

AHŞAP KORUYUCULARLA MUAMELE EDİLMİŞ BAZI AĞAÇ MALZEMELERİN YANMASIYLA ORTAYA ÇIKAN GAZ EMİSYON MİKTARLARI

Ş. Şadiye YAŞAR¹ Musa ATAR²

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, 29100, Gümüşhane, TÜRKİYE

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fak., Ağaçşileri Müh. Bölümü, 06500, Ankara, TÜRKİYE
ssyasar@gumushane.edu.tr

Özet- Bu çalışma koruyucu maddelerle muamele edilmiş, üst yüzey işlemlerinden geçmiş ağaç malzemenin yanması ile ortaya çıkan O₂, CO₂, CO ve NO_x miktarlarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odunlarından ASTM-E 160-50 [1] yanma standardına göre hazırlanan örnekler, ASTM-D 1413-76 [2] standardına göre tanalith-E (T) ve wolmanit-CB (WC) ile emprenye edilip, ASTM-D 3023 [3]' e göre sentetik (St) ve su bazlı (Sb) vernik uygulanmıştır. Sonuç olarak Doğu kayını örnekleri kor halde yanmada O₂ miktarını azaltıp, CO, CO₂ ve NO_x miktarını yükseltmiştir. Wolmanit CB tüm yanma aşamalarında O₂ miktarını yükseltmiş, CO₂ ve NO_x miktarlarını azaltmıştır. Sentetik vernik yanma aşamalarında O₂ miktarını yükseltmiştir.

Anahtar Kelimeler- Ağaç malzeme, emprenye, vernik, yanma, gaz emisyon

GAS EMISSION AMOUNTS RESULTING FROM THE COMBUSTION OF SOME WOODEN MATERIALS TREATED WITH WOOD PRESERVATIVES

Abstract- This study is conducted to determine the O₂, CO₂, CO and NO_x amounts generating from the combustion of wooden material which was treated with preservative substances and underwent through surface treatments. For this purpose, the samples, which were prepared from Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), sessile oak (*Quercus petraea*) and oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) woods according to ASTM-E 160-50 combustion principles, are impregnated with tanalith-E (T) and wolmanit-CB (WC) in accordance with ASTM-D 1413-76, then synthetic (St) and Water-based (wb) varnishes are applied according to ASTM-D 3023.

As a conclusion, oriental beech samples have decreased the O₂ amounts in ember combustion phase and have increased CO, CO₂ and NO_x amounts. Wolmanit CB has raised O₂ amounts and has reduced CO₂ and NO_x amounts in all combustion phrases. Synthetic varnish has raised the O₂ amounts in combustion phrases.

Key Words- Wood material, impregnation, varnish, combustion, gases emission

Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşap yapı, dekorasyon, ambalaj gibi bir çok üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Estetik, hafif ve sürdürülebilir oluşu, düşük seviyede somutlaştırılmış enerji (ısı, ses yalıtımı gibi) gerektirmesi gibi bir çok olumlu özelliğe sahiptir [4].

Ağaç malzemenin kullanım ömrünü arttırmak için koruyucu maddeler kullanılmaktadır. Genel olarak koruyucular iki sınıfa ayrılırlar. Birincisi, kreozat ve pentaklorofenol benzeri petrol tipi malzemeler; diğeri de CCA, ACQ, CCB, CCP ve CBA gibi suda taşınan tuzlardan su bazlı olarak hazırlanan çözeltilerdir [5].

Ağaç doğal yapısı gereği yanabilir ancak üretimi sırasında salınan karbon miktarı diğer malzemelere kıyasla (beton, çelik, alüminyum ve plastik gibi) çok daha düşüktür [6]. Ağaç malzeme selüloz, lignin, hemiselüloz ve az miktarda yabancı maddelerden oluşur. Lignin yüksek sıcaklık derecelerine kadar dayanırken, hemiselülozlar yaklaşık 325° C’de ve selüloz 370° C’de tamamen ayrışır [7].

Ağaç malzemenin yanma özelliklerini iyileştirmek için bor, azot, forfor ve halojen bileşikler kullanılmaktadır [8-16].

Ağaç malzeme yanarken CO ve NOx gibi başlıca iki kirletici gaz ile, benzen, aldehytler, solunabilir parçacık maddeler ve diğer serbest radikaller gibi sağlığa zararlı maddeler üretmektedir [17]. Yangınlarda çoğunlukla yaşam tehdidi oluşturan koşullar alevlerin dokunmasından değil dumana, zehirli gazlara veya oksijen tükenmesine maruz kalmaktan oluşmaktadır [4].

Oksijen indeksi ağaç malzemenin yanma sırasında tutuşma ve sönme durumlarını etkilemektedir. Oldukça yanıcı materyallerin oksijen indeksi düşüktür, yüksek değerlerde yanıp tutuşması için daha fazla oksijen gereklidir [7,18]. Çeşitli araştırmalarda alev geciktirici maddelerin oksijen indeksini yükselttiği belirlenmiştir [19-23].

Ahşap ve ahşap esaslı materyallerin yanma performansını iyileştirmek için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Lu ve Hamerton [22], bor, azot-fosfor, silis ve halojen bazlı yangın geciktiricileri ile ultra-düşük yoğunluklu lif levhanın yanma performansının belirlenmesi için oksijen indeksi analizi (LOI) yapmıştır. İşlemsiz lif levha ile kıyaslandığında yanmaz maddeli lif levhanın LOI değeri artmıştır.

Başka bir çalışmada ACQ, tanalit-E, wolmanit-CB, imersol aqua, vacsol aqua, timbercare aqua ve protim-41 ahşap koruyucularının yanma özellikleri karşılaştırılmış, en yüksek LOI (oksijen limit index) düzeyi, wolmanit-CB'nin % 5 konsantrasyonu ve borik asit + boraks karşımında elde edilmiştir [23].

Potasyum karbonat, boraks ve wolmanit’ nin OSB (oriented strandboard) levhanın yanma özelliklerine etkisi araştırılmış. Kontrol örneklerine göre wolmanit-CB kor halde yanma süresini azaltmıştır. Ayrıca yanma özellikleri bakımından daldırma methodu fırçalama methoduna göre daha iyi sonuçlar göstermiştir [24].

Baysal, Doğu kayının termal özelliklerini incelemiş tanalith-E, kontrol numunesine göre Tmax (maksimum bozunma sıcaklığı) azaltıp ahşap yüzeyindeki kömür tabakası miktarını arttırmıştır. Uygulanan koruyucuların konsantrasyonunda ki artış kömür katmanı oluşumunu arttırmıştır [25].

Bu çalışma koruyucu madde ve vernik uygulanan sarıçam, sapsız meşe ve Doğu kayını odunlarının yanması ile ortaya çıkan O₂, CO₂, CO ve NO_x miktarlarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Materyal (Materiel)

Ağaç malzeme olarak Türkiye’ de yaygın olarak kullanılan sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) sapsız meşe (*Quercus petraea*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) odunları tesadüfi metotla Trabzon ili kereste işletmelerinden temin edilmiştir. Ağaç malzemenin özellikle büyüme kusuru, ardak ve budak içermeyen, tahribata uğramamış odundan olmasına dikkat edilmiştir. Rasgele seçilen örnekler 20±2°C sıcaklıkta ve % 65 bağıl nemde %12 denge rutubetine ulaşmıca kadar bekletilmiştir.

Emprenye maddesinin konsantrasyon miktarları yanma değerlerini etkilemektedir [25]. Başka bir çalışmada yanmada ölçülen oksijen indeksi değerlerine göre Wolmanit-CB için %3 konsantrasyon üzeri önerilmiştir [23]. Tanalith-E % 2,4 Wolmanit-CB % 4 konsantrasyon oranlarında üretici firmalardan tedarik edilmiştir. Tanalit-E krom ve arsenik içermeyen su bazlı olarak kullanılan bakır triazol çözeltilisine sahip bir maddedir [26]. Wolmanit-CB bileşiminde bakır sülfat, potasyum bikromat ve borik asit içermektedir [27]. Wolmanit – CB’ nin geç alevlenen bir malzeme olduğu, ancak uzun süreli ateşe dayanamadığı ile ilgili çalışmalar mevcuttur [28-30]. Vernik çeşidi olarak su bazlı ve sentetik vernik kullanılmıştır. Sentetik ve poliüretan vernikler çözücülerinin buharlaşması sebebiyle insan sağlığına zararlıdır [31]. Su bazlı vernik solvent içermemesi, sentetik vernikte yaygın olarak kullanılması sebebiyle tercih edilmiştir.

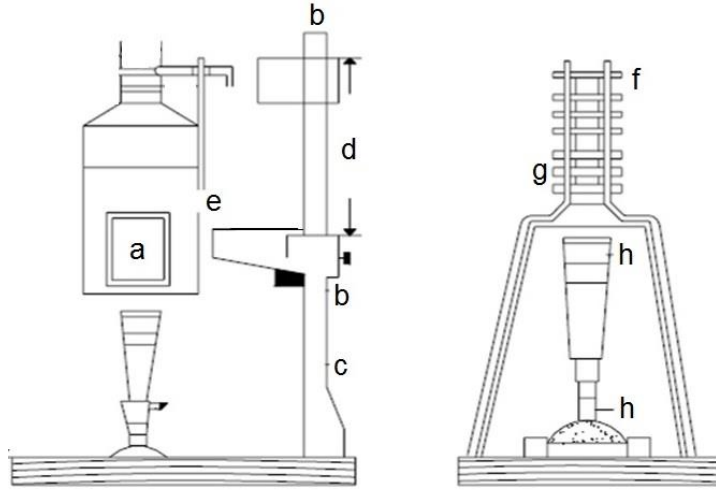
2.2. Metot (Method)

2.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması (Preparation of test specimens)

Örnekler 13x13x76 mm (radial x teğet x boy) boyutlarında, her deney çeşidi için 24x3 adet örnek hazırlanmıştır. Örnekler ASTM-D 1413-76’ da belirtilen esaslara göre vakum-basınç yöntemiyle emprenye edilmiştir. Emprenye maddelerinde pH değerleri emprenye öncesi tanalith-E’ de 10.02 sonrası 9.84, wolmanit-CB’ de öncesi 4.21 sonrası 4.32 olarak belirlenmiştir. Emprenye işleminden sonra pH değerlerinde önemli bir değişme olmamıştır. Örnekler ASTM-D 3023 esaslarına göre üretici firmaların talimatlarına uyularak verniklenmiştir. Örnekler 20±2 °C sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarında ki iklimlendirme odasında bekletilmişlerdir.

2.2.2. Yanma ve Gaz Analizi (Combustion and Gas Analysis)

Yanma deneyinde ASTM-E 160-50 esaslarına uyularak Şekil 1. de’ gösterilen yanma test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 1. Yanma Deneyi Düzenneği (Combustion Test Apparatus)

a. Mika cam b. Kızak sonu c. Bek rehberi d. Kızak e. Potansiyometre veya Milivoltmetre girişi
f. İstifli odun örnekleri g. Tel kafes h. Bek (maker tipi) (ASTM E 160-50, 1975; Örs ve ark., 2002).

Alev kaynağı istifin altına merkezlenerek 3 dakika süreyle alev kaynaklı yanma (AKY) sonrasında kendi kendine yanma (KKY) ve kor halinde yanma aşamaları (KHY) gerçekleştirilmiştir.

Yanma cihazı bacasının üst tarafına yerleştirilen Şekil 2.' de gösterilen Sigma Baca Gazı Analizörü ile O_2 (%), CO (%), CO_2 (ppm) ve NO_x (ppm) gazları ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2. Sigma-baca gazı analizörü [32]. (Sigma-Flue gas analyzer)

2.2.3. Sonuçların Değerlendirilmesi (Evaluation of Results)

Alev kaynaklı, kendi kendine ve kor hali yanma parametrelerine ait gaz miktarları değerlendirilmesinde SPSS 20.0 istatistik değerlendirme programından yararlanıldı. Ortalama değerler LSD testi kullanılarak karşılaştırıldı. Çoklu varyans analizleri (UNIVARIATE)

uygulanmış ve gruplar arası fark önemli çıktığında, Duncan testi ile ortalama değerler arasındaki fark karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Yanma aşamalarında ortaya çıkan O₂, CO, CO₂ ve NO_x miktarları (Values of O₂, CO, CO₂ ve NO_x in the combustion stages)

Yanma aşamalarında ortaya çıkan O₂, CO, CO₂ ve NO_x miktarlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 1. ve Tablo 2.' de verilmiştir.

Tablo 1. Yanma aşamalarında ortaya çıkan O₂ ve CO₂ miktarlarına ait varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of the amounts of O₂ and CO₂ in the combustion stages)

Alev Kaynaklı Yanmada O ₂						Kendi kendine yanmada O ₂					
Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*	Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*
A	763,688	2	381,844	547,262	,000	A	195,527	2	97,764	380,861	,000
E	92,070	2	46,035	65,978	,000	E	,654	2	,327	1,273	Ns
V	26,783	2	13,392	19,193	,000	V	35,031	2	17,516	68,237	,000
A+E	60,942	4	15,235	21,836	,000	A+E	5,220	4	1,305	5,084	,001
A+V	127,016	4	31,754	45,510	,000	A+V	70,970	4	17,743	69,120	,000
V+E	72,512	4	18,128	25,981	,000	V+E	44,461	4	11,115	43,302	,000
A+E+V	129,325	8	16,166	23,169	,000	A+E+V	30,791	8	3,849	14,994	,000
Hata	37,678	54	,698			Hata	13,861	54	,257		
Toplam	1310,014	80				Toplam	396,516	80			
Kor halde yanmada O ₂						Alev Kaynaklı Yanmada CO ₂					
Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*	Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*
A	3325,662	2	1662,831	268,335	,000	A	606,065	2	303,032	518,970	,000
E	293,302	2	146,651	23,665	,000	E	91,774	2	45,887	78,585	,000
V	360,244	2	180,122	29,067	,000	V	18,560	2	9,280	15,893	,000
A+E	641,561	4	160,390	25,883	,000	A+E	49,396	4	12,349	21,149	,000
A+V	1147,041	4	286,760	46,275	,000	A+V	118,771	4	29,693	50,851	,000
V+E	862,324	4	215,581	34,789	,000	V+E	55,693	4	13,923	23,845	,000
A+E+V	1213,023	8	151,628	24,469	,000	A+E+V	91,476	8	11,435	19,583	,000
Hata	334,629	54	6,197			Hata	31,531	54	,584		
Toplam	8177,786	80				Toplam	1063,267	80			
Kendi kendine yanmada CO ₂						Kor halde yanmada CO ₂					
Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*	Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*
A	191,284	2	95,642	393,834	,000	A	1253,603	2	626,802	959,244	,000
E	,638	2	,319	1,314	Ns	E	39,450	2	19,725	30,187	,000
V	32,625	2	16,312	67,171	,000	V	13,632	2	6,816	10,431	,000
A+E	4,721	4	1,180	4,860	,002	A+E	48,580	4	12,145	18,587	,000
A+V	66,741	4	16,685	68,706	,000	A+V	62,098	4	15,524	23,758	,000
V+E	41,429	4	10,357	42,649	,000	V+E	63,170	4	15,793	24,169	,000
A+E+V	28,315	8	3,539	14,575	,000	A+E+V	249,415	8	31,177	47,712	,000
Hata	13,114	54	,243			Hata	35,285	54	,653		
Toplam	378,868	80				Toplam	1765,234	80			

*P: $\alpha \leq 0,05$ (Fark, 0,05'e göre anlamlı), Ns: Önemsiz, Sd: Serbest. Derecesi, A: Ağaç türü, E: Emprenye maddesi, V: Vernik çeşidi

Tablo 1.' de verilen O₂ ve CO₂ miktarlarına ait varyans analizi sonuçlarına göre kendi kendine yanma aşamasındaki O₂ ve CO₂ miktarlarının da empenye maddelerinin tekli etkisi haricinde tüm etkileşimler önemli bulunmuştur.

Tablo 2. Yanma aşamalarında ortaya çıkan CO ve NO_x miktarlarına ait varyans analizi sonuçları (Results of analysis of variance of CO and NO_x amounts in combustion stages)

Alev Kaynaklı Yanmada CO						Kendi kendine yanmada CO					
Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*	Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*
A	945686267,727	2	472843133,864	237,471	,000	A	65102309,121	2	32551154,560	127,432	,000
E	620744706,667	2	310372353,334	155,875	,000	E	36655425,145	2	18327712,572	71,750	,000
V	113389671,879	2	56694835,940	28,473	,000	V	2179517,106	2	1089758,553	4,266	,019
A+E	324509679,990	4	81127419,997	40,744	,000	A+E	34415975,131	4	8603993,783	33,683	,000
A+V	120566735,690	4	30141683,923	15,138	,000	A+V	40435584,569	4	10108896,142	39,575	,000
V+E	33968537,593	4	8492134,398	4,265	,005	V+E	29409206,565	4	7352301,641	28,783	,000
A+E+V	238374744,911	8	29796843,114	14,965	,000	A+E+V	43119718,813	8	5389964,852	21,101	,000
Hata	107522524,202	54	1991157,856			Hata	13793735,360	54	255439,544		
Toplam	2504762868,660	80				Toplam	265111471,811	80			
Kor halde yanmada CO						Alev Kaynaklı Yanmada NO _x					
Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*	Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*
A	3665452147,496	2	1832726073,748	1020,421	,000	A	1029,673	2	514,836	135,103	,000
E	25507090,949	2	12753545,475	7,101	,002	E	350,919	2	175,459	46,044	,000
V	55602506,775	2	27801253,388	15,479	,000	V	278,021	2	139,011	36,479	,000
A+E	124272134,889	4	31068033,722	17,298	,000	A+E	269,712	4	67,428	17,694	,000
A+V	296586625,459	4	74146656,365	41,283	,000	A+V	352,856	4	88,214	23,149	,000
V+E	108375846,167	4	27093961,542	15,085	,000	V+E	357,082	4	89,271	23,426	,000
A+E+V	698975852,222	8	87371981,528	48,647	,000	A+E+V	295,335	8	36,917	9,688	,000
Hata	96986670,849	54	1796049,460			Hata	205,778	54	3,811		
Toplam	5071758874,806	80				Toplam	3139,375	80			
Kendi kendine yanmada NO _x						Kor halde yanmada NO _x					
Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*	Kaynak	Kareler toplamı	Sd	Ortalama kareler	F	P*
A	3997,115	2	1998,558	141,393	,000	A	24878,684	2	12439,342	149,269	,000
E	267,813	2	133,907	9,474	,000	E	4050,438	2	2025,219	24,302	,000
V	488,137	2	244,069	17,267	,000	V	5291,127	2	2645,564	31,746	,000
A+E	563,212	4	140,803	9,961	,000	A+E	3355,622	4	838,906	10,067	,000
A+V	2212,751	4	553,188	39,137	,000	A+V	4710,945	4	1177,736	14,133	,000
V+E	68,043	4	17,011	1,203	Ns	V+E	2184,988	4	546,247	6,555	,000
A+E+V	1647,372	8	205,922	14,568	,000	A+E+V	19925,596	8	2490,700	29,888	,000
Hata	763,279	54	14,135			Hata	4500,093	54	83,335		
Toplam	10007,723	80				Toplam	68897,493	80			

*P: $\alpha \leq 0,05$ (Fark, 0,05'e göre anlamlı), Ns: Önemsiz, Sd: Serbest. Derecesi, A: Ağaç türü, E: Emprenye maddesi, V: Vernik çeşidi

Tablo 2.' de verilen CO ve NO_x miktarlarına ait varyans analizi sonuçlarına göre kendi kendine yanma aşamasındaki NO_x miktarlarının da empenye maddesi + vernik çeşidi çiftli etkileşimi haricinde tüm etkileşimler önemli bulunmuştur.

Yanma aşamalarında ortaya çıkan gaz miktarlarına ait ortalama, maksimum, minimum ve standard sapma değerleri ağaç türü, empenye maddesi ve vernik çeşidine göre Tablo 3.' de gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Yanma aşamalarında ortaya çıkan ortalama, minimum, maksimum, standart sapma değerleri (Mean, minimum, maximum, standard deviation values in combustion stages)

Etken		O ₂											
		AKY				KKY				KHY			
		M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd
A	Dk	19,4	17,10	20,20	,70	4,16	0,45	10,90	2,56	1,49	,20	4,75	1,06
	Sm	11,9	,50	15,70	3,44	,74	0,10	2,20	0,59	10,58	3,00	17,70	3,13
	Sç	15,7	10,65	20,60	2,95	1,01	0,20	3,30	0,91	17,11	7,47	64,00	13,25
E	WC	16,7	11,93	20,60	3,08	2,04	0,20	6,60	2,01	8,63	1,06	17,70	5,95
	T	14,2	,50	20,35	5,19	2,02	0,20	10,90	2,76	12,40	0,20	64,00	15,45
	Ek	16,1	11,25	20,20	3,23	1,84	0,10	5,85	1,89	8,14	0,70	16,16	5,38
V	St	16,4	12,22	20,35	2,69	2,90	0,20	10,90	3,12	8,32	0,20	17,70	5,78
	Sb	15,0	,50	20,60	5,41	1,50	0,10	4,55	1,42	12,71	1,04	64,00	15,45
	Vk	15,5	10,65	20,20	3,58	1,51	0,20	5,15	1,47	8,15	0,20	15,01	5,33
Etken		CO ₂											
		AKY				KKY				KHY			
		M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd
A	Dk	1,4	0,70	3,70	0,68	16,26	9,80	19,85	2,47	18,55	15,70	20,10	1,21
	Sm	8,1	5,05	17,80	2,98	19,69	18,15	20,20	0,58	9,88	3,10	16,20	2,85
	Sç	5	0,30	9,95	2,87	19,32	17,10	20,10	0,88	10,56	5,53	20,00	3,18
E	WC	3,7	0,30	8,08	2,55	18,35	13,90	20,10	1,97	12,30	3,10	19,10	5,24
	T	6,2	0,50	17,80	4,63	18,37	9,80	20,10	2,67	13,95	7,80	20,10	4,38
	Ek	4,5	0,70	9,35	3,08	18,55	14,55	20,20	1,88	12,74	5,53	19,70	4,44
V	St	4,2	0,50	8,20	2,56	17,53	9,80	20,20	3,04	12,75	3,10	20,10	5,22
	Sb	5,4	0,30	17,80	4,81	18,88	15,90	20,20	1,40	13,58	5,53	20,00	4,56
	Vk	4,8	0,70	9,95	3,24	18,87	15,30	20,10	1,45	12,67	5,98	20,10	4,40
Etken		CO											
		AKY				KKY				KHY			
		M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd
A	Dk	7224	4329	11632	1662	29691	24471	32069	2319	29924	24184	31850	2229
	Sm	15589	7348	32667	6465	31881	31210	32245	255	15150	5826	25066	5138
	Sç	11164	6376	20518	3924	30652	25800	32046	1499	16216	9931	31227	4766,6
E	WC	10941	6785	21012	3875	30023	24471	32088	2218	21032	5826	31830	9208,8
	T	14892	5144	32667	7351	31641	30732	32117	415	20577	9952	31794	6801,2
	Ek	8144	4329	11667	1841	30560	25800	32245	1921	19681	9232	31850	7938,9
V	St	10046	4329	19460	3675	30531	25653	32117	1966	19430	9234	31830	8754,9
	Sb	12899	5144	32667	7387	30931	25800	32109	1527	21459	13543	31853	6475,1
	Vk	11031	5668	20859	4888	30763	24471	32245	1978	20401	5826	31794	8622,9
Etken		NO _x											
		AKY				KKY				KHY			
		M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd	M	Min	Max	Sd
A	Dk	8	1,77	16,00	4,18	2,46	0,47	12,00	2,99	29,89	6,28	96,50	22,90
	Sm	1,5	0,35	5,50	1,32	7,72	0,67	35,00	8,18	65,67	39,00	100,5	14,02
	Sç	9,9	2,00	30,33	7,87	19,28	3,00	52,50	12,47	68,33	25,67	164	31,18
E	WC	6,4	0,35	30,33	7,46	8,06	0,47	26,00	7,31	47,69	6,28	85	22,73
	T	4,0	0,35	10,00	3,19	12,33	0,47	52,50	15,00	64,34	6,28	164	35,63
	Ek	9	0,35	23,33	6,43	9,07	0,47	30,00	9,81	51,87	6,28	100	26,61
V	St	9,1	1,00	30,33	8,59	6,63	0,47	22,54	5,06	43,33	6,28	66	22,03
	Sb	5,3	0,35	16,00	4,51	10,23	0,47	35,00	10,87	58,79	10,67	100	25,16
	Vk	5	,35	14,50	3,98	12,60	0,47	52,50	14,91	61,77	6,28	164	36,44

A: Ağaç türü, E: Emprenye maddesi, V: Vernik çeşidi, Dk: Doğu Kayını, Sm: Sapsız meşe, Sç: Sarıçam WC: Wolmanit-CB, T: Tanalith-E, Ek: Emprenye uygulanmayan, St: Sentetik vernik, Sb: Su bazlı vernik, Vk: Vernik uygulanmayan, M: Ortalama, Min: Minimum, Max: Maximum, Sd: Standard Deviation,

Ağaç, emprenye maddesi ve vernik çeşidi içinde yanma aşamalarında en yüksek ve en düşük O₂ değerleri ağaç grubunda ortaya çıkmıştır. Doğu kayını, AKY ve KKY yanma aşamalarında ağaç türüne göre en yüksek O₂ miktarı, KHY yanma aşamasında ise en düşük O₂ miktarı sonuçlarını vermiştir. CO₂ ve CO miktarları bakımından tam tersi sonuçlar gözlenmiştir. Doğu kayını, AKY ve KKY yanma aşamalarında ağaç türüne göre en düşük miktarları, KHY yanma aşamasında ise en yüksek değerleri göstermiştir.

Wolmanit-CB ile tüm yanma aşamalarında O₂ değerleri yüksektir. Su bazlı vernik O₂ miktarlarını AKY ve KKY' da azaltmış, KHY' da artırmıştır. Ayrıca tüm yanma aşamalarında

CO₂ ve CO miktarlarını arttırmıştır. Sentetik vernik ise tüm yanma aşamalarında O₂' i arttırıp, CO₂ ve CO' i azaltmıştır [34,35].

Ağaç türüne göre emprenye ve vernik etkileşiminin yanma sırasında ortaya çıkardığı O₂, CO, CO₂ ve NO_x gazlarına ait ortalama değerleri Tablo 4.' de, O₂ ve CO miktarlarına ait grafik Şekil 3. ve Şekil 4' de verilmiştir.

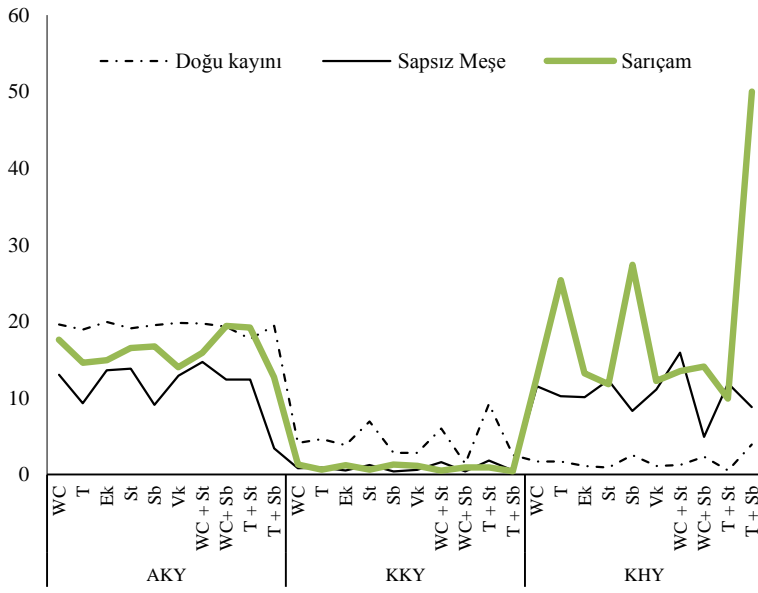
Tablo 4. Doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçam odunu deney örneklerine ait ortalama değerler (Average values of Oriental beech, sessile oak and scots pine wood samples)

Ağaç	Etken	O ₂ (%)			CO ₂ (%)			CO (ppm)			NO _x (ppm)		
		AKY	KKY	KHY	AKY	KKY	KHY	AKY	KKY	KHY	AKY	KKY	KHY
Doğu Kayını	WC	19,6	4,1	1,7	1,2	16,3	18,5	7819	27877	30846	6,0	2,2	24,1
	T	18,9	4,6	1,7	2	15,9	18,6	7417	31333	29170	7,2	0,7	39,1
	Ek	19,9	3,8	1,1	1	16,6	18,6	6438	29864	29756	10,7	4,5	26,5
	St	19,1	6,9	0,9	1,7	13,6	19,4	7791	28479	31084	9,2	3,8	16,2
	Sb	19,5	2,8	2,5	1,4	17,6	17,9	7223	31127	29416	9,0	1,3	41,9
	Vk	19,8	2,8	1,1	1,1	17,5	18,4	6659	29469	29272	5,8	2,3	31,5
	WC+St	19,7	6	1,2	1,2	14,5	19	7790	26663	31354	10,3	1,2	14,3
	WC+Sb	19,3	1,4	2,3	1,5	19	18	8772	31193	31261	3,8	1,2	32,9
	T+St	17,7	9,2	0,5	3,1	11,4	19,7	10530	31253	30565	4,2	0,7	19,3
	T+Sb	19,4	2,5	3,9	1,5	17,9	16,4	5664	31475	25619	9,3	0,7	78,7
Sapsız Meşe	WC	13,0	0,8	11,5	6,6	19,7	8,8	15047	31704	13971	1,6	6,5	65,2
	T	9,3	0,9	10,2	10,7	19,5	10,4	22144	31912	15553	0,8	13,7	64,7
	Ek	13,6	0,5	10,1	7,0	19,9	10,5	9577	32030	15928	2,4	3,0	67,2
	St	13,8	1,2	12,3	6,8	19,2	8,3	12953	31773	12452	1,8	7,6	56,3
	Sb	9,1	0,4	8,3	10,8	20,0	11,9	19154	31798	19531	0,9	11,6	75,2
	Vk	12,9	0,6	11,1	6,7	19,8	9,5	14661	32075	13470	2,1	4,0	65,5
	WC+St	14,7	1,6	15,9	5,9	18,9	4,8	10749	31378	11169	2,8	9,1	45,7
	WC+Sb	12,4	0,4	4,9	8,1	20,0	14,6	19657	31696	22587	0,9	4,0	69,3
	T+St	12,4	1,8	11,9	8,2	18,6	8,7	18492	32059	15474	1,1	10,8	64,4
	T+Sb	3,4	0,5	8,8	15,4	19,9	11,8	28398	31644	19934	0,6	28,1	64,4
Sarı Çam	WC	17,6	1,3	12,7	3,1	19,1	9,6	9957	30490	18280	11,7	15,5	53,8
	T	14,6	0,6	25,4	6,1	19,7	12,9	15117	31679	17009	4,0	22,5	89,3
	Ek	14,9	1,2	13,2	5,8	19,2	9,2	8419	29788	13361	14,2	19,8	62,0
	St	16,5	0,6	11,8	4,2	19,7	10,6	9397	31342	14756	16,4	8,5	57,5
	Sb	16,7	1,3	27,4	4,1	19,0	10,9	12322	29869	15430	6,2	17,8	59,3
	Vk	14,0	1,1	12,2	6,7	19,2	10,1	11774	30745	18464	7,3	31,5	88,3
	WC+St	15,9	0,5	13,5	4,9	19,8	8,9	11096	30652	11502	25,2	6,7	43,6
	WC+Sb	19,4	0,9	14,1	1,5	19,4	8,3	9730	30919	15862	5,1	16,0	76,3
	T+St	19,2	0,9	9,9	1,6	19,5	12,4	9523	31677	18594	4,0	11,9	62,6
	T+Sb	12,7	0,4	52,3	7,9	19,9	17,6	18180	31677	16217	4,3	11,9	65,1

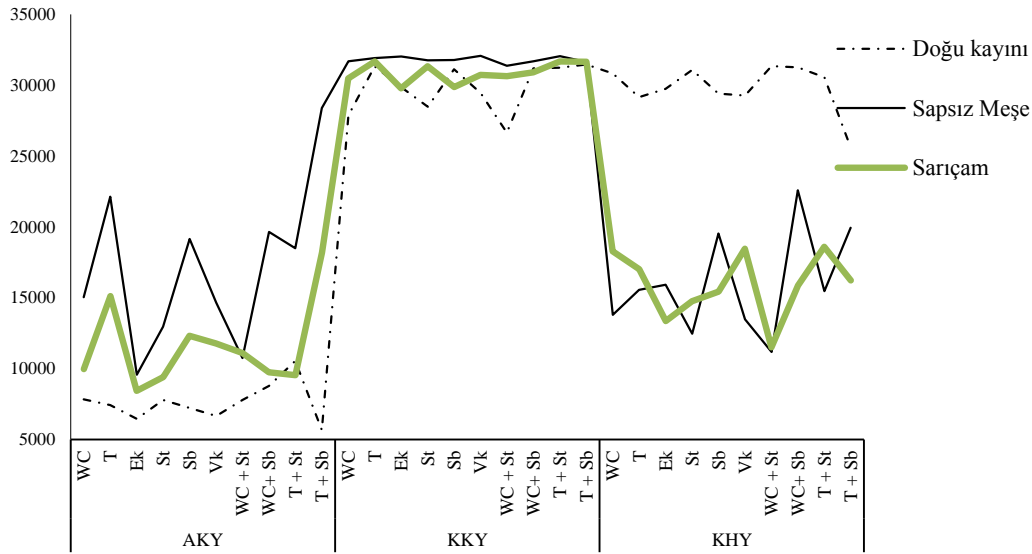
WC: Wolmanit-CB, T: Tanalith-E, Ek: Emprenyesiz, St: Sentetik vernik, Sb: Su bazlı vernik, Vk: Verniksiz

Alev kaynaklı yanma aşamasında Doğu kayını ve sapsız meşe odunlarında emprenye maddeleri O₂ miktarlarını azaltırken, diğer yanma aşamalarında miktarlarını arttırmıştır. Alev kaynaklı yanma üçlü etkileşimde Doğu kayını ve sapsız meşe odunlarında en yüksek O₂ değerleri WC+St etkileşimlerinde ortaya çıkmıştır.

Tüm yanma aşamalarında emprenye maddeleri CO miktarlarını arttırmıştır. Tüm ağaç türlerinde kendi kendine yanma aşamasında üçlü etkileşimde en düşük CO değerleri WC+St etkileşimlerinde belirlenmiştir. Tüm ağaç türlerinde emprenye maddeleri azotoksit miktarlarını azaltmıştır.



Şekil 3. Ağaç türüne göre yanma aşamalarında ortaya çıkan O₂ miktarları (Amount of O₂ in the stages of combustion according to the type of wood)



Şekil 4. Ağaç türüne göre yanma aşamalarında ortaya çıkan CO miktarları (Amount of CO in the stages of combustion according to the type of wood)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada sarıçam, sapsız meşe ve Doğu kayını odunu örneklerinin yanması sırasında ortaya çıkardığı oksijen, karbondioksit, karbon monoksit ve azot oksit miktarları araştırılmıştır. Yanmada oluşan gaz miktarlarını ağaç türü, emprenye maddesi ve vernik çeşidi etkilemiştir.

Ağaç türüne göre alev kaynaklı yanmada oksijen miktarı, en yüksek sarıçamda, en düşük Doğu kayınında bulunmuştur. Sarıçam ve sapsız meşe kor halde yanma aşamasında Doğu kayınına göre daha çok O₂ miktarı görülmüştür. Doğu Kayını bu yanma aşamasında en düşük O₂

değerlerini göstermiştir ki bu özellikle O₂ yetersizliği ve CO zehirlenmesi riskini arttırmaktadır. Başka çalışmalarda da Doğu kayının kor halde uzun süreli yandığı ve yüksek miktarda duman yoğunluğuna sebep olduğu gözlenmiştir [30,34,35]. Özellikle yangın riski olan mekanlarda Doğu kayını yerine sapsız meşe yada sarıçam önerilebilir.

Wolmanit-CB ile tüm yanma aşamalarında O₂ değerleri yüksektir. Wolmanit-CB içeriğinde bulunan borik asitten dolayı daha yüksek O₂ miktarı odunun yanma ve ateşlenmesini geciktirmiş olabilir [36]. Emprenye maddeleri yanma aşamalarında CO miktarlarını arttırmıştır. Bu durum emprenye maddelerinin kimyasal içeriğinden kaynaklanmış olabilir [37].

Su bazlı vernik O₂ miktarlarını AKY ve KKY' da azaltmış, KHY' da arttırmıştır. Ayrıca tüm yanma aşamalarında CO₂ ve CO miktarlarını arttırmıştır. Sentetik vernik ise tüm yanma aşamalarında O₂' i artırıp, CO₂ ve CO' i arttırmıştır. Su bazlı vernikte hızlı yanma gerçekleşirken, sentetik vernik yanmayı yavaşlatmış olabilir [38]. Yanma geciktirici emprenye maddesi olarak Wolmanit-CB, vernik çeşidi olarak sentetik vernik önerilebilir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. ASTM E 160-50., (1975). Standard test method for combustible properties of treated wood by the cribe test. West Conshohocken, PA, USA: ASTM Standards
- [2]. ASTM-D 1413-76., (1976). Standart test methods of testing wood preservatives by laboratory soilblock cultures, Annual Book of Astm Standarts. USA, 452-460.
- [3]. ASTM-E 160-50., (1975). Standart test method for combustible properties of terated wood by the crib test. ASTM Standards, USA.
- [4]. Forest Products Laboratory - USDA., (2010). Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. USDA - General Technical Report, General Te, 508. <https://doi.org/General Technical Report FPL-GTR-190>
- [5] Ibach, R. E., (2013). Biological Properties of Wood. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, 5, 99–126. <https://doi.org/10.1201/b12487-8>
- [6]. EPA., (2006). Solid waste management and greenhouse gases a life cycle assessment of emissions and sinks. 3rd Ed. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- [7]. Rowell, R. M., and Dietenberger, M. A. (2013). Thermal Combustion , and Fire Retardancy of Wood. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, 127–149. <https://doi.org/doi:10.1201/b12487-9>
- [8]. Poncsák, S.; Kocaefe, D.; Bouazara, M. and Pichette, A. (2006). Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). Wood Science and Technology 40(8): 647-663.
- [9]. Aydemir, D., Civi, B., Alsan, M., Can, A., Sivrikaya, H., Gunlduz,, G. and Wang, A., (2016). Mechanical, morphological and thermal properties of nano-boron nitride treated wood materials, Maderas. Ciencia y tecnología 18(1): 19 – 32.
- [10]. Keskin, H., Atar, M. and Izciler, M., (2009). Impacts of impregnation chemicals on combustion properties of the laminated wood materials produced combination of beech and poplar veneers, Construction and Building Materials 23(2):634-643.
- [11]. Keskin, H., Erturk, N. S., Colakoglu, M. H. and Korkut, S., (2013). Combustion properties of Rowan wood impregnated with various chemical materials, Int. J. Phys. Sci. 8 (19) 1022–1028.
- [12]. Lee H. L., Chen G. C. and Rowell R. M., (2004). Thermal properties of wood reacted with a phosphorus pentoxide–amine system, J. Appl. Polym. Sci. 91 2465–2481
- [13]. Deveci, I., Baysal, E., Toker, H., Yuksel, M., Turkoglu, T. and Peker, H., (2017). Thermal characteristics of oriental beech wood treated with some leaching resistant borates, Wood Research, 62 (1): 91-10 2.

- [14]. Ayan, S., Doruk, Ş., Arslan, A.R. and Perçin, O., (2011). Effect of sodium borate solution added in the adhesive line and used as impregnation material on combustion properties of laminated limba wood (LVL), *Technology*, 14(4), 107-114
- [15]. Kim, J. Y., Kim, T. S., Eom, I. Y., Kang, S. M., Cho, T. S., Choi, I. G. and Choi, J. W., (2012). Characterization Of Pyrolytic Products Obtained From Fast Pyrolysis Of Chromated Copper Arsenate (CCA)- and Alkaline Copper Quaternary Compounds (ACQ)-Treated Wood Biomasses, *J. Hazard. Mater.* 227– 228 445–452.
- [16]. Marney, D. C. O. and Russell, L. J. (2008). Combined Fire Retardant and Wood Preservative Treatments for Outdoor Wood Applications – A Review of the Literature. *Fire Technology*, 44(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10694-007-0016-6>.
- [17]. Naeher, L. P., Brauer, M., Zelikoff, J. T., Simpson, C. D., Koenig, J. Q. and Smith, K. R. (2007). Woodsmoke Health Effects : A Review, 67–106. <https://doi.org/10.1080/08958370600985875>
- [18]. White, R. H. (1978). Oxygen Index Evaluation Of Fire-Retardant-Treated Wood. *Wood Science*, 12(12), 113–122.
- [19]. Fung, D. P. C., Tsuchiya, Y. and Sumi, K., (1972). Thermal degradation of cellulose and levoglucosan - the effect of inorganic salts. *Wood Science* 5(1): 38 - 43.
- [20]. Wang, X., Wang, F., Yu, Z., Zhang, Y., Qi, C., and Du, L., (2017). Surface free energy and dynamic wettability of wood simultaneously treated with acidic dye and flame retardant. *Journal of Wood Science*, 63(3), 271–280. <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1621-8>
- [21]. Wang, F., Liu, J. and Lv, W., (2017). Thermal degradation and fire performance of wood treated with PMUF resin and boron compounds, *Fire and Materials*, , DOI: 10.1002/fam.2445
- [22]. Lu, S. Y. and Hamerton, I., (2012). Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers, *Progress in Polymer Science* 27(8), 1661-1712.
- [23]. Dönmez, Ç. A., (2014). Effect of various wood preservatives on limiting oxygen index levels of fir wood. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 50(1), 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.01.009>
- [24]. Özkaya, K., (2007). The effect of potassium carbonate, borax and wolmanit on the burning characteristics of oriented strandboard (OSB), 21, 1457–1462. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.07.001>
- [25]. Baysal, E., Devenci, I., Turkoglu, T. and Toker, H., (2017). Thermal analysis of oriental beech sawdust treated with some commercial wood preservatives. *Maderas. Ciencia Y Tecnologia*, 19(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000028>
- [26]. Hemel Ürün Kataloğu, (2017). website. [Online]. Erişim, URL: <http://hemel.com.tr>
- [27]. Bozkurt, Y., Göker, Y. and Erdin, N., (1993). Emprenye tekniği. *İ.Ü.Orman Fak. Yayınları*, İstanbul, 3779 (425) :125, 135
- [28]. Berkel, A., (1972). Ağaç malzeme teknolojisi, ağaç malzemenin korunması ve emprenye tekniği. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 183*, Sermet Matbaası, İstanbul, Cilt 2, 334.
- [29]. Aslan, S. and Özkaya, K., (2004). Farklı kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ahşap esaslı levhaların yanma mukavemetinin araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 2, 122-140.
- [30]. Yasar, Ş. Ş., Fidan, M. S., Yaşar, M., Atar, M. and Alkan, E., (2017). Combustion properties of impregnated spruce (*Picea orientalis* L.) wood. *Construction and Building Materials*, 143, 574–579. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.141>
- [31]. Atar, M., (1999). Renk açıcı kimyasal maddelerin ağaç malzemede üstyüzey işlemlerine etkileri. *Doktora Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- [32]. Sigma 74172, NSU Baca Gazı Analizörü Cihazı Kullanım Kılavuzu.
- [34]. Fidan, M. S., Yaşar, Ş. Ş., Yaşar, M., Atar, M. and Alkan, E., (2016). Characterization of the Combustion Parameters of Impregnated and Varnished Cedar Wood (*Cedrus libani*). *Forest Products Journal*, 66(5–6), 290–299. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-15-00063>

- [35]. Yasar, Ş. Ş., Fidan, M. S., Yaşar, M. and Atar, M., (2016). Influences of Seasonal Alterations on the Burning Characteristics of Impregnated and, 61(August 2015), 399–412.
- [36]. Wang, Q., Li, J. and Winandy, J.E., (2004). Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood, *Wood Sci. Technol.* 38, 375–389.
- [37]. Fidan, M. S., Yaşar, Ş. Ş., Yaşar, M., Atar, M., and Alkan, E. (2016). Effect of seasonal changes on the combustion characteristics of impregnated cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) wood. *Construction and Building Materials*, 106, 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.133>
- [38]. Atar, M., Yalınkılıç, A., C. and Aksoy, E., (2010). Renk açma işleminin ağaç malzemenin yanma özelliklerine etkileri. TÜBİTAK, Proje No: 109004