

Sıvı Azot Ön İşlemi ve Boraks Uygulamasının Sarıçam Ağaç Malzemenin Yanma Özelliklerine Etkisi

The Effect of Liquid Nitrogen Pretreatment And Borax Application on The Combustion Properties of Scots Pine Wood Material

Cemal ÖZCAN¹, Osman ÇALIM², Süleyman ÖZCAN^{*1}

¹Karabük Üniversitesi, Safranbolu Fethi Tokar Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü, Safranbolu, Karabük

²Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilimdalı, Karabük

Eser Bilgisi /Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1650829

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Süleyman ÖZCAN

e-mail: suleymanozcan@karabuk.edu.tr

Geliş tarihi / Received

04.03.2025

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

14.05.2025

Kabul tarihi / Accepted

13.06.2025

Elektronik erişim / Online available

15.10.2025

Anahtar kelimeler:

Sıvı azot

Boraks

Yanma

Sarıçam

Keywords:

Liquid nitrogen

Borax

Combustion

Scots pine

Özet

Bu çalışmada, sıvı azot ön işlemi uygulanan emprenyeli sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağaç malzemenin yanma özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda şu numune grupları hazırlanmıştır: Ön işlem görmemiş emprenyesiz kontrol numuneleri, emprenye işlemi uygulanmış numuneler, sıvı azot ön işlemi uygulanmış numuneler, emprenye işlemi ve sıvı azot ön işlemi uygulanmış numuneler. Yanma testi ASTM-E 69 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Kütle kaybı, gazların salınımı (CO ppm, NO ppm, % O₂), baca ve yanma sıcaklığı farkları yanma sırasında her 30 saniye için belirlenmiştir. Veriler analiz edilmiş ve farklı uygulamaların etkinliği tartışılmıştır. Sonuç olarak sıvı azot ön işlemi ile muamele etmenin, ağaç malzemedeki sağlanan boraks retensiyonunu %30'a yakın arttırdığı görülmüştür. Bu artış, kütle kaybını alevli yanma sonunda %7, yanma sonunda %2 azaltmıştır. Burada ağaç malzemenin içerisinde tutulan koruyucu ve yangın geciktirici madde miktarının artması hem emprenye kalitesini hem de ağaç malzemenin kullanım ömrünü pozitif etkilemiştir.

Abstract

In this study, the effects of liquid nitrogen pretreatment on the combustion properties of impregnated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood were investigated. For this purpose, the following sample groups were prepared: Unpretreated and unimpregnated control samples, impregnated samples, liquid nitrogen pretreated samples, impregnated and liquid nitrogen pretreated samples. The combustion test was carried out according to ASTM-E 69 standard. Mass loss, gas release (CO ppm, NO ppm, % O₂), flue and combustion temperature differences were determined for every 30 seconds during combustion. The data were analyzed and the effectiveness of different applications was discussed. As a result, it was seen that liquid nitrogen pretreatment increased the borax retention provided in the wood material by nearly 30%. This increase decreased the mass loss by 7% at the end of flaming combustion and by 2% at the end of combustion. Here, the increase in the amount of protective and fire retardant substances held in the wood material has a positive effect on both the impregnation quality and the service life of the wood material.

GİRİŞ

Ağaç malzeme iç ve dış mekânların işlevsel hale getirilmesinde kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Yenilenebilir bir kaynak olarak ağaç malzeme hem geleneksel hem de yeni teknolojiler için sürdürülebilir çözümler sunarak endüstride önemli bir rol oynamaya devam etmektedir (Zhu ve ark. 2016). Ağaç malzemeleri biyolojik, mekanik etkenlere karşı korumak ve kullanım ömrünü artırmak için emprenye işlemleri uygulanır. Emprenye işleminin diğer bir faydası da, yangın geciktirici kimyasallar kullanılarak ağaç malzemenin yanmasının geciktirilmesine imkân sunmasıdır (Seo ve ark. 2017). Borik asit ve boraks uygulamalarının ağaç malzemelerin

yanma direncini önemli ölçüde artırabildiği bilinmektedir. Çok sayıda çalışma, bor bileşiklerinin yanma sırasında kütle kaybını azalttığını ve uygulama yapılmamış ağaç malzemeye kıyasla yanma sıcaklıklarını düşürdüğünü göstermiştir (Yapıcı ve ark. 2011, Keskin ve ark. 2013, Wu ve Xu 2014, Yüksel ve ark. 2014, Yu ve ark. 2017). Sıvı azot ön işlem uygulaması, ağaç malzemenin emprenye ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde umut verici sonuçlar göstermiştir (Lu ve ark. 2012, Zhao ve ark. 2015, Kurt 2022). Emprenye işlemlerinin daha etkili yapılabilmesi için son yıllarda sıvı azot ön işlem uygulaması ile ilgili çalışmalar yapıldığı, bu uygulamanın emprenye işlemlerinde ve retensiyon değerlerinde olumlu sonuçlar sağladığı görülmüştür (Kurt ve ark. 2012,

Özcan ve ark. 2016, Yörür ve ark. 2017, Stepina ve Yulia 2023). Buna bağlı olarak bazı emprenye ünitelerine sıvı azot modülü eklenerek yeni sistemler geliştirilmiştir (Kurt ve ark. 2014, Yörür ve Kayahan 2018). Bu çalışmada, emprenye işlemlerinde olumlu sonuçlar alınan sıvı azotla ön işleme tabi tutulmuş ve boraksla emprenye edilmiş sarıçam ağaç malzemenin yanma özellikleri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Ağaç Malzeme

Bu çalışmada; mobilya ve ahşap yapı sektöründe sıklıkla tercih edilen sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), ağaç malzemesi kullanılmıştır. Ağaç malzemeler, piyasadan “Rasgele Seçim” metodu ile temin edilmiştir. Ağaç malzemeler, hava kurusu hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma sonrası malzemelerin önce kaba kesimi yapılmıştır. Daha sonra net ölçülere getirilen numunelerden kontrol ve diğer deney varyasyonları için deney örnekleri tasnif edilmiştir.

Sıvı Azot

Sıvı halde -197 °C olan azot atmosferin %78’ini oluşturmaktadır. Ayrıca azot endüstride birçok alanda sıklıkla kullanılan bir gazdır. Dondurucu bir sıvı olduğu için canlı dokuyla temas etmesi ani donmaya sebebiyet

verebilir. Sıvı azot suyun donma noktasının çok altındaki sıcaklıklarda sıvı kalabilme özelliği sayesinde birçok alanda kullanım imkânı sunmaktadır. Sıvı azotun Fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir (Habaş 2023)

Çizelge 1. Sıvı azotun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Maddenin hali	Gaz
Gaz haldeki yoğunluğu	1.1850 kg/m ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	0.806 kg/lit
Ergime noktası	-210.00 °C
Kaynama noktası	-195.8 °C

Boraks

Boraks, taze kerestenin difüzyon yöntemi kullanılarak emprenye edilmesi sürecinde kullanılan kimyasal bir maddedir. Kerestenin kalınlığına bağlı olarak, %5 ile %15 arasında değişen konsantrasyonlarda uygulanması önerilmektedir. Boraks, kerestede mavi renk oluşumunu engellemekte ve küf mantarlarının gelişimini önlemektedir. Ayrıca, yangın gibi, ağaç malzemenin yüksek sıcaklıkla karşı karşıya kaldığı durumlarda, dış tabakalardaki suyu süratle dışarı vererek hızla kömürleştirmesi ve böylece kömürleşen dış tabakadan içeriye ısının iletilmesini önleyerek yavaş yanmayı temin etmesi ile yangında acil müdahaleye zaman kazandırarak can ve mal kaybını azaltmaktadır (Hafızoğlu ve ark. 1994).

Çizelge 2. Emprenye maddesinin özellikleri ve test planı

Kullanılan kimyasal madde	Çözelti konsantrasyonu	Çözücü madde	Safılık	pH		Yoğunluk (g/ml)	
Boraks	% 5	Saf su	% 99	Emprenye öncesi	Emprenye sonrası	Emprenye öncesi	Emprenye sonrası
				5.23	5.30	1.02	1.02

Hava Kuru Yoğunluk

Numunelerin nem içerikleri, TS 2471 standardına uygun şekilde belirlenirken, yoğunlukları ise TS 2472 standardının belirlediği esaslar doğrultusunda tespit edilmiştir. Bu kapsamda; deney numuneleri, 20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 3 bağıl nem koşullarını sağlayan kontrollü bir kabin içerisinde, sabit ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Ardından, 0.001 g hassasiyetindeki analitik terazi kullanılarak ağırlıkları ölçülmüş, boyutları ise ± 0.01 mm hassasiyetindeki kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Hava kuru durumundaki

ağırlık (M_{12}) ve hacim (V_{12}) değerleri kullanılarak, hava kuru yoğunluk (D_{12}) değeri belirlenmiştir.

$$D_{12} = M_{12}/V_{12} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. Burada;

M_{12} : Örnek ağırlığını (g), V_{12} : Örnek hacmini (cm³) ifade etmektedir.

Deney Örneklerinin Hazırlanması

Kaba kesimi yapılan test numuneleri, iklimlendirme dolabında 20 ± 2 °C ve %65 ± 3 bağıl nemde stabil hale

gelene kadar klimatize edilerek ASTM E-69 standardına uygun olarak 9x19x1016 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Burada %12 rutubet oranına getirilen örnekler, sıvı azotun retensiyon miktarındaki değişime etkisini belirlemek amacıyla -195°C de sıvı azot tankında 1 saat bekletilmiştir. Suda çözünen emprenye maddeleri için retensiyon miktarı (R, kg/m³)

$$R = G \times C / V \times 10 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. Burada;

$$G = T_2 - T_1$$

T1: Deney örneğinin emprenye öncesi ağırlığı (g), T2: Deney örneğinin emprenye sonrası ağırlığı (g), V: Örnek hacmini (m³), C: Çözelti konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Alınan örnekler emprenye öncesi %12 rutubete getirilmek için iklimlendirme dolabında denge rutubetine erişinceye kadar bekletilmişlerdir. Hazırlanan numuneler ASTM D 1413-76 standardına uygun olarak uzun süreli daldırma yöntemi ile 36 saat boyunca emprenye çözeltisinde bekletilmiştir. Emprenye işleminden sonra, numuneler çözücünün buharlaşması için 15 gün süreyle hava sirkülasyonu altında 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve %65 ± 3 bağıl nemde tutulmuştur. Bu süreden sonra, emprenye edilmiş numuneler sabit ağırlığa ulaşana kadar 103 ± 2 °C'de fırında kurutularak yanmaya hazır hale getirilmiştir. Numunelerin emprenye işlemi öncesi ve son kurutma

işlemi sonrasında ağırlıkları hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir.

Yanma Deneyleri

Ağaç malzeme yanma deneyleri, ASTM E-69 standartlarına göre düzenlenmiş bilgisayar kontrollü yanma düzeneğinde yapılmıştır. Düzenekte malzemelerin yandığında kütleli değişikliğini belirlemek için 0.01 g hassasiyete sahip bir dijital terazi, alev oluşturmak için bütan gazı kullanılmıştır. Gaz akışı standart, alev yüksekliği 25 cm ve sıcaklık 1000 °C olarak belirlenmiştir. Düzenek içine asılan test numunelerinin alt ucu ile gaz borusunun tepe noktası arasındaki mesafe 2.54 cm olarak ayarlanmıştır.

Test sırasındaki kütleli değişiklikler ve sıcaklık her 30 saniyede bir kaydedilmiştir. Test kabiniinde doğal çekişli bir baca kullanılmıştır. Yanma testinin başlangıcında alev kaynağı 4 dakika kullanıldıktan sonra alınarak 6 dakika yanma alev kaynağı olmadan devam ettirilmiş ve toplamda 10 dk süre sonunda ölçümler sonlandırılmıştır. Ölçümlerde Testo 350 M ve XL baca gazı analizörleri, salınan gazların (CO ppm, NO ppm, %O₂) konsantrasyonunu ve sıcaklık değişimini ölçmek için kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Sarıçam ağaç malzemenin tam kuru ve hava kurusu yoğunluk değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Sarıçam ağaç malzemenin yoğunluk değerleri (g/cm³)

Tam Kuru Yoğunluk g/cm ³	Hava Kurusu Yoğunluk g/cm ³	Sıvı Azot Ön İşlem Uygulaması Sonrası Yoğunluk g/cm ³
0.48	0.52	0.51

Sıvı azot ön işlem uygulamasından sonra yoğunluktaki kısmi düşüş ekstraktif maddelerin uzaklaşarak hücre dışına çıkmasından kaynaklanabilir (Aytaşkın 2009). Sarıçam ağaç malzemenin emprenye sonrası retensiyon değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Sarıçam ağaç malzemenin retensiyon değerleri (kg/m³)

Kontrol	Sıvı Azot Ön İşlemli
1.73	2.29

Sarıçam ağaç malzeme örneklerine sıvı azot ön işlem uygulamasının, tıkalı halde veya aspirasyon halinde bulunan kenarlı geçitleri bozundurarak açtığı ve sıvının ağaç malzeme boyunca taşınmasını kolaylaştırdığı görülmüştür. Yani kriyojenik işlem, emprenye çözeltisinin ağaç malzemeye alınımasını artırmıştır (Yörür ve Kayahan 2018).

Kurt (2022) çalışmasında, emprenye öncesi sıvı azot ile ön işleme tabi tutulan örneklerde, kontrol grubu örneklerine nazaran retensiyonun ortalama %150-200 oranında arttığını belirlemiştir. He ve ark. (2014), sıvı geçirgenliğini arttırmak için Çin göknarı odununa mikrodalga (MW) ön işlem metodu uygulamışlardır. Çin göknarının MW ön işlemi neticesinde, mekanik özelliklerde önemli ölçüde bir etkilenme söz konusu olmadan daha iyi bir geçirgenlik elde edebilmek için optimum 14 parametre belirlemiştir. Örnekler SEM ile incelendiğinde geçitlerin tahrip edildiğini ve hücre çeperlerinde hasarlar meydana geldiğini gözlemlemiştir. Yörür ve ark.

(2017), Sarıçam ve Doğu ladini odun örneklerine 30 dakika süreyle sıvı nitrojen ön işlemi uygulamışlar ve Firetex ile emprenye işlemi sonrasında da retensiyon miktarının arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, sıvı azot ön işleminin mekanik özellikler üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını da bildirmişlerdir.

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş emprenyeli örneklerine uygulanan yanma deneyleri sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ölçümlerine ait ortalama değerler, Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Sarıçam ağaç malzeme örneklerinde ölçülen % ağırlık kaybı değerleri

Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemli	Emprenyeli	Azot ön işlemli emprenyeli	Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemli	Emprenyeli	Azot ön işlemli emprenyeli
1*	4.13	3.09	3.64	3.21	11	73.80	76.11	32.46	29.30
2*	8.86	7.44	7.36	6.36	12	82.81	82.73	32.55	29.72
3*	13.97	14.64	10.52	8.75	13	87.74	86.80	33.05	30.20
4*	20.68	23.92	13.41	11.45	14	89.85	90.29	33.16	31.21
5*	27.68	29.91	17.35	14.21	15	95.29	91.42	33.65	32.80
6*	35.03	37.81	21.90	17.66	16	96.53	94.06	33.74	33.34
7*	42.11	44.78	26.58	22.86	17	97.10	96.43	33.82	33.46
8*	47.43	50.17	29.29	27.40	18	97.46	97.40	34.28	33.56
9	56.17	56.93	30.89	28.33	19	97.67	98.50	34.44	33.81
10	63.81	66.10	31.96	28.54	20	98.16	98.77	34.64	33.93

*Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemesi yanma deneyleri sonucunda elde edilen ortalama ağırlık kaybı yüzdelerine göre; alev kaynaklı yanma sürecinin sonunda en yüksek ağırlık kaybı, %50.17 ile yalnızca azot ön işlemi uygulanmış örneklerde, en düşük ağırlık kaybı ise %27.40 ile azot ön işlemli emprenyeli örneklerde tespit edilmiştir. Yanma sürecinin tamamlanmasının ardından ise en yüksek ağırlık kaybı, %98.77 ile yine azot ön işlemi uygulanmış örneklerde, en düşük ağırlık kaybı ise %33.93 ile azot ön işlemli emprenyeli örneklerde belirlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen ağırlık kaybı yüzdeleri incelendiğinde; alev kaynaklı yanma sürecinin sonunda (8. ölçüm) en yüksek ağırlık kaybı, azot ön işlemi uygulanmış örneklerde gözlemlenmiştir. Diğer örneklerin ağırlık kaybı değerleri, azot ön işlemi uygulanmış örneklerle kıyasla; kontrol örneklerinde %6, emprenyeli örneklerde %71 ve azot ön işlemli emprenyeli örneklerde ise %83 oranında daha düşük bulunmuştur. Yanma

sürecinin tamamlanmasının ardından (20. ölçüm) ise en yüksek ağırlık kaybı yine azot ön işlemli örneklerde olup, diğer örneklerin ağırlık kaybı değerleri, azot ön işlemli örneklerle göre; kontrol örneklerinde %0.6, emprenyeli örneklerde %185 ve azot ön işlemli emprenyeli örneklerde ise %191 oranında daha düşük tespit edilmiştir. Kurt ve Mengeloğlu (2008), yaptıkları çalışmanın sonucunda, yanma özelliklerinin Borik Asit/Boraks ilavesiyle arttığını ifade etmişlerdir.

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ölçümlerine ait ortalama değerler Çizelge 6'da, verilmiştir.

Çizelge 6. Sarıçam ağaç malzeme örneklerinde ortalama üst sıcaklık değerleri (°C)

Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli	Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli
1*	63.70	84.70	111.40	89.66	11	510.07	473.21	176.73	173.39
2*	80.51	107.91	131.60	109.54	12	551.79	548.58	164.66	159.44
3*	101.37	133.64	149.66	126.64	13	541.86	557.29	154.86	147.70
4*	125.96	161.40	175.40	147.45	14	491.80	536.08	145.93	139.11
5*	155.44	189.34	196.20	165.32	15	426.43	482.54	139.60	131.36
6*	184.84	214.08	215.06	181.46	16	362.00	410.80	131.33	124.27
7*	207.54	235.95	219.73	199.15	17	312.85	355.29	126.40	116.91
8*	231.28	261.73	216.20	207.78	18	274.92	316.59	121.53	111.43
9	288.68	300.28	209.13	207.19	19	244.54	288.05	117.06	106.23
10	395.73	376.67	190.86	189.67	20	223.73	254.67	103.06	102.50

*Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerine uygulanan yanma deneyleri sonucunda elde edilen üst sıcaklık değerlerinin ortalamaları incelenip, her grubun ulaştığı en yüksek değerler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; en yüksek üst sıcaklık değeri 551.79 °C ile kontrol örneklerinde kaydedilirken, en düşük üst sıcaklık değeri ise 219.73 °C ile emprenyeli örneklerde tespit edilmiştir.

Sarıçam ağaç malzemesinin yanma deneyleri sonucunda elde edilen üst sıcaklık değerleri analiz edildiğinde; en yüksek üst sıcaklık değerlerinin azot ön işlemlili örneklerde gözlemlendiği belirlenmiştir. Diğer örneklerin üst sıcaklık

değerleri, azot ön işlemlili örneklerle kıyasla; kontrol örneklerinde %0.9, emprenyeli örneklerde %154 ve azot ön işlemlili emprenyeli örneklerde ise %168 oranında azalma göstermiştir. Yüksel ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, borlu bileşiklerle muamele edilmiş ahşap numunelerin kütle kaybı ve sıcaklık değerlerinin üç yanma aşamasında da muamele edilmemiş ahşap numunelere kıyasla daha düşük olduğunu göstermiştir.

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerinin yanma deneyleri sonucunda elde edilen %O₂ ölçümlerine ait ortalama değerler, Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Sarıçam ağaç malzeme örneklerinde % O₂ ortalama değerleri

Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli	Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli
1*	20.75	20.50	20.30	20.05	11	17.67	17.24	20.54	20.25
2*	20.51	19.59	19.80	19.75	12	17.41	17.77	20.76	20.51
3*	20.19	18.81	19.26	19.64	13	17.32	18.48	20.82	20.56
4*	19.95	18.17	19.19	19.59	14	17.55	19,07	20.84	20.65
5*	19.65	17.65	18.91	19.31	15	18.17	20,02	20.87	20.71
6*	19.32	17.50	18.76	19,10	16	18.76	20.59	20.96	20.73
7*	18.95	17.39	18.54	19,07	17	19.76	20.77	20.97	20.73
8*	18.60	17.35	19.25	19,05	18	20.56	20.83	20.97	20.74
9	18.25	17.28	19.44	19,29	19	20.86	20.82	20.97	20.74
10	17.95	17.25	19.88	19.86	20	20.94	20.85	20.98	20.74

*Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerine uygulanan yanma deneyleri sonucunda elde edilen %O₂ ortalama değerler incelenip, her grubun ulaştığı en düşük değerler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; en düşük %O₂ değeri, yani en yüksek oksijen kaybı, %17.24 ile azot

ön işlemlili örneklerde tespit edilirken, en yüksek %O₂ değeri, yani en az oksijen kaybı, %19.05 ile azot ön işlemlili emprenyeli örneklerde kaydedilmiştir.

Sarıçam ağaç malzemesinin yanma deneyleri sonucunda elde edilen %O₂ değerleri incelendiğinde; en düşük %O₂ değerlerinin azot ön işlemlili örneklerde gözlemlendiği belirlenmiştir. Diğer örneklerin %O₂ değerleri, azot ön işlemlili örneklerle kıyasla; kontrol örneklerinde %0.4,

emprenyeli örneklerde %7 ve azot ön işlemlili emprenyeli örneklerde ise %9 oranında artış göstermiştir. Malzemenin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerinin yanma deneyleri sonucunda elde edilen CO ölçümlerine ait ortalama değerler, Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Sarıçam ağaç malzeme örneklerinde CO ortalama değerleri (ppm)

Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli	Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli
1*	11.80	25.00	115.30	70.30	11	410.90	394.00	137.60	207.40
2*	27.30	86.00	190.00	110.30	12	494.50	283.00	126.70	175.30
3*	48.70	126.00	220.30	127.90	13	500.60	237.00	106.90	113.30
4*	75.10	150.00	270.70	145.30	14	449.90	226.00	97.20	75.40
5*	117.30	169.00	238.70	176.30	15	335.00	206.00	79.80	61.10
6*	156.60	206.00	217.30	236.00	16	269.50	172.00	58.40	53.80
7*	188.50	288.00	212.30	241.60	17	199.00	129.00	54.30	48.30
8*	247.00	368.00	182.30	240.60	18	146.50	84.00	30.60	20.80
9	296.60	431.00	164.50	236.10	19	101.40	47.00	19.40	11.81
10	355.70	475.00	154.50	232.60	20	61.90	31.00	9.30	7.80

*Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerine uygulanan yanma deneyleri sonucunda elde edilen CO (karbon monoksit) ortalama değerler incelenip, her grubun ulaştığı en yüksek değerler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; ; en yüksek CO değeri 500.60 ppm ile kontrol örneklerinde tespit edilirken, en düşük CO değeri ise 241.60 ppm ile azot ön işlemlili emprenyeli örneklerde kaydedilmiştir.

Sarıçam ağaç malzemesinin yanma deneyleri sonucunda elde edilen CO değerleri incelendiğinde; en yüksek CO değerlerinin kontrol örneklerinde gözlemlendiği belirlenmiştir. Diğer örneklerin CO değerleri, kontrol örneklerine kıyasla; azot ön işlemlili örneklerde %5, emprenyeli örneklerde %85 ve azot ön işlemlili emprenyeli örneklerde ise %107 oranında azalma göstermiştir. Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerinin yanma deneyleri sonucunda elde edilen NO (azot oksit) ölçümlerine ait ortalama değerler, Çizelge 9'da sunulmuştur.

Çizelge 9. Sarıçam ağaç malzeme örneklerinde NO ortalama değerleri (ppm)

Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli	Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemlili	Emprenyeli	Azot ön işlemlili emprenyeli
1*	1.22	2.00	1.00	0.80	11	15.25	23.00	9.00	10.20
2*	2.68	4.00	2.30	3.80	12	15.62	21.00	6.00	7.20
3*	4.12	7.00	4.10	5.60	13	17.02	17.00	4.40	4.00
4*	5.10	11.00	5.90	7.00	14	13.60	13.00	3.40	3.20
5*	7.02	15.00	8.30	9.40	15	11.45	7.00	2.10	2.60
6*	8.78	17.00	10.00	11.60	16	9.22	3.00	1.30	2.10
7*	10.45	17.00	12.00	13.40	17	5.32	2.00	0.80	1.10
8*	11.05	17.00	15.00	14.00	18	1.81	1.00	0.60	0.70
9	12.34	18.00	17.00	17.60	19	1.02	1.00	0.40	0.50
10	13.24	20.00	12.00	13.80	20	0.02	1.00	0.20	0.30

*Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerine uygulanan yanma deneyleri sonucunda elde edilen NO (azot oksit) ortalama değerler incelenip, her grubun ulaştığı en yüksek değerler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; en yüksek NO değeri 23 ppm ile azot ön işlemli örneklerde tespit edilirken, en düşük NO değeri ise 17.02 ppm ile kontrol örneklerinde kaydedilmiştir.

Sarıçam ağaç malzemesinin yanma deneylerinde ölçülen NO değerleri incelendiğinde; en düşük NO değerlerinin kontrol örneklerinde gözlemlendiği belirlenmiştir. Diğer örneklerin NO değerleri, kontrol örneklerine kıyasla; azot ön işlemli örneklerde %98, emprenyeli örneklerde %9 ve azot ön işlemli emprenyeli örneklerde ise %93 oranında artış göstermiştir. Malzemelerin baca sıcaklığına ait ortalama değerler, Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Sarıçam ağaç malzemesinin baca sıcaklığı ortalama değerleri(°C)

Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemli	Emprenyeli	Azot ön işlemli emprenyeli	Ölçüm (30sn)	Kontrol	Azot ön işlemli	Emprenyeli	Azot ön işlemli emprenyeli
1*	46.1	56.0	93.7	88.5	11	195.3	190.8	76.6	90.2
2*	60.6	80.8	105.7	96.9	12	197.3	187.8	69.3	72.8
3*	75.0	102.0	111.3	102.4	13	181.9	181.8	67.3	64.5
4*	89.9	120.5	126.0	108.8	14	161.4	169.4	63.4	59.8
5*	105.6	137.1	127.9	123.2	15	143.7	152.1	60.2	57.2
6*	120.6	148.7	135.1	134.5	16	125.0	137.2	59.7	54.9
7*	130.5	158.8	131.3	135.4	17	111.2	122.9	56.9	53.7
8*	143.0	168.7	123.9	133.4	18	101.6	112.5	55.9	52.2
9	172.00	180.5	96.5	125.1	19	95.2	93.1	53.6	50.9
10	178.8	191.0	82.1	100.2	20	79.9	75.7	52.0	49.1

*Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemesinin kontrol ve ön işlem görmüş örneklerine uygulanan yanma deneyleri sonucunda ölçülen baca sıcaklığı ortalama değerler incelenip, her grubun ulaştığı en yüksek değerler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; en fazla baca sıcaklığı 197.3 °C ile kontrol örneklerinde tespit edilirken, en düşük baca sıcaklığı ise 135.1 °C ile emprenyeli örneklerde kaydedilmiştir.

Sarıçam ağaç malzemesine uygulanan deneyler sonucu ölçülen baca sıcaklığı değerlerinde; en yüksek değerlerin kontrol örneklerinde gözlemlendiği belirlenmiştir. Diğer örneklerin baca sıcaklığı değerleri, kontrol örneklerine kıyasla; azot ön işlemli örneklerde %3, emprenyeli örneklerde %46 ve azot ön işlemli emprenyeli örneklerde ise %46 oranında azalma göstermiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak; sıvı azot ile ön işleme tabi tutmanın, ağaç malzemenin retensiyonunu arttırdığı görülmüştür. Ağaç malzemenin içerisinde tutulan yani alınan koruyucu ve yangın geciktirici madde miktarı arttığından dolayı da emprenye kalitesi ve ağaç malzemenin kullanım ömrü pozitif etkilenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda; sıvı azot ön işlemli örneklerin kontrol örneklerinden daha hızlı yandığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden sıvı azot ön işlemiyle birlikte emprenye uygulamalarının yanmayı geciktirme de önemli olduğu unutulmamalıdır.

Sıvı azot ön işlemi uygulanarak emprenye edilen ağaç malzemelerin, sadece emprenyeli ağaç malzemelere kıyasla ağırlık kaybının daha az olduğu bulunmuştur. Bu durum sıvı azot ön işlemi uygulanan numunelerin yanması durumunda taşıyıcı özelliklerini daha fazla sürdürebilecekleri ve tahliye süresini arttırıcı bir etki oluşturacağı sonucunu düşündürmektedir.

Sıvı azot ön işlemi uygulanan numunelerin hızlı yanmasına rağmen ağırlık kaybının az olması durumu birlikte değerlendirildiğinde; malzemenin dıştan hızlı bir şekilde yanmaya başlaması sonucu oluşan kömürleşmenin iç kısımların yanması için gereken oksijen miktarını daha erken azalttığı ve bu yüzden deney süresi olan 10 dk içerisinde iç kısımların daha az yanabildiği değerlendirilebilir. Ağırlık kaybının diğer numunelere göre az olması ise gerçek bir yangın anında sıvı azot ön işlemi uygulanmış ahşap taşıyıcıların daha fazla dayanmasını sağlayabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Sıvı azot ön

işlem uygulamasının ahşap yapılarda yangın anında malzemenin taşıyıcı özelliğini arttırması, yapıların tahliyesi için daha fazla kaçış süresi oluşturacaktır. Bu nedenle özellikle ahşap yapılarda malzemeye uygulanacak sıvı azot ön işlemi ve benzeri yöntemlerin daha detaylı olarak denenmesi ve elde edilen sonuçlar ışığında ahşap endüstrisi ve ilgili kurumlar ile görüşülerek uygulamanın kullanım alanlarının genişletilmesi önerilebilir. Bunun yanı sıra malzemeler yanarken oluşan kütle kaybı yanında, yanma anındaki taşıma kapasiteleri ve kullanılan değişkenlerinin etkilerinin ölçülebileceği simülasyon ve çalışmalar özellikle yangınlara maruz kalan ahşap yapılarda büyük önem arz etmektedir. Özellikle ülkemizde yakın zamanda Bolu ilinde meydana gelen ahşap otel faciası gibi ahşap malzemenin kullanıldığı yapılarda oluşan yangınlar, yapılarda kullanılan ahşap malzemenin önemine tekrar dikkat çekmiştir. Ahşap yapılarda yangın anında mekânın tahliyesi için yeterli zamana sahip olunması gereklidir. Ahşap binada bulunan taşıyıcı ahşap malzemenin, taşıyıcı özelliklerini kaybetmeden yapıyı ayakta tutması ve tahliye süresinin arttırılması hayati öneme sahiptir. Bu nedenle ahşapta yangın geciktirici etkiyi destekleyecek ve ahşap yapılarda tahliye süresini arttırabilecek farklı araştırmaların yapılması önem arz etmektedir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada “Sıvı Azot Muamele Görmüş ve Boraks ile Emprenye Edilmiş Ağaç Malzemenin Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli Yüksek Lisans Tezindeki bazı bulgulardan istifade edilmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM-D 1413-76 (1976) American Society for Testing and Materials. *ASTM-D 1413-76: Standard test method of testing wood preservatives by laboratory soil block cultures*. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-E 69 (2007) American Society for Testing and Materials. *ASTM-E 69: Standard test methods for combustible properties of treated wood by the fire apparatus*. ASTM Standards.
- Aytaşkın A (2009) Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ağaç malzemelerin bazı teknolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Habaş AŞ (2023) Sıvı azot (nitrojen). [https://www.habas.com.tr/Content/images/uploads/F300/GBF1_Azot\(S%20C4%B1v%C4%B1\)rev_9.pdf](https://www.habas.com.tr/Content/images/uploads/F300/GBF1_Azot(S%20C4%B1v%C4%B1)rev_9.pdf)
- Hafizoğlu H, Yalınkılıç MK, Yıldız ÜC, Baysal E, Demirci Z, Peker H (1994) Türkiye bor kaynaklarının odun koruma (emprenye) endüstrisinde değerlendirilme imkânları. *TÜBİTAK Projesi TOAG-875*.

- He S, Lin L, Fu F, Zhou Y, Fan M (2014) Microwave treatment for enhancing the liquid permeability of Chinese fir. *BioResources*, 9:1924–1938. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000013>
- Keskin H, Süzer Ertürk N, Çolakoğlu MH, Korkut S (2013) Combustion properties of rowan wood impregnated with various chemical materials. *International Journal of Physical Sciences*, 8(21): 1128–1135. <https://doi.org/10.5897/IJPS12.690>
- Kurt R, Mengeloğlu F (2008) The effect of boric acid/borax treatment on selected mechanical and combustion properties of poplar laminated veneer lumber. *Wood Research*, 53(3): 113–120. https://www.woodresearch.sk/wood_research/WR_2008_53_3_113_120.pdf
- Kurt Ş, Özcan S, Yapıcı F, Likos E (2012) Dimensional stability of Uludağ fir wood treated with liquid nitrogen after the steam test. *Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University*, 12(31). <https://doi.org/dergipark.org.tr/tr/download/article-file/159569>
- Kurt Ş, Yörür H, Özcan S, Korkmaz M, Dönmez Y, Günay MY (2014) Processes to increase retention in materials of wood whose impregnation is difficult, and system design. In *I. International Industrial Design Engineering Symposium (ISIDE14)* (pp. 1–8). Karabük, Turkey.
- Kurt Ş (2022) Effects of liquid nitrogen in hardly impregnable fir wood. *Wood Research*, 67(1): 123–133. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/67.1.123133>
- Lu Y, Sun Q, Yang D, She X, Yao X, Zhu G, Liu Y, Zhao H, Li J (2012) Fabrication of mesoporous lignocellulose aerogels from wood via cyclic liquid nitrogen freezing–thawing in ionic liquid solution. *Journal of Materials Chemistry*, 22(27):13548–13557. <https://doi.org/10.1039/c2jm31310c>
- Özcan C, Kurt Ş, Esen R, Korkmaz M (2016) The determinate combustion properties of fir wood impregnated with fire-retardants. *The Online Journal of Science and Technology*, 6(3): 77–82. <https://tojnec.net/journals/tojsat/volumes/tojsat-volume06-i03.pdf>
- Seo HJ, Hwang W, Lee MC (2017) Fire properties of *Pinus densiflora* utilizing fire-retardant chemicals based on borated and phosphorus (I)-Combustion characteristics. *BioResources*, 12(3): 5417–5427. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.5417-5427>
- Stepina I, Zheglova Y (2023) Pyrolysis of pine wood in the presence of boron–nitrogen compounds. *Materials*, 16(19): 6353. <https://doi.org/10.3390/ma16196353>
- TS 2471 (1976) Turkish Standard Institute. *TS 2471: Wood-Determination of moisture content for physical and mechanical tests*. TSE Standards.
- TS 2472 (1976) Turkish Standard Institute. *TS 2472: Wood-Determination of density for physical and mechanical tests*. TSE Standards.
- Wu G, Xu M (2014) Effects of boron compounds on the mechanical and fire properties of wood-chitosan and high-density polyethylene composites. *BioResources*, 9(3): 4173–4193. <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.4173-4193>
- Yapıcı F, Uysal B, Kurt Ş, Esen R, Özcan C (2011) Impacts of impregnation chemicals on finishing process and combustion properties of oriental beech (*Fagus orientalis* L.) wood. *BioResources*, 6(4): 3933–3943. <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.3933-3943>
- Yörür H, Kayahan K, Günay MN, Altun S (2017) The effects of liquid nitrogen treatment on the some physical and mechanical properties of Scots pine and oriental spruce wood. *Turkish Journal of Forestry*, 18(4): 309–313. <https://doi.org/10.18182/tjf.341516>
- Yörür H, Kayahan K (2018) Improving impregnation and penetration properties of refractory woods through cryogenic treatment. *BioResources*, 13(1): 1829–1842. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.1829-1842>
- Yu L, Cai J, Hui L, Lu F, Qin D, Fei B (2017) Effects of boric acid and/or borax treatments on the fire resistance of bamboo filament. *BioResources*, 12(3): 5296–5307. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.5296-5307>

Yüksel M, Baysal E, Toker H, Sitki M, Şimşek H, Act A (2014) Combustion characteristics of oriental beech wood impregnated with commonly used borates. *Journal of Materials Science and Engineering*,4(2):45–52. <https://www.hrpub.org/download/20140305/MS2-1340163.pdf>

Zhao L, Lu J, Zhou Y, Jiang J (2015) Effect of low temperature cyclic treatments on modulus of elasticity of birch wood. *BioResources*, 10(2): 2318–2327. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2318-2327>
Zhu H, Luo W, Ciesielski PN, Fang Z, Zhu JY, Henriksson G, Himmel ME, Hu L (2016) Wood-derived materials for green electronics, biological devices, and energy applications. *Chemical Reviews*, 116(16):9305–9374 <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00225>