karşı dayanımının arttığı, ayrıca yoğunlaştırılan örneklerin yalnızca ısıtım uygulanan örneklere göre daha yüksek dayanım sergilediği tespit edilmiştir. *Neolentinus lepideus* mantarına karşı en iyi dayanımın 200 °C de ısıtım işlem gören örneklerde sağlandığı ve yoğunlaştırma işleminin bu mantara karşı dayanımda pek etkili olmadığı anlaşılmıştır.

Modifiye edilen EN 113 standardına göre dayanımı belirlenen kavak odunu örneklerinde, *Coniophera puteana* mantarına karşı ısıl işlemin sıcaklık ve süresi arttıkça dayanımın arttığı ve yoğunlaştırma işleminin de mantara karşı dayanımı arttırdığı görülmüştür. *Neolentinus lepideus* mantarına karşı ısıl işlemin sıcaklık ve süresi arttıkça dayanımının arttığı, ancak ısıl işlemden sonra uygulanan yoğunlaştırma işleminin bu mantara karşı dayanımda etkili olmadığı belirlenmiştir. Isıl işlem uygulanmaksızın yoğunlaştırma işleminin, diğer yoğunlaştırma parametreleri ile karşılaştırıldığında, bu mantara karşı kavak odununda daha etkili olduğu söylenebilir.

Nihayet, bu çalışma ile esmer çürüklük mantarına karşı uygulanan prosesin etkinliği araştırılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarla, bu proses kullanılarak daha farklı mantar türleri denenebilir ve daha farklı test teknikleri uygulanabilir. Bu şekilde uygulanan sistemin mantar türlerine karşı davranışları ortaya konabilir. Ayrıca bu proses farklı ağaç türlerinde denenebilir ve onlara özel sistem geliştirilebilir.

Kaynaklar

- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2012. The effect of heat treatment on the physical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. *Bioresources*, 7(4): 5117-5127.
- Bami, L.K., Mohebbi, B., 2011. Bioresistance of poplar wood compressed by combined hidro-thermo-mechanical wood modification(CHTM): Soft rot and brown-rot. *Biodeterioration and Biodegradation*, 65: 866-870.
- Boonstra, M.J., 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation, in cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré – Nancy, 1, 297, ISBN 978-90-5989-210-1.
- Demirel, G.K., Temiz, A., 2015. Ahşap korumada çevre dostu modifikasyon yöntemleri. *Selçuk Teknik Dergisi*, Özel sayı (1): 1016-1032.
- Düzkale Sözbir, G., Bektaş, İ., Kılıç Ak, A., 2019. Influence of combined heat treatment and densification on mechanical properties of poplar wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(4): 481 – 492. DOI: 10.4067/S0718-221X2019005000405.
- Düzkale Sözbir, G., Bektaş, İ., 2017. The effect of heat modification and densification on physical properties of poplar wood. *Drvna Industrija*, 68(4): 315-321.
- E 10-12, *Standard Method Of Testing Wood Preservatives By Laboratory Soil-Block Cultures*, American Wood Protection Association Standard, 2012
- EN 113, *Determination of the Toxic Values Against Wood Destroying Basidiomycetes Cultured on Agar Medium*, European Standard, 1994.
- Jones, D. and Enjily, V. (2006) The potential for modified materials in the panel products industry – Properties and availability. In Proceedings of the COST Action E44-E49 Conference in Valencia on Wood Resources and Panel Properties, pp. 23–30, Spain.
- Güller, B., 2012. Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. *African Journal of Biotechnology*, 11(9): 2204-2209.
- Hakkou, M., Petrissans, M., Gerardin, P., Zoulalian, A., 2006. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polymer Degredation and Stability*, 91: 393-397.
- Heger F, Groux M, Girardet F, Welzbacher C, Rapp AO, Navi P (2004) Mechanical and durability performance of THM-densified wood. Final workshop COST action E22, pp. 30-33, Lisbon, Portugal
- Kamke, F. A. (2006). “Densified radiata pine for structural composites,” *Maderas. Ciencia y Tecnología* 8(2), 83-92. DOI: 10.4067/S0718-221X2006000200002.
- Kartal, S.N., Engür, M.O., Köse, C., 2006. Emprenye maddeleri ve emprenye edilmiş ağaç malzeme ile ilgili çevre problemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 56(1): 17-23.
- Korkut, S., Budakçı, M., 2010. The effects of high-temperature heat-treatment on physical properties and surface roughness of rowan (*Sorbus Aucuparia* L.) wood. *Wood Research*, 55(1): 67-78.
- Korkut, S., Kocaefe, D., 2009. Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5(2): 11-34.
- Lesar, B., Humar, M., Kamke, F.A., Kutnar, A., 2013. Influence of the thermo-hydro-mechanical treatments of wood on the performance against wood-degrading fungi. *Wood Science and Technology*, 47: 977–992. DOI 10.1007/s00226-013-0553-8.
- Metsa-Kortelainen, S., Viitanen, H., 2011. Wettability of sapwood and heartwood of thermally modified Norway spruce and Scots pine. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1-3): 135-139.
- Rowell, R., Ibach, E.E., McSweeney, J., Nilsson, T., 2009. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat treated and acetylated wood. *Proceedings of 4th European conference on wood modification*, April 27-29, Stockholm, pp. 489-502.
- Skyba, O., Niemz, P., Schwarze, F.W.M.R., 2008. Degradation of thermo-hygro-mechanically (THM) densified wood by soft-rot fungi. *Holzforchung*, 62(3): 277–283.
- Skyba, O., Niemz, P., Schwarze, F.W.M.R., 2009. Resistance of thermo-hydro-mechanically (THM) densified wood to degradation by white rot fungi. *Holzforchung*, 63: 639-646.
- TS 2471, 1976: Wood, determination of moisture content for physical and mechanical tests. TSE (Turkish Standard Institution), Ankara, Turkey
- Unsal, O., Candan, Z., 2008. Moisture content, vertical density profile and janka hardness of thermally compressed pine wood panels as a function of press pressure and temperature. *Drying Technology*, 26(9): 1165–1169. DOI: 10.1080/07373930802266306.
- Unsal, O., Kartal, N., Candan, Z., Arango, R.A., Clausen, C.A., Green, F., 2009. Decay and termite resistance water absorption and swelling of thermally compressed wood panels. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63(5): 548-552.
- Wang, J.M., Zhao, G.J., Lida, I., 2000. Effect of oxidation on heat fixation compressed wood of China fir. *Forestry Studies In China*, 2: 73-79.
- Welzbacher, C.R., Wehsener, J., Rapp, A.O., Haller, P., 2008. Thermo-mechanical densification combined with thermal modification of Norway spruce in industrial scale- dimensional stability and durability aspects. *Holz. als Roh-und Werkstoff*, 66: 39-49.
- Wikberg, H., 2004. Advanced solid state NMR spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood. Academic Dissertation, University of Helsinki, Department of Chemistry, Laboratory of Polymer Chemistry, Helsinki- Finland.
- Yıldır, N., Kartal, S.N., 2010. Heat modification of wood: Chemical properties and resistance to mold and decay fungi. *Forest Products Journal*, 60(4): 357-361. DOI: 10.13073/0015-7473-60.4.357.