



Simav Yöresi Jeotermal Sularıyla Muamele Edilen Çam Odunlarının Eğilme Direnci, Liflere Paralel Basınç Direnci ve Statik Kalite Değeri

Ahmet Ali VAR^{*1}, İbrahim KARDAŞ¹

¹SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta.

Öz

Zengin kimyasal tuzlar içeren jeotermal kaynaklar farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Bu kaynakların ekonomik olarak kullanılabilmesi için ağaç malzemeye etkilerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, jeotermal suların iki farklı çam odununda eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değerine etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Kütahya-Simav yöresinden Eynal (E-6), Çitgöl (Ç-1) ve Naşa (N-1) jeotermal suları, karaçam (*P.nigra* Arnold.) ve kızılçam (*P.brutia* Ten.) diri odun örnekleri ve batırma yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, jeotermal sular, karaçam ve kızılçam odunlarının eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değerini kontrole göre önemli derecede azaltmıştır. En düşük azalma, eğilme direnci için N-1 jeotermalıyla muamelede bulunurken, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değeri için Ç-1 jeotermalıyla muamelede elde edilmiştir. Bu azalmalar, eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci için %3.70 - %15.54 arasında değişirken, statik kalite değeri için %4.58 - %17.36 arasında değişmiştir. Ayrıca etki açısından aralarında önemli farklılıklar bulunan E-6, Ç-1 ve N-1 jeotermal suları, basınç direnci bakımından heriki çam odununun statik kalite değerine orta seviyede bir katkı yapmıştır.

Anahtar Kelimeler: Odun, Jeotermal, Simav, Emprenye, Direnç, Kalite.

Modulus of Rupture, Compression Strength Parallel to Grain And Static Quality Value Of Pine Wood Treated With Geothermal Waters From Simav Region Of Turkey

Abstract

Geothermal resources containing rich chemical salts are used in different areas. In order to be use economically, it must also be determined the contributions to wood material of these resources. In this study, it was aimed to investigate the effects of geothermal waters to modulus of rupture (MOR), compression strength parallel to grain (CSPG) and static quality value (SQV) in two different pine wood. The study used the sapwood samples (*P. nigra* Arnold.; *P. brutia* Ten.), dipping method, Eynal (E-6), Çitgol (C-1) and Nasa (N-1) geothermal waters from Simav, Kutahya, Turkey. Consequently, the MOR, CSPG and SQV of both pine wood treated with geothermal waters were lower significantly than that of untreated control specimens. The lowest reduction was resulted in the N-1 geothermal for MOR, and in the C-1 geothermal for CSPG and SQV. These reductions varied between 3.70%–15.54% for MOR and CSPG, and between 4.58–17.36% for SQV. In addition, it was shown significant differences among E-6, C-1 and N-1 geothermal waters contributed in intermediate level to static quality of both pine wood.

Keywords: Wood, Geothermal, Simav, Impregnation, Strength, Quality.

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):**

Ahmet Ali VAR; SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta. E-mail: alivar@sdu.edu.tr

Geliş (Received) : 01.03.2017

Kabul (Accepted) : 27.03.2017

Basım (Published) : 01.06.2017

1. Giriş

Ağaç malzeme, yeterli direnç, düşük genleşme ve estetik cazibesinden dolayı, iyi bir mühendislik ve yapı malzemesidir (Srinivas ve Pandey, 2012). Genellikle estetik görünümü ve karakteristik özellikleri nedeniyle pek çok yerde uygun bir dekoratif malzeme olarak kullanılmaktadır (Chang ve Chang, 2001). Bununla birlikte emprenye maddeleriyle iyileştirilebilen bazı sakıncalı özelliklere de sahip bulunmaktadır (Lahtela ve ark., 2014). Ancak asıl önemli sorunlardan biri, bazı emprenye maddelerinin çevresel açıdan ciddi tehditler oluşturmasıdır (Hsu ve ark., 2007). Bu nedenle, ahşap korumada zehirsiz kimyasalların kullanımı çevre açısından önemli görülmektedir (Ulverona ve ark., 2006). Tüm dünyada çevreyi kirleten etkenleri sınırlandırıp denetim altına alabilmek için doğal kaynaklara yönelinmektedir. Bunlardan biri olan jeotermal kaynakların ekonomik olarak işletilebilmesi için, bütün özelliklerinin doğrudan veya dolaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Mutlu, 2004). Yüksek oranda çözünmüş zengin kimyasal ya da mineral tuzlar içeren jeotermal kaynaklar, sıcaklıklarına göre farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Bu açıdan kullanımları sanayiden tarım, hayvancılık ve tıbbi tedaviye kadar önemli ölçüde genişlemekte, ancak henüz büyük bir kısmı endüstride tam olarak kullanılamamaktadır (Gürü, 2005).

Jeotermal kaynakların, ahşap emprenye maddelerine katılan kimyasal maddeler potansiyeli ve ağaç malzemeye katkılarının araştırılıp belirlenmesi de gerekmektedir. Bunların tespit edilmesi, çevre dostu doğal bir kaynağın, ahşap emprenye maddesi olarak taşınması gereken niteliklerin ortaya konulması bakımından önemlidir. Jeotermal kaynakları bu yönüyle inceleyen çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Buna örnek olarak; Var (2009), Karademir (2012), Var vd. (2012), Genç (2013), Var vd. (2013), Var vd. (2014) ve Demirtaş (2015) tarafından yapılan çalışmalar verilebilir. Buna karşılık, ağaç malzemenin mekanik özelliklerinin konu edildiği pek çok eser de bulunmaktadır. Buna örnek olarak; Bendtsen (1984), Winandy (1995), Erten ve Sözen (1996), Bozkurt ve Erdin (1997), Green ve ark. (1999), As ve ark. (2001), Yıldız ve ark. (2004), Örs ve ark. (2007), Milch ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmalar verilebilir. Yapılan pek çok çalışmada (Bendtsen, 1984; Winandy, 1995; Kartal, 1998; Yıldız ve ark., 2004; Örs ve ark., 2005; Mourant ve ark., 2008; Keskin ve ark., 2013; Değirmen-tepe ve ark., 2015; Keskin ve Dağlıoğlu, 2016), ahşap emprenye işlerinde kullanılan su çözücülü emprenye maddelerinin ağaç malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir. Diğer yandan jeotermal suların, ahşap korumada kullanılan su bazlı klasik emprenye maddelerine katılan kimyasal maddeler bakımından çok sayıda farklı tuzlar veya mineraller içerdiği belirtilmektedir (Var, 2009; Var ve ark., 2015; Soygüder, 2017). Bu durumda, jeotermal sulardaki kimyasalların, ağaç malzemenin mekanik özellikleri kapsamında eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değerini de etkilemeleri beklenebilir. Ancak bu katkının jeotermal sularla muamele edilmemiş normal oduna kıyasla ne kadar etkili olduğu hususunda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu konularda da çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Kütahya ili Simav yöresi jeotermal alanlarına yönelik; Öktü (1984), Bayram (1999), Akkuş ve ark. (2005), Özalp ve Ordu (2010) gibi, yapılan birçok çalışmada, bu yörenin jeotermal kaynaklarının, ahşap korumada emprenye maddelerine katılan Na, K, Ca, B, Mg, Al, F, Cl gibi su çözücülü kimyasal madde/tuz çeşitleri bakımından zengin oldukları görülmektedir. Diğer yandan, bir kısmı yukarıda belirtilen pek çok çalışmada, karaçam ve kızılçam odunlarının, eğilme ve liflere paralel basınç dirençleri dâhil, uygulamada önemli bütün mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ancak jeotermal suların, karaçam ve kızılçam odunlarında eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değeri üzerine etkilerinin tespitine dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu makale, Simav yöresi Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal sularının, karaçam ve kızılçam odunlarında eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değerine katkılarının araştırılması ve bu katkıların önem düzeylerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma, bu eksikliğin giderilmesi, doğal bir kaynağın emprenye akışkanı olarak ağaç malzemenin böylesi teknik özelliklerine katkısının belirlenmesi, yapılacak benzer çalışmalara ve literatüre katkı sağlaması yönüyle önem taşımaktadır.

1. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Çalışmada Kütahya ili Simav ilçesi Eynal (E-6), Çitgöl (Ç-1) ve Naşa (N-1) jeotermal suları, kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) diri odun örnekleri kullanılmıştır. Jeotermal sular, kaynak(kuyu)lardan sıcak-kızgın halde alınıp özel kaplara doldurulduktan sonra normal hava sıcaklığına kadar soğumaları için doğal çevre koşullarında bekletilmiştir. Odun örnekleri ise piyasadan tesadüfi yöntemle temin edilen tomrukların diri odun kısmından radyal yönde muhtelif ebatlarda hazırlanan latalardan alınmıştır (TS 345, 2012; TS 4176, 1984). Latalar hava kurusu rutubete kadar kondisyonlanıp (TS 2470, 1976) planyadan geçirildikten sonra sağlam, düzgün lifli, budaksız örnekler hazırlanmıştır. Her test için 15'er adet olmak üzere, tüm test ve kontrol grubu örnekler tam kuru hale getirilmiştir (TS 2471, 1976). Bu şekilde hazırlanan bütün jeotermal sular ve

odun örnekleri özellikleri değişmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir.

2.2. Emprenye işlemi

Emprenye işlemi TS EN 47 (2011) esasları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre odun örnekleri normal atmosferik basınç altında her jeotermal su içine batırılarak 24 süreyle bekletilmiştir. Emprenye edilen bütün örnekler normal oda şartlarında 2-3 hafta bekletilerek hava kurusu hale getirilmiştir.

2.3. Eğilme direnci

Üniversal Test Makinesinde TS 2474 (1976)'e göre tayin edilen eğilme direnci 20 x 20 x 300 mm ebadında odun örnekleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$ED = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times h^2) \quad (1)$$

Bu eşitlikte, ED eğilme direncidir (N/mm^2). P kırılma anındaki maksimum yüküdür (N). L dayanak noktalarının merkezleri arasındaki uzaklıktır (mm). b ve h örneklerin enine kesit boyutlarıdır (mm).

2.4. Liflere paralel basınç direnci

Üniversal Test Makinesinde TS 2595 (1977)'e göre tayin edilen liflere paralel basınç direnci 20 x 20 x 100 mm ebadında odun örnekleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$LPBD = P / (b \times h) \quad (2)$$

Bu eşitlikte, $LPBD$ liflere paralel basınç direncidir (N/mm^2). b ve h örneklerin enine kesit boyutlarıdır (mm).

2.5. Statik kalite değeri

Statik kalite değeri liflere paralel basınç direnci ve yoğunluk (Var vd., 2015) deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Erten ve Sözen, 1996; Bozkurt ve Erdin, 1997).

$$SKD = LPBD/HKY \quad (3)$$

Bu eşitlikte, SKD statik kalite değeridir. $LPBD$ liflere paralel basınç direncidir. HKY hava kurusu yoğunluktur.

2.6. İstatistiksel analiz

Elde edilen veriler SPSS Windows yazılım programında varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testi kullanılarak %95 güven düzeyinde analiz edilmiştir. Her ağaç türü için, jeotermal kaynak türüne göre tanımlayıcı istatistikler elde edildikten sonra, bu kaynakların eğilme direnci, liflere basınç direnci ve statik kalite değeri üzerine etkilerinin önem dereceleri ANOVA ile belirlenmiştir. Etkilerin anlamlı ($p \leq 0.05$) çıkması halinde jeotermal kaynaklar için homojenlik grupları Duncan testiyle belirlendikten sonra, gruplar arası farklılıklar harfli gösterimle ifade edilerek ortalamalar karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Eğilme direnci

Simav yöresi jeotermal sularıyla muamele edilen kızılçam ve karaçam odunlarının eğilme direncine ilişkin tanımlayıcı istatistikler, ANOVA ve Duncan testi sonuçları, sırasıyla, Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 1'e göre, emprenyeli örneklerin eğilme direnci değerleri, karaçam odununda N-1, Ç-1 ve E-6 için, sırasıyla, 81.60 N/mm^2 - 94.57 N/mm^2 , 85.38 N/mm^2 - 98.37 N/mm^2 ve 83.94 N/mm^2 - 97.82 N/mm^2 arasında değişirken, kızılçam odununda N-1, Ç-1 ve E-6 için, sırasıyla, 79.51 N/mm^2 - 92.34 N/mm^2 , 67.49 N/mm^2 - 100.12 N/mm^2 ve 73.69 N/mm^2 - 86.42 N/mm^2 arasında değişmiştir. Ortalama eğilme direnci değerleri ise karaçam odunu için N-1'de 88.05 N/mm^2 , Ç-1'de 91.41 N/mm^2 ve E-6'da 89.92 N/mm^2 olarak elde edilirken, kızılçam odunu için N-1'de 86.82 N/mm^2 , Ç-1'de 83.17 N/mm^2 ve E-6'da 79.71 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık, emprenyesiz kontrol örneklerinin direnç değerleri karaçam ve kızılçam odunları için, sırasıyla, 90.18 N/mm^2 - 108.24 N/mm^2 ve 82.12 N/mm^2 - 103.41 N/mm^2 arasında dağılım yaparken, ortalama eğilme direnci değerleri ise karaçam odununda

99.55 N/mm² ve kızılçam odununda 94.38 N/mm² olarak bulunmuştur. Buna göre karaçam ve kızılçam test örnekleri, kontrol örneklerinden daha düşük eğilme direnci değerleri vermiştir. Çünkü en yüksek ortalama değer, kontrol için karaçam ve kızılçam odunlarında, sırasıyla, 99.55 N/mm² ve 94.38 N/mm² olarak bulunurken, en düşük değer N-1 için karaçam odununda 88.05 N/mm² ve E-6 için kızılçamda 79.71 N/mm² olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki, jeotermal sularla empenyede karaçam ve kızılçam odunlarının eğilme direnci kontrol örneklerine kıyasla azalmıştır. Bu azalma jeotermal sulardaki tuzların, odun örneklerinin denge rutubetini artırma eğilimi göstermesinden ileri gelebilir.

Tablo 1. Jeotermal kaynak türüne göre test edilen odun türlerinin eğilme direncine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç türü	Jeotermal kaynak türü	Ortalama**	S. sapma	En az	En fazla	Değişim***
Karaçam	K*	99.55	5.60	90.18	108.24	-
	N-1	88.05	3.68	81.60	94.57	-11.55
	Ç-1	91.41	4.27	85.38	98.37	-8.18
	E-6	89.92	4.84	83.94	97.82	-9,67
Kızılçam	K*	94.38	5.76	82.12	103.41	-
	N-1	86.82	4.05	79.51	92.34	-8.71
	Ç-1	83.17	10.22	67.49	100.12	-11.88
	E-6	79.71	4.07	73.69	86.42	-15.54

* Kontrol örneğidir. ** 15 örnek için aritmetik ortalamadır. *** Kontrolle göre %'dir.

ANOVA sonuçlarına göre (Tablo 2) söz konusu jeotermal suların karaçam ve kızılçam odunlarında eğilme direnci üzerine istatistiksel anlamda önemli derecede etki yaptığı görülmüştür. Duncan testi sonuçlarına göre (Tablo 3) eğilme direncine etkileri bakımından karaçam için N-1, Ç-1 ve E-6 aynı homojenlik grubunda yer alırken, kızılçam odunu için N-1 ve E-6'nın farklı, Ç-1'in ise N-1 ve E-6 ile aynı grupta yer aldıkları görülmüştür. Ayrıca, her iki ağaç türü odunu için, kontrol ile N-1, Ç-1 ve E-6 farklı homojenlik grubu oluşturmuştur (Tablo 3). Buna göre karaçam odununda eğilme direncine etkileri bakımından söz konusu jeotermal sular arasında önemli bir farklılık olmadığı, kızılçam odunun için N-1 ve E-6 arasındaki farklılığın önemli, Ç-1 ile diğerleri arasındaki farklılığın ihmal edilebilir olduğu söylenebilir. Buna ilaveten, jeotermal kaynaklar, birbirine göre eğilme direncine anlamlı bir etki yapmamıştır. Ancak kızılçam odununda N-1 ve karaçam odununda Ç-1 diğerlerine göre biraz daha yüksek değerler vermiştir. Değerlerin yüksek olması, bu kaynakların daha düşük denge rutubeti vermesinden olabilir.

Tablo 2. Test edilen odun türlerinin eğilme direncine ilişkin ANOVA sonuçları

Ağaç türü	Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	Sig.*
Karaçam	Gruplar arası	1155.817	3	385.272	17.792	0.000
	Gruplar içi	1212.606	56	21.654		
	Toplam	2368.424	59			
Kızılçam	Gruplar arası	1777.186	3	592.395	13.900	0.000
	Gruplar içi	2386.677	56	42.619		
	Toplam	4163.863	59			

*p≤ 0.05

Tablo 3. Jeotermal kaynak türüne göre test edilen odun türlerinin eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları

Ağaç türü	Jeotermal kaynak türü	Ortalama	Homojenlik grubu*
Karaçam	K	99.55	A
	N-1	88.05	B
	Ç-1	91.41	B
	E-6	89.92	B
Kızılçam	K	94.38	C
	N-1	86.82	D
	Ç-1	83.17	DE
	E-6	79.71	E

Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında önemli bir farklılık yoktur.

Eğilme direnci değerleri, Karademir (2012)'de 83.02 N/mm² – 102.83 N/mm², Genç (2013)'te 76.06 N/mm² – 86.99 N/mm², Demirtaş (2015)'ta 88.26 N/mm² – 99.83 N/mm², Keskin ve Dağlıoğlu (2016)'da 92.34 N/mm² – 100.35 N/mm² arasında değişirken, bu çalışmada ise 79.71 N/mm² – 91.41 N/mm² arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3). Buna göre bu çalışmada elde edilen eğilme direnci bulgularının literatürle uyumlu olduğu

söylenbilir. Ayrıca Değirmen-tepe ve ark. (2015)'da mekanik özelliklerdeki azalmalara %10-%20 arasında izin verildiği belirtilmiştir (NFPA, 1986). Bu çalışmada ise eğilme direncindeki azalmanın (değişimin), karaçam ve kızılçam için, sırasıyla, %8.18-%11.55 ve %8.01-%15.54 arasında olduğu saptanmıştır (Tablo 1). Buna göre, söz konusu jeotermal suların karaçam ve kızılçam odunlarının eğilme direncinde meydana getirdiği azalmaların literatürle uyumlu olduğu söylenebilir.

3.2. Liflere paralel basınç direnci

Simav yöresi jeotermal sularıyla muamele edilen kızılçam ve karaçam odunlarının LPB direncine ilişkin tanımlayıcı istatistikler, ANOVA ve Duncan testi sonuçları, sırasıyla, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Jeotermal kaynak türüne göre test edilen odun türlerinin LPB direncine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç türü	Jeotermal kaynak türü	Ortalama**	S. sapma	En az	En fazla	Değişim***
Karaçam	K*	44.54	2.48	41.24	47.86	-
	N-1	40.16	1.80	36.83	42.92	-9.88
	Ç-1	42.31	0.91	41.11	43.83	-5.01
	E-6	39.71	1.36	37.44	42.34	-10.84
Kızılçam	K*	43.23	2.24	38.80	47.65	-
	N-1	37.89	1.30	36.13	40.81	-12.35
	Ç-1	41.63	0.98	40.14	43.61	-3.70
	E-6	41.61	0.91	39.69	42.84	-3.75

* Kontrol örneğidir. ** 15 örnek için aritmetik ortalamadır. *** Kontrolle göre %'dir.

Tablo 4'e göre, emprenyeli örneklerin LPB direnci değerleri, karaçam odununda N-1, Ç-1 ve E-6 için, sırasıyla, 36.83 N/mm² - 42.92 N/mm², 41.11 N/mm² - 43.83 N/mm² ve 37.44 N/mm² - 42.34 N/mm² arasında bulunurken, kızılçam odununda N-1, Ç-1 ve E-6 için, sırasıyla, 36.13 N/mm² - 40.81 N/mm², 40.14 N/mm² - 43.61 N/mm² ve 39.69 N/mm² - 42.84 N/mm² arasında bulunmuştur. Ortalama LPB direnci değerleri N-1, Ç-1 ve E-6 için, karaçam odununda, sırasıyla, 40.16 N/mm², 42.31 N/mm² 39.71 N/mm² olarak bulunurken, kızılçam odununda, sırasıyla, 37.89 N/mm², 41.63 N/mm² ve 41.61 N/mm² olarak bulunmuştur. Buna karşılık, kontrol örneklerinin LPB direnci değerleri ise karaçam ve kızılçam odunlarında, sırasıyla, 41.24 N/mm² - 47.86 N/mm² ve 38.80 N/mm² - 47.65 N/mm² arasında değişirken, ortalama LPB direnci değerleri, karaçam odununda 44.54 N/mm² ve kızılçam odununda 43.23 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Buna göre, emprenyeli karaçam ve kızılçam örnekleri, emprenyesiz kontrol örneklerinden daha düşük LPB direnci değeri vermiştir. Çünkü en yüksek ortalama değer, kontrol için, karaçam ve kızılçam odunlarında, sırasıyla, 44.54 N/mm² ve 43.23 N/mm² olarak elde edilirken, en düşük değer karaçam odununda E-6 ile 39.71 N/mm² ve kızılçam odununda N-1 ile 37.89 N/mm² olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki, jeotermal sularla muamele edilen karaçam ve kızılçam odunlarının LPB direnci kontrol örneklerinin LPB direncinden daha düşük çıkmıştır. Bu azalma odunsu hücre boşluklarına dolan jeotermal tuzların denge rutubetini arttırmasından olabilir.

Tablo 5. Test edilen odun türlerinin LPB direncine ilişkin ANOVA sonuçları

Ağaç türü	Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	Sig.*
Karaçam	Gruplar arası	221.598	3	73.866	24.553	0.000
	Gruplar içi	168.474	56	3.008		
	Toplam	390.072	59			
Kızılçam	Gruplar arası	231.025	3	77.008	36.401	0.000
	Gruplar içi	118.472	56	2.116		
	Toplam	349.497	59			

*p≤ 0.05

ANOVA sonuçlarına göre (Tablo 5), bahsedilen jeotermal sular karaçam ve kızılçam odunlarında LPB direnci üzerinde istatistiksel olarak önemli derecede etki yapmıştır. Duncan testi sonuçlarına göre (Tablo 5), LPB direncine etkileri bakımından karaçam odunu için N-1, Ç-1 ve E-6 farklı homojenlik grubu oluşturmuştur. Kızılçam odunu için ise Ç-1 ve E-6 aynı grupta toplanırken, N-1 ile Ç-1 ve E-6 farklı bir grupta toplanmıştır. Bununla beraber, her iki odun türü için, kontrol ile N-1, Ç-1 ve E-6 farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Buna göre, LPB direncine etkileri bakımından karaçam odunu için N-1, Ç-1 ve E-6 arasında anlamlı bir farklılık olduğu söylenebilir. Kızılçam odunu için ise Ç-1 ve E-6 arasındaki farklılık önemsizken, N-1 ile hem Ç-1 hem de E-6 arasındaki farklılığın önemli olduğu öne sürülebilir. Ayrıca her iki ağaç türü odunu için, kontrol ile jeotermal sular

arasında anlamlı bir farklılık olduğu da söylenebilir.

Tablo 6. Jeotermal kaynak türüne göre test edilen odun türlerinin LPB direncine ilişkin Duncan testi sonuçları

Ağaç türü	Jeotermal kaynak türü	Ortalama	Homojenlik grubu*
Karaçam	K	44.54	A
	N-1	40.16	B
	Ç-1	42.31	C
	E-6	39.71	B
Kızılçam	K	43.23	D
	N-1	37.89	E
	Ç-1	41.63	F
	E-6	41.61	F

Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında önemli bir farklılık yoktur.

LPB direnci değerleri Karademir (2012)'de $43.47 \text{ N/mm}^2 - 47.33 \text{ N/mm}^2$, Genç (2013)'te $31.29 \text{ N/mm}^2 - 39.44 \text{ N/mm}^2$, Demirtaş (2015)'ta $38.89 \text{ N/mm}^2 - 40.24 \text{ N/mm}^2$ arasında değişirken, bu çalışmada $37.89 \text{ N/mm}^2 - 42.31 \text{ N/mm}^2$ arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 6). Bu durumda, bu çalışmada bulunan LPB direnci değerlerinin literatür sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca Değirmentepe ve ark. (2015) tarafından, NFPA (1986)'e göre mekanik özelliklerdeki azalmaya %10-%20 değişen oranlarda izin verildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, LPB direncindeki azalmalar, karaçam ve kızılçam odunları için, sırasıyla, %5.01-%10.84 ve %3.70-%12.35 arasında gerçekleşmiştir (Tablo 4). Buna göre, çalışmada bulunan LPB direncine ilişkin azalmaların literatürle ile uyumlu olduğu söylenebilir.

3.3. Statik kalite değeri

Simav yöresi jeotermal sularıyla muamele edilen kızılçam ve karaçam odunlarının statik kalite değerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler, ANOVA ve Duncan testi sonuçları, sırasıyla, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'de verilmiştir. Tablo 7'ye göre, emprenyeli örneklerin statik kalite değerleri N-1, Ç-1 ve E-6 için, karaçam odununda, sırasıyla, 6.39 - 9.24, 6.68 - 8.59 ve 5.51 - 8.67 arasında dağılım yaparken, kızılçam odununda, sırasıyla, 5.45 - 7.92, 6.11 - 8.48 ve 6.43 - 8.25 arasında dağılım yapmıştır. Ortalama statik kalite değerleri ise N-1, Ç-1 ve E-6 için, karaçam odununda, sırasıyla, 7.66, 7.79 ve 7.19 olarak bulunurken, kızılçam odununda, sırasıyla, 6.64, 7.29 ve 7.14 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık, emprenyesiz kontrol örneklerinin statik kalite değerleri ise karaçam ve kızılçam odunlarında, sırasıyla, 6.67 - 9.93 ve 5.79 - 9.34 arasında değişirken, ortalama statik kalite değerleri, karaçam odununda 8.70 ve kızılçam odununda 7.64 olarak elde edilmiştir. Bu durum, emprenyeli örneklerin, emprenyesiz örneklerden daha düşük statik kalite değeri verdiğini ortaya koymaktadır. Zira en düşük ortalama değeri, karaçam odunu için E-6 ve kızılçam odunu için N-1, sırasıyla, 7.19 ve 6.64 olarak verirken, en yüksek değer, karaçam ve kızılçam kontrol örnekleri için, sırasıyla, 8.70 ve 7.64 olarak elde edilmiştir. Bu bulgular, jeotermal sularla emprenyede karaçam ve kızılçam odunlarının statik kalite değerlerinin kontrole göre azaldığını göstermektedir. Karaçam odunu için %10.46-%17.36 ve kızılçam odunu için %4.58-%13.09 arasında değiştiği görülen bu azalmaların (Tablo 7) nedeni, hücre boşluklarına depo edilen ya da hücre çeperlerinde tutulan jeotermal tuzların LPB direncini azaltması olabilir.

Tablo 7. Jeotermal kaynak türüne göre test edilen odunların statik kalite değerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç türü	Jeotermal kaynak türü	Ortalama**	S. sapma	En az	En fazla	Değişim***
Karaçam	K*	8.70	0.79	6.67	9.93	-
	N-1	7.66	0.72	6.39	9.24	-11.95
	Ç-1	7.79	0.52	6.68	8.59	-10.46
	E-6	7.19	0.91	5.51	8.67	-17.36
Kızılçam	K*	7.64	0.87	5.79	9.34	-
	N-1	6.64	0.78	5.45	7.92	-13.09
	Ç-1	7.29	0.68	6.11	8.48	-4.58
	E-6	7.14	0.60	6.43	8.25	-6.54

* Kontrol örneğidir. ** 15 örnek için aritmetik ortalamadır. *** Kontrole göre %'dir.

ANOVA sonuçlarına göre (Tablo 8), söz konusu jeotermal suların, karaçam ve kızılçam odunlarının statik kalite değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli derecede etkili oldukları görülmüştür. Duncan testi sonuçlarına göre (Tablo 9), statik kalite değeri üzerine etkileri açısından, karaçam odunu için N-1 ile hem Ç-1 hem de E-6 aynı homojenlik grubunu oluştururken, Ç-1 ve E-6'nın farklı bir grubu oluşturdukları görülmüştür. Kızılçam odunu için

ise E-6 ile hem N-1 hem de Ç-1 aynı homojenlik grubunda toplanırken, N-1 ve Ç-1'in farklı bir grupta toplandığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, her iki çam türü odunları için, kontrol ile N-1, Ç-1 ve E-6'nın farklı bir grupta yer aldıkları gözlenmiştir. Buna göre, statik kalite değerine katkıları bakımından, karaçam odununda Ç-1 ve E-6 arasında, kızılçam odununda ise N-1 ve Ç-1 arasında anlamlı bir farklılık olduğu söylenebilir. Ayrıca her iki ağaç türü odunları için, kontrol ile N-1, Ç-1 ve E-6 arasındaki farklılığın da önemli olduğu söylenebilir.

Tablo 8. Test edilen odun türlerinin statik kalite değerine ilişkin ANOVA sonuçları

Ağaç türü	Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	Sig.*
Karaçam	Gruplar arası	17.822	3	5.941	10.624	0.000
	Gruplar içi	31.314	56	0.559		
	Toplam	49.136	59			
Kızılçam	Gruplar arası	7.765	3	2.588	4.722	0.005
	Gruplar içi	30.698	56	0.548		
	Toplam	38.462	59			

*p≤ 0.05

Tablo 9. Jeotermal kaynak türüne göre test edilen odunların statik kalite değerine ilişkin Duncan testi sonuçları

Ağaç türü	Jeotermal kaynak türü	Ortalama	Homojenlik grubu*
Karaçam	K	8.70	A
	N-1	7.66	BC
	Ç-1	7.79	B
	E-6	7.19	C
Kızılçam	K	7.64	D
	N-1	6.64	E
	Ç-1	7.29	D
	E-6	7.14	DE

* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında önemli bir farklılık yoktur.

Statik kalite değeri Erten ve Sözen (1996)'de 6.40–8.28, Genç (2013)'te 5.49–7.17 ve Demirtaş (2015)'ta 6.94–7.32 arasında değişirken, bu çalışmada 6.64–8.70 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 9). Buna göre, bu çalışmada elde edilen statik kalite değerine dair bulguların literatür sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir.

Erten ve Sözen (1996)'de statik kalite değerinin, ağacın kalitesi hakkında fikir veren bir değer olduğu bildirilirken, Bozkurt ve Erdin (1997)'de basınç direnci bakımından ağaç türlerinin çeşitli kalite gruplarına ayrılmasında kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca Erten ve Sözen (1996)'de "MONNiN"e göre statik kalite değeri 7'den az olduğunda, ağaç kalitesinin düşük, 7–8.5 olduğunda orta ve 8.5'den fazla olduğunda iyi olduğu bildirilmiştir. Bozkurt ve Erdin (1997)'de iğne yapraklı ağaçlar için, statik kalite faktörü 7'den küçükse, ağacın düşük kalite grubunda, 7–8 arasındaysa orta kalite grubunda ve 8'den büyükse iyi kalite grubunda olduğu ifade edilmiştir. Buna göre her iki çam odunu için Ç-1 ve E-6 ile yapılan emprenyede orta kalite grubu (değeri) elde edilirken, N-1 ile emprenyede karaçam için orta, kızılçam için düşük kalite değeri elde edilmiştir. Her üç jeotermal su için, statik kalite değeri, karaçam için 7.55 olurken, kızılçam için 7.02 bulunmuştur. Böylece çalışmada kullanılan jeotermal suların, karaçam ve kızılçam odunlarına orta düzeyli (7–8 arası) bir statik kalite kazandırdığı ve bu sonuçların literatürle uyumlu olduğu söylenebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, Kütahya-Simav yöresinden Eynal (E-6), Çitgöl (Ç-1) ve Naşa (N-1)) jeotermal sularıyla yapılan emprenyede, karaçam ve kızılçam diri odunlarının eğilme direnci %8.01-%15.54 oranında azalırken LPB direnci %3.70-%12.35 oranında azalmıştır. Dirençlerdeki bu azalmaların, izin verilen azalma oranları (%10–20) arasında kaldığı görülmüştür. Ayrıca karaçam ve kızılçam odunlarının statik kalite değerleri 7.14–7.79 arasında bulunmuştur. Bu değerler, söz konusu jeotermal suların bu iki çam türü odunlarında basınç direnci bakımından statik kaliteye orta seviyede katkı yaptığını göstermektedir.

Simav yöresi jeotermal suları karaçam ve kızılçam odunlarının eğilme direnci, LPB direnci ve statik kalite değerine istatistiksel anlamda önemli derecede etki yapmıştır. Azalma olarak ortaya çıkan bu etkiler bakımından, her iki çam odununda her üç özellik için kontrol ile jeotermal sular arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Jeotermal sular arasında ise karaçam odununda eğilme direnci hariç, her iki odun türü için diğer özellikler açısından önemli bir farklılık tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre, karaçam ve kızılçam diri odunlarından üretilip Simav yöresi (Eynal, Çitgöl, Naşa) jeotermal sularıyla muamele edilen ağaç malzemeler, uzun süre eğilme ve basınç etkisi yapmayan yüklemelerle karşılaşılan ve orta düzeyli statik basınç etkisi yapan kullanım alanlarında değerlendirilebilir. Ayrıca, eğilme direnci, basınç direnci ve statik kalitenin fazla önemli olmadığı kullanım yerlerinde, Çitgöl jeotermal suyu ile muamele edilen karaçam ve kızılçam odunlarının diğer Eynal ve Naşa jeotermal sularıyla muamele edilen karaçam ve kızılçam odunlarına tercih edilmesi daha avantajlı olabilir. Ayrıca mekaniksel özelliklerin yapı elemanları için en önemli karakteristiklerden biri olduğu bilinmektedir. Bu özelliklerin bilinmesi herhangi bir kullanım yerine yönelik ağaç malzeme seçiminde önemlidir. Örneğin, ağaç malzeme, kullanım alanlarında, özellikle de yapılarda, çoğunlukla eğilme ve basınç etkisi yapan yüklemelerle karşılaşmaktadır. Birçok durumda statik olarak etki eden bu yükler, etkilerini yavaş yavaş arttırarak uzun bir zamanda göstermektedir. Bu nedenle böyle etkiler altında uzun süre kalabilecek jeotermal sularla empenyeli ağaç malzemelerin eğilme direnci, basınç direnci, statik kalite değeri gibi mekaniksel özellikleri de bilinmelidir.

Teşekkür

Yazarlar, SDU BAP 3365-YL1-12 nolu projenin bir bölümünün özeti olan bu çalışmaya, destek ve katkıları için, SDU BAP Koordinasyon Birimi ile Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal tesislerine teşekkür eder.

Kaynaklar

1. **Akkuş I, Akıllı H, Ceyhan S, Dilemre A, Tekin Z (2005).** Türkiye jeotermal kaynakları envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Yayınları. Envanter Serisi-201, Ankara
2. **As N, Koç KH, Doğu D, Atik C, Aksu B, Erdinler S (2001).** Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri B 51/1: 71-88
3. **Bayram F (1999).** Simav jeotermal alanının hidrojeoloji incelemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya, 156s
4. **Bendtsen BA (1984).** Mechanical properties of longleaf pine treated waterborn salt preservatives. USDA Forest Service, 434, USA
5. **Bozkurt AY, Erdin N (1997).** Ağaç malzeme teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 3998/445, İstanbul
6. **Chang HT, Chang ST (2001).** Correlation between softwood discoloration induced by accelerated lightfastness testing by indoor exposure. Polymer Degradation and Stability 72(2): 361-365
7. **Değirmençtepe S, Baysal E, Türkoğlu T, Toker H, Devci İ (2015).** Some properties of Turkish sweetgum balsam (*styrax liquidus*) impregnated oriental beech wood. Part II: Decay resistance, mechanical and thermal properties. Wood Research 60 (4): 591-604
8. **Demirtaş M (2015).** Jeotermal akışkan ile empenyeli ahşabın açık hava ortamındaki dayanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 65s
9. **Erten P, Sözen MR (1996).** Halep çamı (*Pinus halepensis* Mill.) odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin belirlenmesi. İç Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü. Teknik Bülten Serisi 1 No: 268, 1-40
10. **Genç A (2013).** Afyonkarahisar Ömer-Gecek jeotermal kaynaklarında empenye maddelerinin ve bu kaynaklarla işlem görmüş ahşabın bazı özelliklerinin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 75s
11. **Green DW, Winandy JE, Kretschmann DE (1996).** Mechanical properties of wood. Wood handbook: Chapter 4, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: US
12. **Gürü M (2005).** Jeotermal enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. Çevreye Genç Bakış Sayı No:7
13. **Hsu FL, Chang HT, Chang ST (2007)** Evaluation of antifungal properties of octyl gallate and its synergy with cinnamaldehyde. Bioresource Technology 98(4): 734-738
14. **Karademir E (2012).** Jeotermal akışkanlarla empenye edilen ahşabın performansı: Uşak yöresi örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 62s
15. **Kartal SN (1998).** CCA ve CCB empenye maddeleri ile korunan ağaç malzemenin dayanıklılık, yıkanma ve direnç özellikleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul

16. Keskin H, Dağlıoğlu N (2016). Bazı odun türlerinde tanalit-e emprenye maddesinin eğilme direnci ve eğilmeye elastiklik modülüne etkileri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 17 (1): 62-69
17. Keskin H, Atar M, Ertürk NS, Çolakoğlu MH, Korkut S (2013). Mechanical properties of Rowan wood impregnated with various chemical materials. Int J of Physical Sci (IJPS), 8(2): 73-82
18. Lahtela V, Hämäläinen K, Kärki T (2014). The effects of preservatives on the properties of wood after modification. Baltic Forestry 20(1): 189-203
19. Milch J, Vavreč H, Tippner J, Brabec M (2016). The effect of growth conditions in specific areas of Croatia and the Czech Republic on the physical and mechanical properties of black alder wood (*Alnus glutinosa* Gaertn.). Turk J Agric. For. 40: 7-12
20. Mourant D, Yang DQ, Rield B, Roy C (2008). Mechanical properties of wood treated with PF-pyrolytic oil resins. Holz als Roh-und Werkstoff 66 (3): 163-171
21. Mutlu MA (2004). Jeotermal enerji ve Türkiye'deki durumu. Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Potansiyeli ve Enerji Politikaları Konferans Notları ([www.turkocagi.org.tr/toa/ grup-enerji](http://www.turkocagi.org.tr/toa/grup-enerji)), Erişim: 21 Ocak 2007
22. NFPA (1986). National design specification for wood construction. National Forest Products Association. Washington (DC), USA
23. Öktü G (1984). Hydrological investigation of Eynal and Çitgöl-Naşa (Simav) hot springs [in Turkish]. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara
24. Örs Y, Keskin H, Atar M, Çolakoğlu M (2007). Effects of impregnation with Imersol-aqua on the modulus of elasticity in bending of laminated wood materials. Construction and Building Materials 21: 1647-1655
25. Örs Y, Atar M, Keskin H, Yavuzcan HG (2005). Impacts of impregnation with imersol aqua on the modulus of elasticity in bending. J of Applied Polymer Sci (JAPS), 99 (6): 3210-3217
26. Özalp M, Ordu M (2010). Kereste kurutmada kullanılan enerji kaynağının maliyete etkileri. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 22: 99-108
27. Soygüder A (2017). Jeotermal kaynak sularıyla muamele edilen kızılçam (*pinus brutia* Ten.) odununun bazı fiziksel özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 75s
28. Srinivas K, Pandey KK (2012). Photodegradation of thermally modified wood. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 117(1): 140-145
29. TS EN 47 (2011). Ahşap koruma-Ev teke böceği larvalarına karşı zehirlilik değerlerinin tayini (lab. metodu). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
30. TS 2474 (1976). Odunun statik eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
31. TS 2595 (1977). Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
32. TS 345 (2012). Ahşap emprenye maddeleri etkilerinin deney yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
33. TS 4176 (1984). Odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen meşcerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
34. Ulvcróna T, Lindberg H, Bergsten U (2006). Impregnation of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) wood by hydrophobic oil and dispersion patterns in different tissues. Forestry 79(1): 123-134
35. Var AA (2009). Quantative of potential wood preservatives in geothermal fluids and their suitability for wood impregnation treatment. Suleyman Demirel University Faculty of Forestry Journal 1: 184-197
36. Var AA, Yalçın M, Şen S, Taşcıoğlu C (2012). Antifungal activity of geothermal fluids from different regions of Turkey. Bioresources 7(3): 4226-4236
37. Var AA, Göncü D, Karsantiöz F (2013). Investigation of absorption, retention and swelling in Izmir-Doğanbey geothermal waters-treated pine wood (*Pinus brutia* Ten.). Suleyman Demirel University Faculty of Forestry Journal 14: 127-133
38. Var AA, Genç A, Kardaş I (2014). Investigation of some properties of Afyonkarahisar-Omer-Gecek-Gazlıgöl geothermal waters-impregnated Crimean pine (*P. nigra* Arnold.) and Turkish red pine (*P. brutia* Ten.) sapwoods. Suleyman Demirel University Faculty of Forestry Journal 15:114-122
39. Var AA, Kardaş I, Genç A, (2015). Determination of wood impregnant potential, effects on absorption, retention and density in wooden of Kütahya-Simav geothermal waters. Turkish Journal of Forestry 16(1): 42-49
40. Winandy JE (1995). Effects of waterborne preservative treatment on mechanical properties: A review. Ninety-first annual meeting of the American Wood-Preservers' Association. New York, May 21-24, 1995, 91: 17-34
41. Yıldız UC, Temiz A, Gezer ED, Yıldız S (2004). Effects of the wood preservatives on mechanical properties of yellow pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. Building and Environment 39: 1071-1075