

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CCA İLE EMPRENYELİ AĞAÇ MALZEMEDEN KROM, BAKIR, ARSENİĞİN
UZAKLAŞTIRILMASINDA PERASETİK ASİT VE OZONUN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. End. Müh. Büşra AYDOĞAN

**HAZİRAN 2012
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CCA İLE EMPRENYELİ AĞAÇ MALZEMEDEN KROM, BAKIR, ARSENİĞİN
UZAKLAŞTIRILMASINDA PERASETİK ASİT VE OZONUN KULLANILMASI**

Orman Endüstri Mühendisi Büşra AYDOĞAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ORMAN ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.05.2012
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2012**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Büşra AYDOĞAN Tarafından Hazırlanan

CCA İLE EMPRENYELİ AĞAÇ MALZEMEDEN KROM, BAKIR, ARSENİĞİN
UZAKLAŞTIRILMASINDA PERASETİK ASİT VE OZONUN KULLANILMASI

başlıklı bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulunun 29.05.2012 gün ve 1458/3 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ümit C. YILDIZ

Üye : Prof. Dr. Hüseyin KIRCI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin D. GEZER

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemedeki Krom, Bakır, Arseniğin Uzaklaştırılmasında Perasetik Asit ve Ozonun Kullanılması” adlı bu çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve sonuca ulaştırılmasında danışmanlığımı üstlenerek engin bilgi ve tecrübelerinde yararlandığım, bilimsel temeller doğrultusunda çalışmalarına yön veren her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER’e sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi, tecrübe ve tavsiyelerinden yararlandığım başta sayın hocam Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ ve Prof. Dr. Hüseyin KIRCI olmak üzere anabilim dalımdaki tüm asistan ve hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarımın yürütülmesinde yardım ve desteklerinden faydalandığım Viyana Bodenkultur Üniversitesi’ndeki öğrenimim süresince danışmanlığımı üstlenen Prof. Dr. Alfred TEISCHINGER’a, çalışmalarımın yürütülmesini sağlayan Dr. Notburga GIERLINGER’a , Dr. Gerhard SINN’e , Stephan FRYBORT’a, Marta HRABOLAVA’ya teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma boyunca yardım ve desteklerini gördüğüm, Ozan SELCİK, Ahmet CAN’a ve tüm dostlarıma, teşekkürü bir borç bilirim.

Bugüne kadar her anlamda desteklerini gördüğüm ve çalışmam boyunca sabırla yanımda olan sevgili anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Büşra AYDOĞAN
Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemedeki Krom, Bakır, Arseniğin Uzaklaştırılmasında Perasetik Asit ve Ozonun Kullanılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25/05/2012

Büşra AYDOĞAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
TABLolar LİSTESİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. CCA Emprenye Maddeleri.....	6
1.2.1. CCA Emprenye Maddelerinin Oduna Fiksasyonu.....	8
1.3. Emprenye Maddelerinin Yıkanma Mekanizması	9
1.3.1. Odun Örneği ve Ağaç Malzemenin Boyutları	9
1.3.2. Odun Türü	11
1.3.3. Ağaç Malzemenin Hizmette Bulunma Süresi	12
1.3.4. Ortam Koşullarının Yıkanmaya Etkisi.....	12
1.3.5. Emprenyenin ve Fiksasyonun Yıkanma Üzerine Etkisi	13
1.3.6. pH, Tuzluluk Derecesi, Sıcaklık, Organik ve İnorganik Bileşiklerin Yıkanmaya Etkisi.....	15
1.4. Hizmet Ömrünü Tamamlamış Atıl Haldeki Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Geri Dönüşümü, Tekrar Değerlendirilmesi veya Yok Edilmesindeki Yönetim Stratejileri.....	16
1.4.1. Atıl Haldeki CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Bertaraf Edilmesi veya Azaltılması.....	16
1.4.2. Odun Atığının Gömülerek Bertaraf Edilmesi	16
1.4.3. Yeniden Değerlendirilmesi	17
1.4.4. Atıl Emprenyeli Odunun Geri Dönüşümü (Recycling)	17
1.4.5. Yeniden Biçilmesi.....	21
1.4.6. Atıl Haldeki CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemenin Remidasyonu	21
1.4.6.1. Biyoremidasyon	21

1.4.6.2.	Kimyasal Remidasyon	22
1.4.6.2.1.	Çözücüler Kullanılarak Yapılan Kimyasal Remidasyon	22
1.4.6.2.2.	Mikroorganizma ve Kimyasal Çözücülerin Kombinasyonu ile Uzaklaştırma	26
1.4.6.2.3.	Hidrotermal İşlem ve Süperkritik Sıvılarla Ekstraksiyon ve Transformasyon	28
1.4.6.2.4.	Odunun Sıvılaştırılması	29
1.4.7.	Elektrodiyalitik Yöntem ile Uzaklaştırma	30
1.4.8.	Atıl Haldeki Odunun Yakılması ve Enerji Üretilmesi	34
1.4.8.1.	Piroliz	35
1.4.8.2.	Birlikte Yakma	37
1.4.8.3.	Gazlaştırma	38
1.5.	Ozon	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	42
2.1.	Kullanılan Hammadde ve Kimyasal Maddeler	42
2.1.1.	Ağaç Malzeme ve Temini	42
2.1.2.	Kimyasal Maddeler ve Temini	43
2.1.2.1.	Asetik Asit	43
2.1.2.2.	Hidrojen Peroksit	43
2.1.2.3.	Ozon	44
2.2.	Örneklerin Hazırlanması	44
2.2.1.	Odun Örneklerinin Hazırlanması	44
2.2.2.	Remidasyon Çözeltisinin Hazırlanması	45
2.2.2.1.	Perasetik Asit	45
2.3.	Odun Örneklerinin Remidasyonu	46
2.3.1.	Bakır, Krom, Arseniğin Uzaklaştırılmasında Çözücünün ve Ozon Konsantrasyonunun Zamana Bağlı Etkisinin Belirlenmesi	46
2.3.2.	Bakır, Krom, Arseniğin Uzaklaştırılmasında Asit Konsantrasyonunun ve Asitte Bekletme Sürenin Etkisinin Belirlenmesi	47
2.3.3.	Perasetik Asitte Bekletilen Örneklerden Bakır, Krom ve Arseniğin Uzaklaştırılmasında Ozonun Etkisi	48
2.4.	Remidasyon Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Bakır, Krom, Arsenik Tayini	49
2.5.	Remidasyon Sıvılarındaki Ozon Konsantrasyonunun Belirlenmesi	50

2.6.	Cr ⁺⁶ Tayini	51
2.7.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	52
2.8.	Taramalı Elektron Mikroskobu.....	53
2.9.	İstatistiksel Yöntemler	55
3.	BULGULAR.....	56
3.1.	Atıl Hale Gelen CCA ile Emprenyeli Odundaki Bakır, Krom, Arsenik Miktarının Tayini	56
3.2.	Remidasyon İşlemine Ait Bulgular.....	58
3.2.1.	Remidasyon Sürecine Örneklerin Perasetik Asitte Bekletme Süresinin Etkisi	58
3.2.2.	Perasetik Asitle Remidasyona Maruz Bırakılan CCA ile Emprenyeli Örneklerle Ozon Uygulanması.....	66
3.2.3.	Çözücünün Örneklerden Uzaklaştırılan Arsenik, Krom ve Bakır Miktarına Etkisi	80
3.2.4.	Ozon Konsantrasyonunun Örneklerin Remidasyonu Üzerine Etkisi.....	88
3.2.5.	Perasetik Asitte Bekletme Süresinin Remidasyona Etkisi.....	94
3.2.6.	CCA ile Emprenyeli Örneklerle Perasetik Asitle Remidasyona Uğratıldıktan Sonra Ozon Uygulanmasının Arsenik, Krom ve Bakırın Uzaklaştırılmasında Etkisi	100
3.2.7.	Örnek Boyutlarının Remidasyon Üzerindeki Etkisi	109
3.3.	Remidasyon Çözeltilerindeki Ozon Konsantrasyonuna Ait Bulgular	113
3.4.	Cr ⁺⁶ Tayini	114
3.5.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	116
3.6.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	117
4.	TARTIŞMA	123
4.1.	Remidasyona Ait Bulgular.....	123
4.1.1.	Çözücünün Etkisi	123
4.1.1.1.	Çözücü Madde ile Birlikte Ozon Konsantrasyonunun Etkisi	125
4.1.2.	Perasetik Asitte Bekletilme Süresinin Etkisi	126
4.1.3.	Perasetik Asitle Remidasyona Uğratılan Örneklerle Ozon Uygulanmasının Etkisi	130
4.1.4.	Toplam Uzaklaştırılan Krom, Bakır, Arsenik Miktarları Üzerinde Ozonun Etkisi	134
4.1.4.1.	Toplam Uzaklaştırılan Krom Miktarı Üzerinde Ozonun Uzaklaştırıcı Etkisi ..	134

4.1.4.2.	Toplam Uzaklaştırılan Bakır Miktarı Üzerinde Ozonun Uzaklaştırıcı Etkisi...	136
4.1.4.3.	Toplam Uzaklaştırılan Arsenik Miktarı Üzerinde Ozonun Uzaklaştırıcı Etkisi	139
4.1.5.	Odun Boyutunun Etkisi.....	142
4.2.	Remidasyon Çözeltilerinde Ozon Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	144
4.3.	Cr ⁺⁶ Tayini	146
4.4.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	148
5.	SONUÇLAR	150
5.1.	Remidasyona Ait Sonuçlar	150
5.2.	Remidasyon Çözeltisindeki Ozon Konsantrasyonuna Ait Sonuçlar.....	152
5.3.	Cr ⁺⁶ Tayinine Ait Sonuçlar	153
5.4.	Termogravimetrik Analize Ait Sonuçlar.....	153
5.5.	Taramalı Elektron Mikroskobu Analizine Ait Sonuçlar	153
6.	ÖNERİLER.....	155
7.	KAYNAKLAR	157
8.	EKLER.....	170
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

CCA İLE EMPRENYELİ AĞAÇ MALZEMEDEN KROM, BAKIR, ARSENİĞİN UZAKLAŞTIRILMASINDA PERASETİK ASİT VE OZONUN KULLANILMASI

Büşra AYDOĞAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER
2012, 169 Sayfa, 8 Sayfa Ek

Bu çalışmada, atıl haldeki CCA ile emprenyeli sarıçam odun örneklerinden ozon ve perasidik asit kullanılarak bakır, krom ve arseniğin odundan uzaklaştırılmasına çalışılmıştır. Çözücü maddenin, odun boyutunun, perasetik asit ve ozon konsantrasyonunun ve perasetik asitte ve ozonda bekletilme sürelerinin, perasetik asitte beketildikten sonra ozon uygulanmasının odun örneklerinden uzaklaştırılan krom, bakır ve arsenik miktarları üzerine etkileri belirlenmiştir. Örneklerin remidasyon çözeltilerindeki Cr^{+6} miktarları tespit edilmiştir. Remidasyona maruz kalan örneklerden bazıları termogravimetrik ve SEM/EDX analizlerine tabi tutulmuştur. CCA ile emprenyeli Odun tozları (40mesh) perasetik asidin beş (%1,%10,%25,%50 ve %100) konsantrasyonunda farklı sürelerde beketildikten sonra 15 veya 30 dk. süreyle ozona tabii tutulmuştur. Perasetik asitte beketilen örneklere ozon uygulanmasının remidasyon üzerinde önemli ölçüde etkili olmadığı saptanmıştır. Remidasyon etkinliği anlamında örneklerin perasetik asitte beketildiği konsantrasyon miktarı ve bekletilme süreleri arttıkça olumlu sonuçlar elde edilmiş, arseniğin %99'u, kromun %99'u ve bakırın %98'i odun tozlarından uzaklaştırılmıştır. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda 6 saat beketilip ozon uygulandığında örneklerden arseniğin %98'i, kromun %98'i bakırın %96'sı uzaklaştırılmıştır. 80°C'de remidasyon çözeltilisindeki Cr^{+6} miktarının, oda sıcaklığında elde edilen miktardan fazla olduğu bulunmuş, toplam kromun % 99'u Cr^{+6} olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CCA, Sarıçam, Remidasyon, Ozon, Perasetik Asit, Kimyasal Remidasyon

Master Thesis

SUMMARY

REMOVAL OF COPPER, CHROMIUM AND ARSENIC FROM CCA TREATED
WOOD BY USING PERACETIC ACID AND OZONE

Büşra AYDOĞAN

Karadeniz Technical University
The Graduate of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Engin Derya GEZER
2012, 169 Pages, 8 Pages Appendices

In this study, the removal of copper, chromium and arsenic from chromated copper arsenate (CCA)-treated waste of yellow pine wood samples using ozone and peracetic acid was studied. The effect of solvent, wood size, concentrations of peracetic acid and ozone, and extraction time in peracetic acid and ozone on the amount of chromium, copper and arsenic removed by application of ozone after extracted in peracetic acid was determined. The amount of Cr^{+6} of the samples in remediation solvents was established. Some of the samples exposed to remediation were used thermogravimetric and SEM/EDX analysis. CCA treated sawdust (40mesh) was applied ozone for 15/30 minutes after having been extracted in five different concentrations (1%, 10%, 25%, 50%, 100%) at different times. It was found out that ozone application to the samples extracted in peracetic acid was not considerably effective on remediation. As for the remediation activity, increase in the amount of concentration extracted in peracetic acid and extraction time yielded positive results, to be specific, 99% of arsenic, 99% of chromium, 98% of copper were removed from sawdust. When applied and extracted with ozone in 25% of peracetic acid for 6h, 98% of arsenic, 90% of chromium, 96% of copper was extracted from the samples. The amount of Cr^{+6} in remediation solvent at 80°C was much more than that of in room temperature; 99% of chromium was Cr^{+6} .

Key Words: CCA, Yellow pine, Remediation, Ozone, Peracetic Acid, Chemical Remediation

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından 2002-2009 yılları arasında kullanılan tel direk miktarı	2
Şekil 2. TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından 2002-2009 yılları arasında kullanılan tel direk, demir direk ve beton direk miktarları	2
Şekil 3. Amerika Birleşik Devleti'nde ahşap koruma ve diğer sektörlerin arsenik kullanım miktarının dağılımı	3
Şekil 4. Yağış miktarının odundan emprenye maddesinin yıkanma üzerine etkisi	13
Şekil 5. CCA ile emprenyeli odunun yaşam döngüsü	31
Şekil 6. Elektrodiyalitik sistemin şematik görünümü	32
Şekil 7. Ozonun kimyasal yapısı	39
Şekil 8. Asetik asit ve hidrojen peroksidin karışımıyla perasetik asit oluşumu	46
Şekil 9. Örneklerin ozonla remidasyonu	48
Şekil 10. Spectro-Genesis ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı	50
Şekil 11. Palintest cihazı	52
Şekil 12. Termogravimetrik Analiz (TGA) cihazı	53
Şekil 13. Philips XL 30 ESEM cihazında altın kaplanan örneklerin görünümü	54
Şekil 14. Standart bakır konsantrasyon kalibrasyon eğrisi	56
Şekil 15. Standart arsenik konsantrasyon kalibrasyon eğrisi	57
Şekil 16. Standart krom konsantrasyon kalibrasyon eğrisi	57
Şekil 17. Cr ⁺⁶ kalibrasyon eğrisi	115
Şekil 18. Emprenyesiz odun örneğine ait EDX analiz sonuçları	117
Şekil 19. Emprenyeli odun örneğine ait EDX analiz sonuçları	118
Şekil 20. Sadece ozon uygulanan emprenyeli örneğe ait EDX analiz sonuçları	118
Şekil 21. %25 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa bekletildikten sonra ozon uygulanan emprenyeli örneğe ait EDX analiz sonuçları	119
Şekil 22. %100 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa bekletildikten sonra ozon uygulanan emprenyeli örneğe ait EDX analiz sonuçları	119
Şekil 23. Emprenyesiz sarıçam örneğinin görünüşü	120
Şekil 24. Emprenyeli sarıçam örneğinin görünüşü	120
Şekil 25. 30 dk ozona maruz bırakılan örneğin görünüşü	121

Şekil 26.	%25 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa bekletildikten sonra ozon uygulanan empenyeli örneğin görünüşü	121
Şekil 27.	%100 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa bekletildikten sonra ozon uygulanan empenyeli örneğin görünüşü	121
Şekil 28.	Örneklerin asetonlu çözeltilerine uygulanan ozon sonucunda örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzdeleri.....	123
Şekil 29.	Aseton olmadan empenyeli örnekler üzerine uygulanan ozon sonucunda örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	124
Şekil 30.	Ozon konsantrasyonunun çözücü olarak aseton kullanıldığında empenyeli örneklerden uzaklaştırdığı arsenik, krom ve bakır miktarları.....	125
Şekil 31.	Ozon konsantrasyonunun empenyeli örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarlarına etkisi.....	126
Şekil 32.	Örneklerin %1'lik perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları	127
Şekil 33.	Örneklerin %10'luk perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları	127
Şekil 34.	Örneklerin %25'lik perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları	128
Şekil 35.	Örneklerin %50'lik perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları	128
Şekil 36.	Örneklerin %100'lük perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	129
Şekil 37.	%1'lik perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	131
Şekil 38.	%10'luk perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	131
Şekil 39.	%25'lik perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	132
Şekil 40.	%50'lik perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	132
Şekil 41.	%100'lük perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları.....	133
Şekil 42.	Perasetik asidin %1'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom miktarları yüzde oranları	134
Şekil 43.	Perasetik asidin %10'luk konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları	135
Şekil 44.	Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları	135

Şekil 45. Perasetik asidin %50'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları	136
Şekil 46. Perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları	136
Şekil 47. Perasetik asidin %1'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları	137
Şekil 48. Perasetik asidin %10'luk konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları	137
Şekil 49. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları	138
Şekil 50. Perasetik asidin %50'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları	138
Şekil 51. Perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları	139
Şekil 52. Perasetik asidin %1'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları	140
Şekil 53. Perasetik asidin %10'luk konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları	140
Şekil 54. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları	141
Şekil 55. Perasetik asidin %50'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları	141
Şekil 56. Perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları	142
Şekil 57. Farklı örnek boyutlarının remidasyonu sonucunda uzaklaştırılan değerler.....	143
Şekil 58. Remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun ozonda bekletildikleri süreye göre belirlenmesi	145
Şekil 59. Remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun örnek gruplarında belirlenmesi	146
Şekil 60. Remidasyon sonrasında emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan Cr^{+6} miktarları	147
Şekil 61. TGA cihazından alınan örneklere ait grafik sonuçları.....	148

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. AWPa standardına göre CCA'nın üç tipi.....	7
Tablo 2. CCA-Tip A, Tip B ve Tip C'nin pH alt ve üst limitleri.....	7
Tablo 3. CCA-Tip I ve Tip II'nin bileşimi	7
Tablo 4. Artan önem derecesine göre yıkanma risklerinin önem sıralaması.....	12
Tablo 5. Atıl Haldeki CCA ile emprenyeli odunun yeniden değerlendirilmesinde var olan veya ortaya çıkan teknolojiler.....	18
Tablo 6. Ozonun sudaki çözünürlüğü.....	40
Tablo 7. Remidasyonda kullanılan kimyasal madde konsantrasyonları, örnek boyutları,örneklerin perasetik asitte ve ozonda bekletildikleri süreler.....	49
Tablo 8. Kontrol örneklerinden elde edilen bakır, krom ve arsenik konsantrasyonları (ppm).....	58
Tablo 9. Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan arsenik miktarları.....	58
Tablo 10. Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları	59
Tablo 11. Perasetik asitle remidasyona uğrıtılan odun örneklerinden arseniğın uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi	60
Tablo 12. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden, arseniğın uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi	60
Tablo 13. Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları	61
Tablo 14. Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları	62
Tablo 15. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi	62
Tablo 16. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi.....	63
Tablo 17. Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları	64

Tablo 18. Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları	65
Tablo 19. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi	65
Tablo 20. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi	66
Tablo 21. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona maruz kalan odun örneklerinde kalan arsenik miktarları	67
Tablo 22. Perasetik asit + ozon ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik miktarının üzerine uygulanan asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri, ozon + asitte bekletilme sürelerinin, asit + ozon + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları	68
Tablo 23. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi	69
Tablo 24. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında uygulanan ozon sürelerinin etkisi	70
Tablo 25. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi	70
Tablo 26. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona remidasyonuna tabi tutulan CCA ile empenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları	71
Tablo 27. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerindeki krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları	73
Tablo 28. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi	74
Tablo 29. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında uygulanan ozon sürelerinin etkisi	74

Tablo 30. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi	75
Tablo 31. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan CCA ile empenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları	76
Tablo 32. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan örneklerdeki bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları.....	77
Tablo 33. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonunun etkisi	78
Tablo 34. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında uygulanan ozon sürelerinin etkisi	79
Tablo 35. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asitte bekletilen sürelerin etkisi	79
Tablo 36. Remidasyona tabii tutulan CCA ile empenyeli odun örneklerinde kalan arsenik miktarları.....	80
Tablo 37. Remidasyona tabi tutulan CCA ile empenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları.....	82
Tablo 38. Remidasyona tabi tutulan CCA ile empenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları	83
Tablo 39. Remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının üzerine çözücünün etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları.....	84
Tablo 40. Remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında kullanılan çözücünün etkisi	84
Tablo 41. Remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında kullanılan çözücünün etkisi	86
Tablo 42. Remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında kullanılan çözücünün etkisi	87
Tablo 43. Ozon ile remidasyonu sonucunda asetonlu çözeltisi hazırlanan örnek gruplarında kalan arsenik, krom ve bakır miktarları	88
Tablo 44. Örneklerin asetonlu çözeltilerinin ozonla remidasyonunda arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları	89

Tablo 45. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltilerinden arseniğin uzaklaştırılmasında ozon konsantrasyonunun etkisi	90
Tablo 46. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltilerinden kromun uzaklaştırılmasında ozon konsantrasyonunun etkisi	90
Tablo 47. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltilerinden bakırın uzaklaştırılmasında ozon konsantrasyonunun etkisi	91
Tablo 48. Ozon remidasyonu sonucunda emprenyeli örnek gruplarında uzaklaştırılmayan arsenik, bakır ve krom miktarları	91
Tablo 49. Örneklerin ozonla remidasyonunda arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları	92
Tablo 50. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan emprenyeli odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında uygulanan ozon konsantrasyonunun etkisi	93
Tablo 51. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan emprenyeli odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında uygulanan ozon konsantrasyonunun etkisi	93
Tablo 52. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan emprenyeli odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında uygulanan ozon konsantrasyonunun etkisi.....	93
Tablo 53. Perasetik asitte bekletilen emprenyeli odun örneklerinde kalan arsenik miktarları	94
Tablo 54. Perasetik asitte bekletilen emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları	96
Tablo 55. Perasetik asitte bekletilen emprenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları	97
Tablo 56. Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarını belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi.....	98
Tablo 57. Perasetik asitle remidasyona uğratılan örneklerden arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletilme süresinin etkisi.....	99
Tablo 58. Perasetik asitle remidasyona uğratılan örneklerden kromun uzaklaştırılmasında asitte bekletilme süresinin etkisi.....	100
Tablo 59. Perasetik asitte bekletilen örneklere ozon uygulanması sonucunda uzaklaştırılmayan arsenik miktarları.....	101
Tablo 60. Perasetik asitte bekletilen örneklere ozon uygulanması sonucunda uzaklaştırılmayan krom miktarları.....	103
Tablo 61. Perasetik asitte bekletilen örneklere ozon uygulanması sonucunda uzaklaştırılmayan bakır miktarları	105

Tablo 62. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz kalan odun örneklerindeki arsenik miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları.....	107
Tablo 63. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletme ve ozona maruz kalma süresinin etkisi	108
Tablo 64. Ozon uygulanan örnek gruplarında kalan arsenik, bakır ve krom miktarları...	110
Tablo 65. Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları	111
Tablo 66. Ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında odun boyutunun etkisi	111
Tablo 67. Ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında odun boyutunun etkisi	112
Tablo 68. Ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında odun boyutunun etkisi	112
Tablo 69. Remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun ozonda bekletildikleri süreye göre belirlenmesi	113
Tablo 70. Remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun örnek gruplarında belirlenmesi	114
Tablo 71. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden uzaklaştırılan toplam krom ve Cr ⁺⁶ miktarları	115
Tablo 72. TG analizi sonucunda elde edilen veriler	116

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş¹

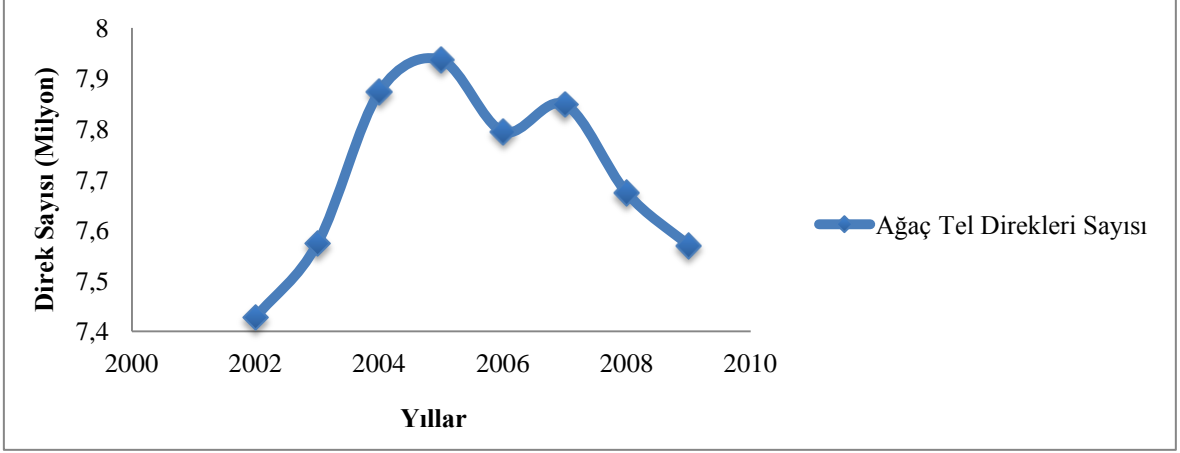
Ağaç malzeme insanoğlunun varoluşundan günümüze kadar olan süreçte farklı kullanım alanları bulmuştur. Bunun yanı sıra kolay işlenebilmesi, ekonomik, fonksiyonel, yenilenebilir bir materyal oluşu ve estetik yönü sayesinde uzun yıllar kullanım imkânı bulmuştur (Rowell, 2001). Ağaç malzemenin kullanım yerinde, ömrünü uzatmak ve bozunmasına neden olan organizmaların zararlarına karşı koruyabilmek amacıyla emprenye işlemi uygulanmaktadır (Bozkurt, 1993; Örs ve Keskin, 2001). Ayrıca son yıllarda, ağaç malzemeye olan talebin artmasıyla ormanların hızlıca tahrip edilmesi, ağaç malzemenin emprenye yoluyla kullanımının uzatılmasını zorunlu hale getirirken, hizmet ömrünü tamamlamış olan atıl haldeki ağaç malzemelerin de (tel direği, travers vb.) tekrar değerlendirilmesi önem kazanmıştır.

Ülkemizde emprenyeli malzemenin kullanımına, gelişmiş ülkelerden daha geç başlanmıştır. Diğer taraftan, ülkemizde atıl hale gelen ağaç malzeme miktarı ile ilgili istatistiksel verinin bulunmamasıyla beraber, TEDAŞ tarafından elde edinilen bilgiye göre, 2009 istatistiklerine göre halen kullanımda olan yaklaşık 8 milyon adet (yaklaşık 3 milyon m³) emprenye işlemi görmüş olan ağaç tel direği bulunduğu bilinmektedir. Sadece 2010 yılı içinde bu değer, 117.000 adet (yaklaşık 38.924 m³) olduğu ifade edilmiştir. Devlet Demir Yolları'ndan sağlanan bilgiye göre, her yıl 5.000 m³ emprenyeli travers ile bakım, onarım ve demiryolu makasları karşılanmaktadır (Taşcıoğlu ve Tufan, 2011). Ağaç tel direklerinin kullanım ömürleri, uygulanan emprenye maddeleriyle beraber 40-50 yıl kadar uzatılabilmekte iken, Karadeniz bölgesindeki ağaç tel direklerinde söz konusu süre en fazla 10-15 yılı bulmaktadır (Gezer, 2003).

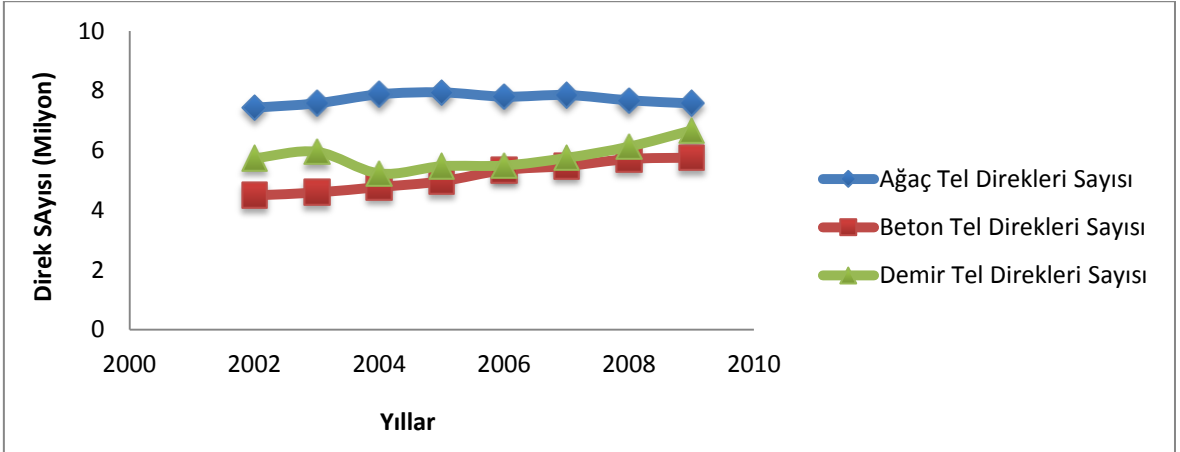
Demir direklerdeki paslanma ve elektriği iletme probleminin yanında, beton direklerin maliyetli olması; işçilik masrafının olması ve dikilme, yerinde bakım kolaylığı sağlayan ahşap direk kullanımını avantajlı hale getirmektedir. Ülkemizde kullanım ömrünü tamamlamış ahşap direkler yerine, genellikle demir tel direk kullanımı tercih edilmektedir. Beton direk maliyeti fazla olmasına rağmen, dayanıklılık açısından en uzun ömürlü direk tipidir. Günümüzde ise, şehir içinde yer altından kablolar geçirilerek elektrik iletimi

¹ Bu tez çalışması TÜBİTAK-TOVAG 108O414 Nolu Proje kapsamında desteklenmiştir.

sağlanmakta ve direk kullanımı azaltılmaktadır (TEDAŞ, 2012). Ülkemizde atıl hale gelen tel direk miktarlarına ait istatistiksel veriler olmamasıyla beraber, TEDAŞ Genel Müdürlüğü'nün 2002-2009 yılları itibarı ile kullandığı ahşap tel direği (Şekil 1) miktarlarının ve ahşap, beton ve demir tel direği (Şekil 2) miktarlarının yıllara göre dağılımı aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 1. TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından 2002-2009 yılları arasında kullanılan ağaç tel direk miktarları



Şekil 2. TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından 2002-2009 yılları arasında kullanılan ağaç tel direk, demir tel direk ve beton tel direk miktarları

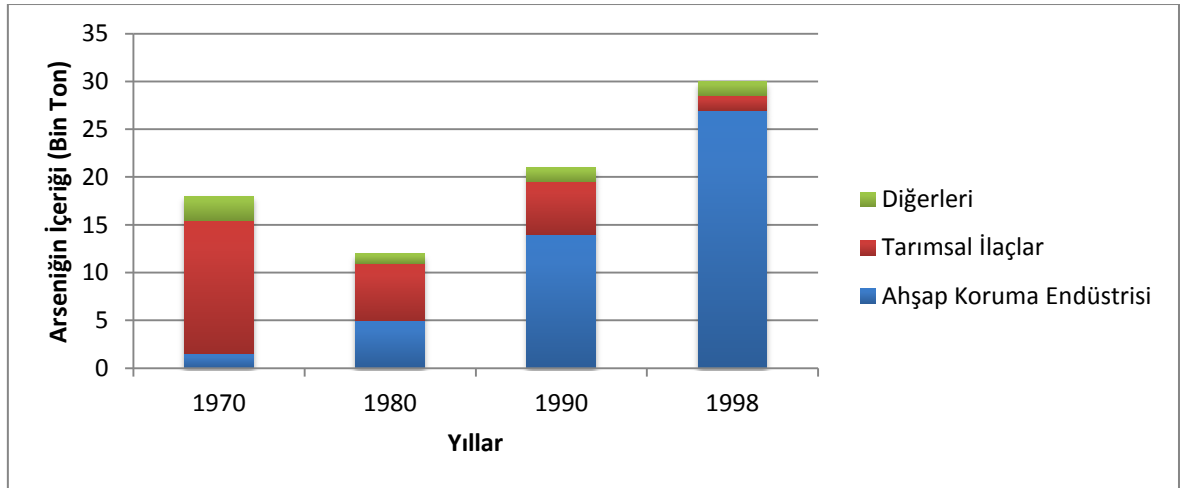
Kullanılan empenyeli ağaç malzeme miktarı günden güne artmakta ve büyük boyutlara ulaşmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanım ömrünü tamamladıktan sonra servisten alınan empenyeli ağaç malzeme miktarının 1990 yılında 1 milyon m³, 2010 yılında 15 milyon m³ olduğu; 2020 yılında ise 18 milyon m³ olacağı tahmin

edilmektedir (Cooper, 1993). Avrupa ülkelerine baktığımızda, Fransa ve Almanya’da 2.1-2.4 milyon ton kadar emprenyeli malzeme, kullanım ömrünü tamamlayarak atıl hale gelmektedir (Helsen, 1998). Fransa’ da, 26 milyon tel direği emprenye edilerek kullanılmaktadır. Bununla beraber, kullanım ömrünü tamamlayıp atıl hale gelen tel direği sayısı her yıl 500.000 ton kadardır. Atıl haldeki tel direklerinin, değerlendirilme probleminin 50 yıl daha süreceği tahmin edilmektedir (Helsen, 1998; Hingston, 2001).

Dünya çapında, odun koruma endüstrisi her yıl, yaklaşık 30 milyon m³’lük odunun emprenyesinde, 500.000 ton kadar koruyucu kimyasal madde kullanmaktadır. CCA ile emprenye edilen ağaç malzeme, bu miktarın üçte ikisini oluşturmaktadır (Humphrey, 2002).

CCA emprenye maddesi odunu yılladır, mantar, böcek ve suyun zararlarına karşı korumaktadır. CCA ile emprenye edilen ağaç malzeme açık hava şartlarında yaklaşık 20-30 yıl kadar kullanılabilir iken (Thomas, 1998) hizmet ömrünü tamamlayarak atıl hale geldiğinde de içinde önemli miktarda kimyasal koruyucu bulundurmaktadır. Bununla birlikte kullanımdan kaldırılan odunun, bertaraf edilmesi sorunu meydana gelmektedir.

Odun koruma endüstrisinde 2000 yılına kadar ABD’nin sektörlere göre kullanmış olduğu CCA miktarları Şekil 3’te verilmektedir.



Şekil 3. Amerika Birleşik Devleti’nde ahşap koruma ve diğer sektörlerin arsenik kullanım miktarının dağılımı (Şen ve Yalçın, 2009).

Hizmet ömrünü tamamlayan ahşap malzemenin bünyesinde bulundurduğu ağır metallerin çevresel tehdit oluşturduğu gerekçesiyle kullanım alanlarına sınırlamalar

getirtilmiştir. ABD Ulusal Çevre Koruma Ajansının (Environmental Protection Agency, EPA) 12 Şubat 2002 tarihinde CCA'nın kullanımı ile ilgili almış olduğu kararla park ve bahçe alanlarında, peyzaj çalışmalarında, çocuk oyun alanlarında ve evlerde kullanımına kısıtlamalar getirtilmiştir. Bununla birlikte, bu maddenin 12 Şubat 2002 tarihinde Kanada'daki Atık Yönetimi ve Düzenleme Kurumu (Canada Pest Management Regulatory Agency) tarafından telefon ve elektrik direkleri, köprü elemanlarının kullanılmasında, demiryolu traverslerinin kullanımına CCA ile emprenye edildiğini gösteren etiket konulması uygun görülmüştür. Sonrasında, 30 Nisan 2002 tarihinde Avrupa Birliği Ülkeleri Batı Avrupa Odun Koruma Enstitüsü (Western-European Institute for Wood Preservation) tarafından da aynı şartlar kabul edilmiştir (Granata vd., 1997; Schert, 2002).

CCA ile emprenyeli ağaç malzemelerin yukarıda bahsettiğimiz yerlerde kullanımı 31 Aralık 2003 tarihi itibariyle tamamen yasaklanmıştır (Gezer, 2003). Avrupa'da, Kuzey Amerika'da ve Japonya'da odundan uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarının gelecekte artacağı düşünülmektedir (Solo ve Gabriele, 2003).

ABD Çevre Koruma Kurumu tarafından yapılan bir çalışmaya göre zararlı ağır metaller (arsenik, krom) içeren CCA'nın, emprenye edilmeden önce karışım halindeyken tehlikeli olup, canlı yaşamını tehdit edecek bir yapıda olmasına karşılık, ağaç malzemeyle işleme tabi tutulduktan sonra iyi bir kimyasal bağlanma sağlandığı takdirde çevresel zararının son derece azalabileceği ifade edilmiştir. CCA emprenye maddesinin içerisindeki beş değerlikli arseniğin canlılara karşı zararlı etkisinin az olduğunu, vücuttan atılımının hızlı gerçekleştiği ve normal konsantrasyonlarının zararlı olmadığı belirtilmiştir. Bunun sonucunda, tolerans limitleri dahilinde kullanılan kimyasal korumalı malzemenin, kullanım yerinde ve sonrasında canlı yaşamını tehdit etmediği belirtilmiştir (Schroeder, 2008).

Yapılan bir araştırmaya göre, CCA ile emprenye edilmiş olan tel direğinin 27 gram arsenik içerdiği ve bu değer 250 yetişkin insanın ölümüne sebep olacak güçte olduğu açıklanmıştır. Arseniğin belirli bir kokusu ve tadı olmadığından temas ya da diğer yollarla vücuda nüfuzu anlaşılabilir. Bir kaşık CCA'lı odun külündeki arseniğin öldürücü dozda olduğu belirtilmiştir (Anonim 2008).

Hizmet ömrü bitmiş olan emprenyeli odun atıklarının yakılarak veya toprağa gömülerek uygulanan, bertaraf etme yöntemleri hem riskli, hem de ekonomik olmayan yöntemlerdir. Atıl haldeki ağaç malzemenin yakılması sırasında ağır metaller serbest kalmaktadır. Yanma sonucunda oluşan külün içerisinde zehirli maddeler bulunduğu gibi doğru sıcaklık uygulanmadığında havaya yayılan zehirli gazın ciddi ölçüde tehlikeli

olduğu tespit edilmiştir. Gömerek yok etme işleminde emprenyeli odun atığında bulunan ağır metallerin rutubetin de etkisiyle zamanla toprağa ve suya geçerek çevreye zararının yanında, emprenyeli atığın yeniden kesilmesi, liflendirilmesi, işlenmesi, yongalanması suretiyle, yeni kompozit malzeme eldesi sırasında işçilere ve çevreye olumsuz etkileri olmaktadır. Atıl haldeki CCA ile emprenyeli odunun yeni yapılan düzenlemelere göre atık olarak gömülememesi bu olumsuzlukları gündeme getiren sebepler arasında gösterilmektedir (Felton ve De Groot, 1996).

Emprenyeli odun atığının yok edilmesi sırasında yapılan uygulamalar olumsuz etkiler meydana getirdiğinden, hizmet ömrünü tamamlamış ağaç malzeme içeriğinde bulunan ağır metallerin geri kazanılması önemli hale gelmektedir. Bazı geri dönüşüm prosesleri gelişmiş ülkelerde uygulanmakta olup, çevresel tehdit olabilen metal tuzları %100'e yakın oranda geri kazanılabilmektedir. Sonrasında ahşap malzeme çeşitli endüstri kollarında yakılarak değerlendirilmektedir. Bu durum Türkiye'de farklılık göstermektedir. Hizmet ömrü bitmiş ahşap malzeme farklı kullanım yerlerinde değerlendirilme öncesinde, geri dönüşüm işlemleri yapılmadan, kullanım yerine sunulmaktadır. CCA ile emprenyeli ağaç malzeme atıl hale gelmesine rağmen, içerisinde yüksek miktarda bakır, krom ve arsenik içermektedir. Bu durumun çevreye, insanlara ve diğer canlılara karşı olumsuz etkilerinden dolayı, günümüze kadar mevcut ve atıl haldeki emprenyeli malzemelerin uzaklaştırılması ve yeniden değerlendirilmesi için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, ülkemizde de kullanılan CCA emprenye maddesi ile emprenye edilmiş ağaç malzemelerden zehirli maddeleri uzaklaştırmanın yanında toprağa geçen bakır, krom, arseniğin de uzaklaştırılması önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, atıl duruma gelen emprenyeli ağaç malzemedeki, zehirli maddeleri uzaklaştırmak için perasetik asitten ve pek çok alanda kullanım olanağı bulan ve kuvvetli bir oksidan olan ozondan yararlanılmıştır. Bununla beraber, emprenyeli malzemenin tekrar değerlendirilmesi ve emprenye maddesinin geri kazanımı için çeşitli olanaklar araştırılmıştır. Bu çalışmanın amaçları aşağıda sıralanmıştır:

1. CCA ile emprenyeli atıl haldeki ağaç malzemelerden ozon, perasetik asit ve/veya ikisinin birlikte kullanılmasıyla bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılması (remidasyon) imkânlarının araştırılması,
 - Ozonun CCA ile emprenyeli odun örneklerinden bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılmasındaki etkisinin belirlenmesi,
 - Remidasyon süresinin etkisinin belirlenmesi,

- Odun boyutlarının bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılmasındaki etkisinin belirlenmesi,
 - Perasetik asidin bakır krom ve arseniğin uzaklaştırılmasındaki etkinliğinin belirlenmesi,
2. Remedasyon sonucunda elde edilen çözeltilerdeki Cr⁺⁶ miktarının belirlenmesi,
 3. Remedasyon sınırlarındaki ozon konsantrasyonunun belirlenmesi
 4. Ozon ve %25 ve %100'lük perasetik asit remedasyonuna maruz bırakılan odun örneklerinin TGA analizlerinin belirlenmesi,
 5. Ozon ve %25 ve %100'lük perasetik asit remedasyonuna maruz bırakılan odun örneklerinin anatomik görünümünün SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi.

1.2. CCA Emprenye Maddeleri

İçerisinde krom, bakır, arsenik bulunan CCA emprenye maddesi ağaç malzemeyi mantarların, böceklerin ve termitlerin zararlarına karşı koruyan kimyasal bir maddedir. CCA emprenye çözeltisi +6 değerlikli Cr (CrO₃), +2 değerlikli Cu (CuO), +5 değerlikli (As₂O₅) oksitlerini içermektedir. Bakır, emprenyeli odunda mantarlara karşı dayanıklılık sağlarken, arsenik böceklere karşı etkili olmaktadır. Krom metali, kimyasal maddenin oduna bağlanması (fikse olması) sırasında çözeltilerdeki arsenik ve bakırı yükseltgeyerek oduna bağlamaktadır (Pizzi, 1982).

İlk olarak, CCA emprenye maddesi 1933 yılında formüle edilmiştir. Oksit ve metal tuz esaslı olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. CCA emprenye maddesinin oksit esaslı bileşimi, ABD Odun Korumacılar Birliği (AWPA: American Wood Preservers' Association) tarafından belirlenmiş, içerisindeki bakır, krom ve arsenik miktarı değişik oranlarda hazırlanmıştır. Tip A, Tip B ve Tip C olmak üzere CCA tipleri üçe ayrılmaktadır. Bu bileşiğin içeriği Tablo 1'de verilmektedir (Wilkinson, 1979; Richardson,1993). AWPA tarafından standardize edilen bu bileşimlerde, karışımdaki bileşenler tuzlar şeklinde değil, aktif oksitler halindedir.

Tablo 1. AWWA standardına göre CCA'nın üç tipi

BİLEŞEN	Tip A (%)			Tip B (%)			Tip C (%)		
	En	Opt.	En Çok	En Az	Opt.	En Çok	En Az	Opt.	En Çok
Krom (CrO ₃)	59.4	65.5	69.3	33.0	35.3	38.0	44.5	47.5	50.5
Bakır (CuO)	16.0	18.1	20.9	18.0	19.6	22.0	17.0	18.5	21.0
Arsenik (As ₂ O ₅)	14.7	16.4	19.7	42.0	45.1	48.0	30.0	34.0	38.0

CCA-Tip A, Tip B, Tip C'den hazırlanan emprenye maddesi çözeltilerinin Tablo 2' de gösterilen pH alt ve üst limitlerine sahip olması gerekmektedir (Anderson, 1990a; Anonim, 1987).

Tablo 2. CCA-Tip A, Tip B ve Tip C'nin pH alt ve üst limitleri

CCA EMPRENYE MADDESİ TİPLERİ	pH ALT ve ÜST LİMİTLERİ
CCA - Tip A	1.6-2.7
CCA - Tip B	1.6-2.5
CCA - Tip C	1.6-2.5

Basınçla emprenye yöntemlerinde daha çok CCA Tip-A tercih edilirken, yerinde bakım yöntemlerinde CCA Tip-B tercih edilmektedir. ABD'de CCA-Tip C'nin, CCA ile emprenye işlemlerinde kullanımı oldukça yaygındır. CCA-Tip C'nin en yaygın kullanılan tip olmasıyla birlikte daha çok tercih edilmesinde formülasyonu etkilidir. Yıkanmaya karşı direnç ve biyolojik performans açısından en iyi kombinasyona sahip olduğu ifade edilmektedir (Lebow,1996).

Metal tuz esaslı CCA emprenye maddelerinin ise iki tipi bulunmakta ve bu tiplerin bileşenleri ise Tablo 3'de verilmektedir (Bozkurt, 1993; Lebow, 1996).

Tablo 3. CCA-Tip I ve Tip II'nin bileşimi

BİLEŞEN	CCA Tip I (%)	CCA Tip II (%)
Bakır sülfat, (CuSO ₄ .5H ₂ O)	32.6	31.5
Potasyum dikromat, (K ₂ Cr ₂ O ₇ veya sodyum dikromat Na ₂ Cr ₂ O ₇)	41.0	40.5
Arsenik pentaoksit, (As ₂ O ₅ .2H ₂ O)	26.4	18.0

CCA içerisindeki alt-bileşenler (krom-bakır-arsenik) oduna bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin ile kimyasal reaksiyona girerek oduna bağlanmaktadır.

1.2.1. CCA Emprenye Maddelerinin Oduna Fiksasyonu

Fiksasyon sözcüğü, odadaki koruyucu maddenin çözünmez hale gelmesiyle ilgili bir terimdir. Bu olay literatürde CCA ve türevlerinin oduna tutunması olarak tanımlanmaktadır. CCA emprenye maddeleri ile odun bileşenleri arasında gerçekleşen kimyasal bir olay olmakla beraber etkin bir emprenye işlemi için gereklidir. Bu sayede ağaç malzemeye tutunan kimyasal emprenye maddeleri kolayca yıkanamamakta ve toprak temaslı uygulamalarda koruyucu madde işlevi gören kimyasal maddelerden birisi olarak kabul edilebilmektedir. CCA bileşimindeki bakır, krom ve arseniğin odundaki lignin ve karbonhidratlarla olan reaksiyonlarını incelemek üzere bu alanda pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda, CCA emprenye maddesinin hem emprenye işlemi sırasında hem de emprenye işleminden sonra odunla ilişkisinin karmaşık olduğu belirlenmiştir. CCA'nın oduna fiksasyonu tam olarak anlaşılammıştır. CCA fiksasyonu ve CCA'nın hücre çeperlerindeki dağılımını ortaya koyan bazı araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçlarında, CCA emprenye maddesinin belirli bir kısmının, (stabil) kompleksler/esterler oluşturmak için lignin ile reaksiyona girdiğini gösterirken, geri kalan kısmının ise, odun karbonhidratları ve özellikle selüloz üzerine çökmesi ya da zayıfça bağlanması suretiyle meydana geldiğini göstermiştir (Pizzi, 1990a).

Fiksasyonun tamamlanması bazı reaksiyonlarda emprenye işlemi sonrasında hemen birkaç saat içinde kendini gösterirken, bazı reaksiyonlar içinse günler, haftalar veya hatta aylar sürebilmektedir (Cooper ve Ung, 1989; McNamara, 1989). Sıcaklık, rutubet, çözelti konsantrasyonu, odun türü, çözelti formülasyonu, retensiyon miktarı fiksasyonun süresini belirleyici faktörlerden sayılmaktadır.

Cr (VI)'nın indirgenmesi en yavaş gerçekleşen reaksiyon olup meydana gelen kinetik parametreler çeşitli reaksiyon basamakları sonucunda gerçekleşmektedir. İlk önce geçici başlangıç reaksiyonları, sonra başlangıç reaksiyonları son aşama olarak dönüşüm (değişim) reaksiyonu gerçekleşerek Cr(VI) tamamen indirgenmekte, fiksasyon süreci tamamlanmaktadır. Kimyasal koruyucunun oduna fikse olması kromun varlığında gerçekleşmekte (Gray, 1993) ve odundan yıkanmasına karşı kararlı (stabil) hale

getirmektedir (Anderson, 1990b). Fiksasyonun tam olarak gerçekleşmemesi; emprenyeli odunun kullanım ömrünü olumsuz etkilemekte ve CCA bileşenlerinin odundan yıkanarak uzaklaşmasına neden olmaktadır. Cr (VI), Cr (III)'e indirgenerek daha kararlı ve zararsız hale gelmektedir. Krom, bakır ve arsenik metalleri odun bileşenleri ile kendi aralarında ard arda reaksiyon gerçekleştirmektedir. Kromun indirgenmesi en yavaş gerçekleşen reaksiyondur. Birçok durumda kromdan önce tepkimeye giren arsenik ve bakır, kromun indirgenme sürecinin iyi bir göstergesi olmaktadır (Cooper vd, 1993).

CCA fiksasyonunun temeli, pek çok organizmaya karşı zararlı olup, değişken olan +6 değerlikli Cr'un +3 değerlikli Cr'a indirgenmesine dayanmaktadır. Bu süreçte meydana gelen fiksasyon reaksiyonları ile krom, bakır ve arsenik metalleri daha az zararlı olan bileşenlere dönüşmektedir.

1.3. Emprenye Maddelerinin Yıkanma Mekanizması

CCA ile emprenye edilmiş atıl haldeki odunun yeniden değerlendirilebilmesi açısından emprenye maddelerinin yıkanma mekanizması önem kazanmaktadır. Bu sayede hizmet ömrünü tamamlamış olan ağaç malzemedeki metal kaybının insanlara, hayvanlara ve çevrede yaratabileceği zararları en aza indirmek mümkün olacak ve emprenyeli ağaç malzemenin CCA uzaklaştırılıp yeniden kullanılabilir hale gelecektir.

CCA'nın ağaç malzemenin yıkanmasında etkili olan faktörleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Odun örneği ve ağaç malzemenin boyutları
- Odun türü
- Ağaç malzemenin hizmette bulunma süresi
- Ortam koşullarının yıkanmaya etkisi
- Emprenyenin ve fiksasyonun etkisi
- pH, tuzluluk derecesi ve sıcaklık, organik ve inorganik bileşiklerin yıkanmaya etkisi

1.3.1. Odun Örneği ve Ağaç Malzemenin Boyutları

Laboratuvar şartlarını kontrol altında tutup, daha hızlı sonuç elde edebilmek için çalışmalarda küçük boyutlu örneklerden faydalanılmıştır (Cooper, 1994b). Yıkanmaya

maruz kalan ağaç malzeme yüzeyi ile yıkanan CCA miktarı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Ağaç malzeme yüzeyi arttıkça, yıkanan CCA madde miktarı da artmaktadır. Küçük boyutlu örneklerde doğrudan yıkanma ortamına maruz kalan yüzey ve ıslanma oranı artarken difüzyon mesafesi buna bağlı olarak azalmaktadır (Cooper, 1994b; Hingston 2001a). Küçük boyutlu odun örneklerinde yüzey alanı artarken, boyuna yönde (lifler yönünde) nüfuz etme katsayısı daha fazla olduğundan yıkanma kayıpları artmaktadır. (Yamamoto vd., 2000). Odunun üç yüzeyindeki yıkanma oranı, farklılık göstermektedir. İlk 24 saat içerisindeki kayıplar teğet ve radyal yüzeyde en fazla iken, uzun dönemde boyuna yönde yıkanma kayıplarının arttığı görülmektedir (Orsler ve Holland, 1993). Küçük boyutlu örneklerin işlenebilme kolaylığı ve yüksek oranda yıkanma kayıplarının yanı sıra örneklerin homojen oluşu ve emprenye maddesinin örnek içerisinde dengeli dağılımı avantajları arasında sayılmaktadır. Ağaç malzemenin boyutları büyüdükçe heterojenliği artarken, emprenye maddesinin örnek içerisindeki dağılımı farklılık göstermektedir (Hingston, 2001b).

Ağaç malzeme kullanım yerine yerleştirildiği ilk anlarda yıkanma hızlı ve fazla miktarda olmaktadır. Zamanla bu süreç yavaşlamaktadır. Bunun nedeni emprenye sonrasında ağaç malzeme yüzeyinde oduna fikse olmamış fazladan CCA kalıntısı bulunmasıdır (Cooper, 1990).

Teichman ve Monkman (1966) çalışmalarında, CCA ile emprenye edilmiş huş ve akçaağaç örneklerini yıkanmaya maruz bıraktıktan üç gün sonra değerlendirdiğinde, arseniğin başlangıçtaki miktarına göre yaklaşık yarısının yıkandığını tespit etmiştir.

Kılıç yaptığı çalışmada %3 konsantrasyonda hazırlanmış olduğu CCA çözeltisini dört ağaç türüne (*Pinus sylvestris*, *Abies bormülleriana*, *Fagus orientalis* ve *Castanes sativa*) uygulamıştır. Her bir türün boyutları 50x25x15 mm, 30x20x10 mm, 10x10x10 mm olarak belirlenmiştir. Örnekler cam şişede 600 ml'lik suda bekletilmiş ve her gün günde iki kere örneklerin suyunu değiştirmiştir. 3 hafta sonunda elde ettiği sonuçlara göre, 50x25x15 mm boyutlarındaki örneklerde en fazla miktarda yıkanma olduğunu tespit etmiştir (Kılıç, 2001).

Kartal ve Lebow (2001), emprenyeli odun blokları ile normal odun parçalarından, bakır krom ve arseniğin uzaklaştırılması üzerinde örnek boyutunun etkisini araştırmışlardır. Yıkanmaya bırakılan odun bloklarından krom 192-336 saat sonra uzaklaştırılmış, odun parçalarında ise 6 saat içinde yıkanma gerçekleşmiştir. Örnek

boyutunun remidasyon sürelerine bağı olarak yıkanan krom miktarları üzerinde etkisi bildirilmiştir.

1.3.2. Odun Türü

Odun türlerinin, kimyasal (pH, ekstraktif madde içeriği, hücre duvarı bileşenlerinin miktarı vb.) ve anatomik özellikleri (permeabilite, lümen boyutu, hücre çeperi kalınlığı vb.) emprenyeli odunun yıkanmasında farklılık meydana getirmektedir (Becker ve Buchmam, 1966; Cooper, 1990).

Odunun kimyasal yapısı fiksasyon kalitesini etkilemektedir. Aynı şartlar altında yapraklı ağaçlardaki yıkanma kayıpları, iğne yapraklı ağaçlara oranla daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni yapraklı ağaçlarda hemiselüloz miktarının fazla olması, lignin miktarının az olmasına ve içerdiği lignin türünün iğne yapraklı ağaçlarda bulunan ligninden farklı olmasına bağlanmaktadır (Pizzi, 1983; Ostmeyer 1989).

Emprenyeli kızılçam, douglas göknarı ve kırmızı ardıç direklerindeki CCA yıkanma miktarları tespit edilmiştir. Buna göre kızılçamda meydana gelen yıkanma oranının diğer türlere göre fazla olduğu bulunmuştur (Malecki vd., 1994; McQueen vd., 1998). Başka bir çalışmada ise yapraklı ağaç türlerinden kayın, akçaağaç ve kızıl meşe türlerinde, sarıçam türüne oranla yıkanan arsenik miktarının fazla olduğu görülmüştür (Helsen vd., 1998).

Kullanılan ağaç türündeki öz odun ve diri odun miktarı emprenye maddesinin yıkanmasını etkilemektedir. Öz odunun penetrasyonu (geçirgenliği) diri oduna göre zayıf olmakta ve az miktarda emprenye maddesi içermektedir. Öz odundaki yıkanma oranlarının daha düşük olmasının bu yüzden olduğu tahmin edilmektedir. Bu genelleme öz odundaki yüksek konsantrasyondaki koruyucu maddenin varlığı ile veya emprenye maddesinin fiksasyonundaki farklılıklar sonucunda değişkenlik gösterir. Odun örneklerinde öz odunun varlığı yıkanma kaybı yorumunu güçleştirdiğinden, öz odunun ya sayılmaması ya da miktarı belirlenip açıklanması gerekmektedir (Cooper 1994).

Yüksek yoğunluğa sahip türler yıkanmaya karşı direnç göstermektedir. CCA ile emprenyeli düşük geçirgenliğe sahip odunlarda emprenye maddesi yüzeyde birikmektedir. Bu nedenle, kullanım esnasında yıkanma ortamına maruz kaldığında kolayca yıkanabilmektedir (Cooper, 1994; Huang ve Cooper, 2000).

1.3.3. Ağaç Malzemenin Hizmette Bulunma Süresi

Ağaç malzemeye tam olarak fikse olmayan ve yüzeyde kalan kimyasal maddeler, hizmete geçen emprenyeli maddenin ilk zamanlarında yıkanmasını arttırmaktadır. Bu durum yıkanma miktarı dengeye ulaşınca kadar hızlı bir şekilde azalır. Bu süreç farklı durumlara bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kullanım yerindeki ağaç malzemenin boyutu, işlevi, yıkanmaya maruz kalan yüzey alanının büyüklüğü ve koruyucu kimyasal maddenin türü yıkanma kayıplarını değerlendirmede önem taşımaktadır. Yıkanma olasılığı kullanım yerindeki ağaç malzemenin ilk yıllarında fazla iken bunu takip eden yıllar içerisinde azalma göstermektedir (Ruddick 1994; Petric 2000).

1.3.4. Ortam Koşullarının Yıkanmaya Etkisi

Kullanım yerindeki emprenyeli ağaç malzemenin, yıkanmaya maruz kaldığı şartlar ve uygulama alanları Tablo 4’de gösterilmiştir. Emprenyeli odunun en çok tercih edildiği toprak üstü uygulama alanları, iklimin etkilerine maruz kalmakta ve ağaç malzemede yıkanma kayıplarına yol açmaktadır.

Tablo 4. Artan önem derecesine göre yıkanma risklerinin önem sıralaması (Cooper, 1991)

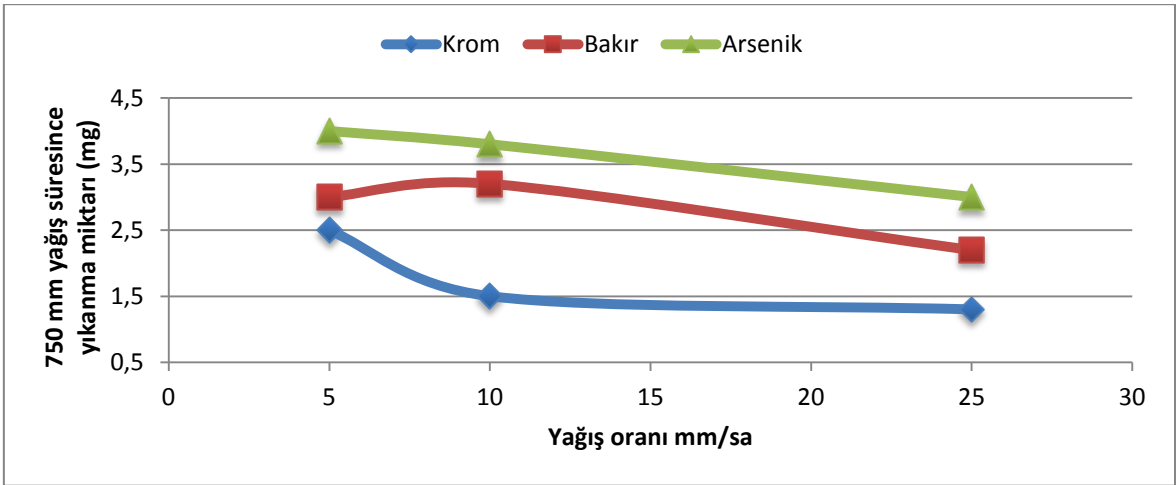
Yıkanma Şartları	Örnek Uygulamaları
Yağıştan kısmen korunma	Kapalı veranda, çardak, dış kaplama, güverte ve köprü
Ara sıra ya da kısmen yağışa maruz kalma	Çit direkleri
Tamamen yağışa maruz kalma	Çati, döşeme, trabzanlar, merdivenler, basamaklar
Toprağa maruz kalma	Çit direkleri, direkler, istinat duvarları, emprenyeli odun temelleri
Yüzeysel tatlı suya maruz kalma	Tatlı su birikintileri
Deniz suyuna, asidik ya da sıcak suya maruz kalma	Deniz suyu, iskeleler, soğutma kuleleri, asit göller
Metal etkisine maruz kalma	Depolar, bataklık suları, ahşap boru ve tanklar, sitrik asit

Emprenyeli ağaç malzemedden yıkanan bakır, krom ve arsenik miktarı yağış alan ve sıcak bölgelerde, soğuk ve kuru iklim özelliklerine sahip bölgelere oranla daha fazla olmaktadır. Devamlı yağış alan yerlerde meydana gelen yıkanma kaybı aynı miktarda kısa ve yoğun yağış alan yerlere göre daha fazladır. Suya doymun hale gelmiş toprakla temas halinde kullanılan ağaç malzeme ile belli aralıklarla yağış alan bölgede kullanılan ağaç

malzemeye oranla kimyasal madde kaybı çok daha fazla gerçekleşmektedir (Cooper, 1990).

CCA ile emprenyeli odun örnekleri deniz suyu, musluk suyu, saf su ve hümik asitte ayrı ayrı bekletilerek yıkanma miktarları belirlenmiştir. Deney sonucuna göre en düşük yıkanma oranı musluk suyundan elde edilirken en yüksek yıkanma oranı hümik asitte bekletilen örneklerden elde edilmiştir. Yıkanan bileşenlerin miktarının düşük retensiyondaki örneğe kıyasla yüksek retensiyondaki örnekte daha fazla olduğu görülmüştür (Kartal vd., 2005). CCA ile emprenyeli ahşap çıtalara, nemli toprakla ve bol miktarda yağış alan toprakla 18 ay boyunca denemeye tabi tutulmuş, sürenin sonunda %2-4 oranında CCA'nın odundan yıkandığı tespit edilmiştir (Şen, 2001).

Lebow vd. (2004), yaptıkları çalışmada, ağaç malzeme de toprak üstü şartlarda yağış miktarıyla beraber meydana gelen yıkanma olanaklarını araştırmışlardır. Yağış miktarının odundaki emprenye maddesinin yıkanması üzerine etkisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Yağış miktarının odundaki emprenye maddesinin yıkanması üzerine etkisi (Lebow vd., 2004).

1.3.5. Emprenyenin ve Fiksasyonun Yıkanma Üzerine Etkisi

Ağaç malzemeye uygulanan kimyasal çözücünün tipleri ve oranları yıkanma miktarını etkilemektedir. Bazı emprenye maddelerinin çeşitli formülasyonları mevcuttur. CCA Tip-C endüstride kullanılmadan önce odunun emprenyesinde CCA-A ve CCA-B formülasyonları kullanılmaktaydı. CCA (krom/ bakır/ arsenik) emprenye maddesi CrO_3 ,

CuO ve As₂O₅ bileşiklerinin değişik oranlarda karışımından oluşmaktadır. CCA-A tipi %65.5 CrO₃; %18.1 CuO ve %16.4 As₂O₅; CCA-B tipi %35.3 CrO₃; %19.6 CuO ve %45.1 As₂O₅; ve CCA-C tipi %47.5 CrO₃; %18.5 CuO, ve %34.0 As₂O₅ oranlarındadır. Kullanılan CCA tipine bağlı olarak bakır, krom ve arseniğin yıkanma miktarlarının değiştiği yapılan araştırmalar sonucunda tespit edilmiştir (Cooper, 1990). Bununla birlikte, odundan yıkanan arsenik miktarının CCA-B maddesinde, diğer türlere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür (Lebow,1996). Rak ve Clarke (1974), bakır sülfat (CuSO₄) içeren CCA-C tipi emprenye maddesiyle emprenye edilen örneklerde yıkanan CCA miktarının bakır oksit (CuO) içeren CCA emprenye maddesiyle emprenye edilen örneklere oranla çok daha fazla olduğunu bildirmiştir. Cserjesi (1976) yaptığı çalışmada, CCA-B tipi ve CCA-C tipi maddelerle emprenye ettiği odun örneklerini iki yıl boyunca dış ortamda bırakmış ve iki yılın sonunda CCA-B tipi emprenye maddesiyle emprenye edilen örneklerden yıkanan bakır ve arsenik miktarının, CCA-C tipiyle emprenye edilen örneklere göre 2 kat daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Emprenye işleminde uygulanan basınç periyodunun süresi ve uygulanan son vakumun süresinin de yıkanan CCA miktarını etkilediği bildirilmiştir (Cockroft vd., 1978).

Fiksasyon şartları emprenye işlemi sonrasında meydana gelen yıkanma kayıplarını etkilemektedir. Kimyasal maddelerin oduna fikse olmasını etkileyen pek çok faktör vardır. Ortamın bağıl nemi, süre, sıcaklık, çözelti konsantrasyonu, odun türü bu faktörler arasında sayılmaktadır.

Homan vd. (1993), oda sıcaklığında 14-38 gün süreyle fiksasyonu tamamlamış CCA ile emprenyeli örnekleri yıkanmaya maruz bırakmıştır. Sürenin sonunda 124-2805 mg krom/m³, 56.7-67.5 mg bakır/m³ ve 2.82-27.6 mg arsenik/m³ yıkandığını tespit etmişlerdir. Odun örneklerinin 30-35°C ve %75 bağıl neme sahip ortamda 91 saat süreyle fiksasyona tabii tutulup yıkanmaya maruz bırakıldığı emprenyeli odun örneklerinde 380-471 mg krom/m³, 78.3-91.5 mg bakır/m³ ve 2.46-2.60 mg arsenik/m³ yıkandığı; başka bir çalışmada ise 72°C'de buharla 100-120 dakika süreyle fiksasyona tabii tutulduktan sonra yıkanmaya maruz bırakılan örneklerde 5.49-11.4 mg krom/m³ 36.4-135 mg bakır/m³ ve 2.52-35.6 mg arsenik/m³ yıkanmıştır.

1.3.6. pH, Tuzluluk Derecesi, Sıcaklık, Organik ve İnorganik Bileşiklerin Yıkamaya Etkisi

Yıkama suyu asitliliğinin artması (pH'in düşmesi) ile oduna fikse olan CCA bileşenlerinin çözünürlüğü artmaktadır. Yıkama suyunun pH'ın 3 den daha az olduğu durumda, odun bozunmakta, bunun sonucunda yüksek miktarda bakır, krom ve arsenik odundan yıkanarak uzaklaşmaktadır (Cooper, 1991; Kim ve Kim, 1993). Warner ve Solomon (1990) yapmış olduğu çalışmada sitrik asidin, oduna fikse olan CCA bileşenlerinin suda çözünür hale getirdiğini ve yıkanmasını arttırdığını bildirmişlerdir. Yıkama miktarı, pH'ın 3'ten fazla olduğu durumlarda (3.5-6 arası) daha düşük pH seviyelerinde daha fazla artmaktadır (Cooper, 1991; Cooper, 1994). Ortamın pH' ın 4.5 olduğu durumlarda, bakırın yıkandığını ayrıca pH'ın (Eaton ve Hale, 1993) çok yüksek olduğu alkali ortamlarda yıkanmayı önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir (Lee vd., 1993; Jorge vd.,1999). Murphy ve Dickinson (1990) yaptıkları çalışmada, CCA ile emprenyeli çam odunu örneklerini pH 3 ve pH 5.6 olduğu koşullarında yıkanmaya maruz bırakmışlardır. Elde edilen sonuca göre pH 3' te bakırın %40'ı uzaklaşırken, pH 5.6'da az miktarda yıkama olduğu saptanmıştır.

Sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda yıkama miktarı artmaktadır. Van Eetvelde (1994) yaptığı çalışmada, CCA ile emprenyeli odundan, 20°C de yıkanan bakır, krom ve arsenik miktarının, 8°C de meydana gelen yıkama kaybından fazla olduğunu bulmuşlardır (Lebow, 1999; Hingston, 2001b). Tuzluluk derecesi de yıkama miktarını etkileyen faktörlerdendir. Tuzluluk oranının ‰ 24 'ten az olduğu durumlarda yıkanan bakır miktarı azalmakta iken, ‰ 32 den daha fazla olduğu ortamlarda ise yıkanan miktar artmaktadır. Tuzluluk oranının ‰ 24'ten daha az olduğu ortamda tuzla bakır tepkimeye girerek suda çözünmeyen bakır kristallerini oluşturmaktadır. Bunun sonucunda CCA bileşenlerinin, yıkama kayıplarında azalma olmaktadır (Lebow, 1999).

Organik ve inorganik bileşiklerin de CCA ile emprenyeli ağaç malzemeden yıkanan bakır, krom ve arsenik miktarları üzerinde etkileri bulunmaktadır. Organik topraklarda bulunan fülvik veya hümik asitler yıkanmayı hızlandırdıkları gibi asetik asit, formik asit ve laktik asit de yıkanmayı etkilemektedir (Cooper, 1991). Yapılan çalışmada, CCA ile emprenyeli odun örnekleri laktik ve asetik asitçe zengin ortamda yıkanmaya maruz bırakılmıştır. İki yılın sonunda kromun %50-60'ının, bakırın %20-50'sinin ve arseniğin %75-80'nin yıkandığı tespit edilmiştir (Evans, 1987).

1.4. Hizmet Ömrünü Tamamlamış Atıl Haldeki Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Geri Dönüşümü, Tekrar Değerlendirilmesi veya Yok Edilmesindeki Yönetim Stratejileri

Kullanım ömrünü dolduran emprenyeli malzemelerin bertaraf edilmesi ya da geri kazanılması amacıyla günümüze kadar çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

1.4.1. Atıl Haldeki CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Bertaraf Edilmesi veya Azaltılması

Kullanım sırasındaki ağaç malzemeye yeterli ve uygun emprenye işlemi yaparak, malzemenin kullanım ömrünün arttırılması, çürüme riskinin az olduğu yerlerde uygulanacak emprenye maddesinin miktarının azaltılması ya da daha az zararlı koruyucu madde kullanılması, yerinde bakımının yapılması, açık hava etkilerine, mekanik, kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı tasarım önlemlerinin alınması bu yöntemin kullanılmasında önem kazanmaktadır.

Ağaç malzeme bozunabilen, parçalanması kolay ve yanıcı olabilen bir malzemedir. Bu sebeple, atıl haldeki malzemeyi yok etmek (ortadan kaldırmak), basit bir işlem olmasının yanında düşük maliyetlidir. Emprenyeli malzemenin, kullanıcı tarafından yakılması; yüzey sularına ya da yerleşim yerlerine yakın bölgelerde yeniden kullanılması olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Malzemenin, yüzey işlemi yapılmadan kullanılması durumunda, kullanıcıların eğitilmiş olmasının bu konudaki sorunları azaltmada etkili olacağı tahmin edilmektedir (Morrell, 1999).

1.4.2. Odun Atığının Gömülerek Bertaraf Edilmesi

Toprağa gömme yoluyla odun atığının yok edilmesi, atıl haldeki odundan emprenye maddesinin yıkanmasına ve zehirli karakterli bileşiklerin yer altı sularına ve toprağa geçmesine sebep olmaktadır. CCA ile emprenyeli odundan krom, bakır ve arseniğin bir miktarı yıkanabilmektedir. Atıl odunun depolanması maliyetli bir seçenektir. Bununla birlikte, atıl haldeki malzemeler büyük boyutlu olmakta ve gömülme işlemi için yeterli kapasitede alan gerektirmektedir. Bu problemin önüne geçilmek için önlemler alınmaktadır. Bazı kurumlar atıkların toplanması yoluyla bu materyali dönüştürmek için odun geri dönüşüm programları kullanmışlardır (Alderman ve Smith, 2000; Morrell ve

Lopath, 2000). Avrupa’da ise gömülen üründen fayda sağlanamadığı için bu yöntemin uygulanması tercih edilmediği gibi, 2005 yılından bu yana organik atıklar depolanmamaktadır (Helsen ve Van den Bulck, 2004).

1.4.3. Yeniden Değerlendirilmesi

Atıl hale gelen odunun, büyük boyutlu olması taşıma ve depolama sorununu beraberinde getirmektedir. Bu sebeple, emprenyeli odun parçalanır, talaş ya da yonga haline getirilir. Yeniden değerlendirilen emprenyeli ahşap ürünler, endüstri açısından tercih edilmesine rağmen, mekân içinde kullanımları kısıtlanmıştır. Tel direklerinin çatı malzemesi ya da yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, demiryolu traverslerinin tali demiryolu hatlarında peyzaj uygulamalarında ya da çit direği olarak kullanılması, emprenye edilmiş uç atıklarından konstrüksiyonel amaçla destek malzemesi olarak faydalanılması, atığın değerlendirilme seçenekleri arasındadır (Morrell, 2000).

Emprenyeli atık ahşap malzemenin yeniden değerlendirilmesi hususunda, malzemenin direnç özelliklerini etkileyecek durumların göz önünde olması önem kazanmaktadır. Bahçe kenarlıkları, direk, istinat duvarı, çit olarak değerlendirilmesiyle düşük kalitede odun elde edilmektedir. Ayrıca metal bağlantı elemanları ile reaksiyon vermekte ve sökme maliyetleri yüksek olmaktadır (Helsen ve Van den Bulck, 2004).

Bu sebeple, odunun yeniden kullanımı sırasında uygun yöntemlerin seçilmesi, iyileştirme ve yok etme maliyetlerini azaltarak kurumlara yeniden kullanım imkanı verilmesi gerekmektedir.

1.4.4. Atıl Emprenyeli Odunun Geri Dönüşümü (Recycling)

Atıl hale gelen ağaç malzemenin geri dönüşümü (re-cycle) orman ürünleri sanayisinin önemli bir katmanını oluşturmaktadır. Emprenye edilmiş odun atıklarının yongalanarak kompozit malzeme haline getirilmesi mümkündür (Cooper, 1993b). Fakat odunun, yeniden biçilmesi sırasında oluşabilecek sorunlara benzer sorunlar (kimyasal madde, çürüklük ve metal kontaminasyonu) bu yöntemde de sorun teşkil etmektedir (Vick vd., 1996). Odunun geri dönüşümü esnasında karşılaşılabilecek sorunlar ve bunlara karşılık dikkate alınması gereken hususlar Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Atıl Haldeki CCA ile emprenyeli odunun yeniden değerlendirilmesinde var olan veya ortaya çıkan teknolojiler (Helsen ve Van den Bulck, 2004).

Atıl emprenyeli odunun geri dönüşümü	Engeller (problemler)	Öngörüler
Odun esaslı kompozitler	Kontamine olmuş ve metal içeren odunun kullanım sorunu; odun atığının yok edilmesinden kaçınılmaması, yok edilmesinin ertelenmesi	Piyasada CCA ile emprenyeli odunun kompozit üretiminde kullanımı tercih edilmemektedir; çevresel etkileri ve işçilerin güvenliği açısından sorun oluşturmaktadır.
Çimentolu ahşap yongalevha	Kompozitin sertleşme süresi uzun olduğundan işlemin yavaş olması; Odun içerisinde bulunan CCA bileşenlerinin, kompozit oluşumu sırasında sertleşmeyi geciktirmesi. Cr (VI)'nın açığa çıkması	Yeni kompozit ürünlerin geliştirilmesi için mükemmel bir potansiyel vardır; malzemenin çürümeye dayanıklı odun liflerinin tercih edilmesi; çimento matriksinin içindeki metallerin kararlılığı; ürünün eğilme direncinin, sertliğinin, yapışma gücünün, su absorplama özelliğinin geliştirilmesi gerekmektedir.
Ahşap esaslı polimer kompozitler	İşlem sırasında yıkanması, geri dönüştürülmesi, çürüğe karşı dayanıklılığı, emisyonu ve fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkisinin değerlendirilmesi	Çürümeye dayanıklı odun liflerini içermesinden fayda sağlanması; düşük maliyet ve ağırlık oranına göre yüksek dayanımlı oluşuna dikkat edilmelidir.

Tablo 5'in devamı

Atıl emprenyeli odunun geri dönüşümü	Engeller (problemler)	Öngörüler
Isıyla sertleşen tutkalla kompozit ve yongalevha üretimi	Karar vermede çürüme tehlikesi düşük olduğundan CCA ile emprenyeli odunun kullanımı pek mantıklı değildir. Bu durumda CCA parçalarının miktarının ve dağılımının teşhisi gereklidir; %50 oranında CCA'lı odunun ilave edilmesi levhanın özelliklerini önemli ölçüde etkilemez.	İspat edilmemiş ve yakın gelecekte önemli bir faktör haline gelmesi olası değil
Yaş halde üretilen liflevha ve MDF	Karar vermede çürüme tehlikesi düşük olduğundan CCA ile emprenyeli odunun kullanımı pek mantıklı değildir. CCA ile emprenyeli odunun kullanımı sanayi suyunun temizlenmesini güçleştirir.	İspat edilmemiş ve yakın gelecekte önemli bir faktör haline gelmesi olası değil
Dış yongalevha ürünleri ve OSB	OSB yüksek kalitede odun parçalarından elde edilmektedir; CCA'nın varlığı OSB'nin özelliklerini önemli ölçüde azaltır; ancak, tutkalın karıştırılıp püskürtülmesinden önce odun parçalarının serilmesi, yongalevhanın mekanik ve fiziksel özelliklerini arttırmaktadır.	Ekonomik bakımdan uygulanabilir değil

Emprenyeli malzemenin yeniden değerlendirilmesini ve üretilen kompozit malzemelerin direnç özelliklerini ve tutkalla ilişkisini ele alan çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Vick ve Kuster (1992), yapmış oldukları çalışmada CCA ile emprenyeli yongalardan ürettikleri levhayı fiziksel ve mekanik testlerden geçirmişlerdir. Test sonuçlarına göre emprenyesiz yonga levhanın fiziksel ve mekanik direncinin daha fazla olduğu bulunmuştur. Hücre lümenini dolduran CCA emprenye maddesinin, yapıştırıcının yüzeye tutunmasını engellediği ve bu durumun da üretilen levhanın direncini düşürdüğü ifade edilmiştir. Yeniden yapılandırma işlemi için çimentolu yonga levha yapımının olanakları araştırılmıştır. Huang ve Cooper (2000), bu yöntemi kullanarak hizmet ömrünü doldurmuş CCA emprenyeli odunlardan hazırlanan çimentolu yonga levhanın mekanik direnç özelliklerini tespit etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, çimentolu yonga levhaların, işlem görmemiş levhalara göre eğilme direnci, çekme direnci, şok direnci, elastikiyet modülü ve su absorplama değerlerinde artış gösterdiği saptanmıştır. Bunun yanında üretilen levhanın kromun yıkanmasını engelleyemediği, buna karşılık bakır ve

arseniğin yıkanmasını engellediği bildirilmiştir. Vick ve Christiansen (1993), CCA ile emprenyeli ağaç malzemelerde yapışma direncini olumsuz etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Yapılan çalışmada CCA ile emprenyeli güney çamı (*Pinus spp.*) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hücre lümenlerinde CCA'nın varlığının fiziksel olarak yapışmayı olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bir diğer çalışmalarında ise CCA ile emprenyeli güney çamının (*Pinus spp.*) tutkalla yapışma direncinin artırılması olanakları üzerinde durulmuştur. Melamin-üre ve melamin tutkallarının yapışma direncini arttırmak için hidroksilmetil resorsinol ilave edilmiş ve levhanın yapışma direncinin ve mekanik direncinin arttığı bildirilmiştir. Vick (1997), emprenyeli yongalar ve termoset tutkallar kullanılarak üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar sonucunda fenolik tutkalların odun bileşenleri ile reaksiyona girmesini, hücre çeperinde bulunan metal iyonlarının engellediğini saptamıştır. Jiang ve Kamdem (2007), bakır esaslı emprenye maddelerinin sarıçam örneği üzerinde, fenol formaldehit tutkalıyla ilişkisini araştırmışlardır. Emprenyeli sarıçam örneklerinden üretilen OSB ve kontrplak için fenol formaldehit kullanılmıştır. Emprenyeli sarıçam örneklerinden (CCA, bakır-azol, alkali bakır quat) elde edilen OSB'nin yüzey ve iç tarafında, fenolformaldehit tutkalının sertleşme sıcaklığı ve süresinin emprenyesiz sarıçam örneğine kıyasla arttığı saptanmıştır. Kontrplak reçinesinin sertleşmesi, emprenyesiz sarıçam örneklerinde hızlı gerçekleşmesine karşılık, bakır içeren emprenyeli sarıçam örneklerinde bu artış önemsiz kabul edilmiştir. CCA ile emprenyeli sarıçam örneklerinin diğer bakır esaslı örneklere kıyasla kontrplak reçinesinin tutunmasını engellediği tespit edilmiştir. Linda vd. (2005), CCA, ACQ (alkali bakır quat) ve CA-B (bakır-azol) ile emprenyeli sarıçam örneklerinin tutkal, üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bakır azol ve alkali bakır quat emprenyeli sarıçam örneklerinde tutkal CCA ile emprenyeli ve emprenyesiz örneklere kıyasla daha hızlı reaksiyon vermiştir. Fenolformaldehit reçinesinin emprenyeli sarıçam odununa penetrasyonu etkili olmamıştır. Hidroksilmetil resorsinol primer (HMR) maddesinin penetrasyonu emprenyesiz odunda daha iyi olmaktadır. HMR kullanımı, fenolformaldehit tutkalı ile üretilmiş emprenyeli malzemenin tabakalarına ayrılmasını azaltmıştır.

1.4.5. Yeniden Biçilmesi

Atıl hale gelen tel direklerinin veya kerestelerin biçilmek suretiyle değerlendirilmesi kolay bir işlem olmasına rağmen, emprenyeli olmaları pazar bulmalarını güçleştirmektedir (Roliadi vd., 2000; King ve Lewis, 2000). Hizmet ömrünü tamamlamış büyük boyutlu emprenyeli malzemelerin biçilme yerine taşınması, yeniden biçilmesi ve ortadan kaldırılması sorun oluşturmaktadır. Malzemede metal birleştiriciler (aksanlar) varsa biçme esnasında sorun yaratabilmekte, öncesinde çıkarılması daha uygun görülmektedir. Ayrıca, boyutsal özelliklere sahip olan CCA ile emprenyeli odunu yeniden biçip boyutlandırmak mantıklı değildir. Açık hava etkisine maruz kalan odunu planyalamak yoluyla bozunmuş parçaları odundan uzaklaştırmak, ahşap malzemenin enine kesitini azaltmakta ve odun atığı meydana getirmektedir. Yan ürünlerin yeniden biçilmesi bu çalışmaların var olduğu yerlerde sorun olarak gözükmese de fazladan maliyet yüklemektedir (Morrell, 2004).

1.4.6. Atıl Haldeki CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemenin Remidasyonu

Remidasyon, servisten kaldırılan ağaç malzeme içerisinde bulunan krom, bakır ve arseniğin temizlenerek uzaklaştırılması ve çevreye verdiği zararı azaltmak amacıyla uygulanan işlemdir. Bu işlemler farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir.

1.4.6.1. Biyoremidasyon

Mikroorganizmalar aracılığıyla atıl haldeki ağaç malzeme içinde bulunan zararlı bileşenler degrade edilerek ya da çözülerek uzaklaştırılmaktadır (Dua vd., 2002; Glazer ve Nikaido, 1995). Bu yöntemin olumlu yanı ağaç malzemenin liflerinin zarar görmemesidir; buna karşılık teknik olarak uygulanabilir olan bu yöntem verimli değildir. İşlemin en iyi sonucu vermesi için çift remidasyon uygulanmaktadır. Bununla beraber, besin kültür ortamının maliyetli oluşu yöntemin olumsuz özelliği olarak gösterilmektedir (Helsen ve Van den Bulck, 2004).

Yang ve Illman (1999), çalışmalarında, bakıra karşı toleranslı odun zararlısı *Meruliporia incrassata* mantarına maruz bırakılan CCA ile emprenye edilmiş odun örneklerinin toprak esaslı çürüklük testinin sonucuna göre bu mantarın, %40'lık ağırlık kaybına sebep olduğu bildirilmiştir.

Clausen (1999), CCA emprenyeli oduna çift remidasyon işlemi uygulayarak bakır krom arseniğin odundan uzaklaştırılması üzerine çalışmıştır. Odun örneklerini %0,1'lik oksalik asitte 18 saat beklettikten sonra *Bacillus licheniformis* bakterisine maruz bırakarak sonuçları analiz etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kromun %78'i, bakırın % 97'si ve arseniğin %93'ü uzaklaştırılmıştır.

Illman vd (2010), *Meruliporia incrassata* ve *Antrodia radiculosa* mantarlarının ikisinin de hem CCA emprenye maddesine karşı en yüksek toleransı gösterdiğini hem de en yüksek kapasitede CCA ile emprenyeli odunu degrade edebildiklerinden bahsetmişlerdir. Mikroremidasyon teknolojisini geliştirmek amacıyla bu mantar türlerinden faydalanmışlardır. Bu teknoloji sayesinde daha iyi mantar türlerinin gelişiminin sağlanabilme ihtimalinden bahsedilmiştir.

1.4.6.2. Kimyasal Remidasyon

Kimyasal asitler ve oksit maddeler yardımıyla gerçekleşen kimyasal remidasyon metallerin çözünürlüğünü arttırarak zehirli metallerin emprenyeli ağaç malzemedan uzaklaşmasını sağlamaktadır. CCA'nın odundan uzaklaştırılması için aşamalı remidasyon uygulamak gerekmektedir. Bu yöntemle metaller odundan uzaklaştırılmakta ve yeniden okside edilmektedir. Bu yolla saf CCA çözültisi elde edilebilmektedir (Helsen ve Van den Bulck, 2004). Kimyasal ekstraksiyon öncesinde emprenyeli ağaç malzeme parçalanarak talaş haline getirilmekte ve farklı sıcaklıklarda kimyasallarla ekstrakte edilmektedir. Bu işlem için oksalik, sitrik, formik, nitrik, sülfürik ve asetik asit gibi değişik kimyasal maddeler çözücü olarak kullanılmaktadır (Clausen, 2003).

1.4.6.2.1. Çözücüler Kullanılarak Yapılan Kimyasal Remidasyon

Emprenyeli ağaç malzemedan, oduna fikse olan kimyasal maddeleri uzaklaştırmak için uygulanan kimyasal ekstraksiyonu etkileyen etkenler vardır. Odunun parça boyutu, kimyasal ekstraksiyonun konsantrasyonu, pH, sıcaklık, ekstraksiyon süresi ve reaksiyon sırasında mekanik karıştırma yöntemi bu faktörler arasında sayılmaktadır. Yapılan pek çok çalışmada, CCA bileşenlerini odundan uzaklaştırmak amacıyla asit ekstraksiyonundan faydalanılmıştır. Bunlar arasında en çok tercih edilen sülfürik veya nitrik asit ve amonyaktır (Honda vd. 1991; Kim ve Kim, 1993).

%10 sodyum hidroksit konsantrasyonu ile CCA'nın alkali ekstraksiyonu sonucunda emprenyeli odun örneklerinden bakırın %33'ü, kromun %18'i ve arseniğin %91'i uzaklaştırılmıştır (Kazi ve Cooper 1998). CCA ile emprenyeli örneklerin %10'luk hidrojen peroksit ile çözeltileri hazırlanmış ve 50°C'de 6 saat boyunca remidasyona maruz bırakılmış, %94-98 arasında krom, bakır ve arsenik örneklerden uzaklaştırılmıştır (Kazi ve Cooper, 1999).

Kamdem vd. (1998), sitrik asit ve şelatçı ajanlar kullanarak gerçekleştirdikleri kimyasal ekstraksiyon sonucunda CCA bileşenlerinin yaklaşık olarak %95'ini odundan uzaklaştırmışlardır.

Kartal (2002) çalışmasında, bakır, krom, arseniğin CCA ile emprenyeli odundan uzaklaştırılmasında etilendiamintetrasetik asit (EDTA)'dan faydalanmıştır. Çalışmada odun yongaları ve 40 mesh'lik odun tozları kullanılmış ve iki tip örnek boyutu için farklı EDTA konsantrasyonları hazırlanmıştır. Örneklerin değişik zamanlarda, oda sıcaklığında bekletilmesiyle deney gerçekleştirilmiştir. Örnek boyutları 40 mesh olan odun talaşlarının, %1'lik EDTA çözeltisinde 24 saat bekletilmesiyle en iyi sonuca ulaşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, bakırın %93'ü, kromun %36'sı ve arseniğin %38'i uzaklaştırılmıştır.

Solo Gabriele vd. (2002), CCA elementinin odundan uzaklaştırılmasının tamamlanması için en uygun çözücünün 0.25 N sülfürik asit olduğu ve uygun sıcaklık aralığının 90-100°C olduğunu tespit etmişlerdir (Kanjo ve Kimoto, 1994). Fosforik asidin, emprenyeli odun külünde bulunan zararlı metallerin geri dönüşümünde kullanılacak en etkili çözücülerden biri olduğu belirtilmiştir

Kartal ve Köse (2003), CCA-C ile emprenye edilmiş odundaki bakır, krom, arseniğin uzaklaştırılmasında yaygın şelat (chealate) oluşturan maddelerden olan (EDTA) (etilendiamintetraasetik asit) , NTA (nitriлотriasetik asit) ve oksalik asit (OA)'in etkisini incelemişlerdir. Tekrarlı yıkanma işleminde EDTA ve NTA ile birlikte OA kullanılarak emprenyeli odun yonga ve talaşlardan metal oksitlerinin uzaklaştırılması toplu halde yıkanma deneyi ile gerçekleştirilmiştir. CCA-C bileşenlerini uzaklaştırmada, odun boyutunun etkisinin belirlenmesinde, 40 mesh'lik odun talaşından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çift (tekrarlı) remidasyon işlemindeki, EDTA/OA ve NTA/OA ekstraksiyonları sonucunda emprenyeli odun talaşından (40 mesh) bakırın ve arseniğin %100'ü, kromun %90'ı uzaklaştırılırken, odun yongalarından bakırın ve arseniğin %80'i ve kromun %70'i uzaklaştırılmıştır.

Kazi ve Cooper (2004), CCA bileşenlerini odundan okside ederek, yeniden kullanılabilir hale getirilmesini etkileyen faktörler üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda %10'luk hidrojen peroksit ile 50°C'de 6 saat muamele görmüş odundan kromun % 95'i, bakırın %94'ü, arseniğin %98'i uzaklaştırılmıştır. Elde edilen okside bileşenler, saf haldeki CCA çözeltisi ile farklı oranlarda karıştırıldığında, elde edilen karışık CCA-C, diğer saf haldeki CCA ile hem benzer nitelikte olup hem de suda çözünme oranının benzer özellik taşıdığı tespit edilmiştir.

Humar vd. (2004), emprenyeli odundan bakır ve kromun kimyasal ekstraksiyon işlemiyle uzaklaştırılmaya olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma için, asetik asit, oksalik asit ve amonyak kullanılmıştır. Oksalik asitle en yüksek miktarda krom uzaklaştırılmıştır. Krom suda çözünen oksalata dönüşmüştür. Oksalik asit ve amonyanın beraber ekstrakte edilmesiyle yüksek miktarda bakır uzaklaştırılmıştır.

Kartal ve Imamura (2004), kitin ve kitosan kullanarak, CCA emprenyeli odundan krom, bakır ve arseniği uzaklaştırmanın imkânlarını araştırmışlardır. Emprenyeli odun tozları farklı zamanlarda (1, 5, 10 gün) ve farklı miktarlarda hazırlanan kitin ve kitosan (%0.5, %2.5) çözeltilerine maruz bırakıldığında, yıkanma miktarının sadece saf suda bekletilen odun tozundaki yıkanma miktarına kıyasla daha fazla olduğu açıklanmıştır. Konsantrasyonu %2.5 olan kitin çözeltisinde 10 gün bekletilen örneklerde kromun %74'ü, bakırın %62'si, arseniğin % 63'ü odundan uzaklaştırılmıştır. Bunun yanında aynı şartlarda hazırlanan kitosan çözeltisiyle elde edilen değerler daha düşük olmakla beraber kromun %57'si, bakırın %43'ü, arseniğin %30'u uzaklaştırılmıştır.

Gezer vd. (2005), yapmış olduğu çalışmada, farklı boyutta hazırlanmış CCA emprenyeli sarıçam odun örnekleri kullanılmış, farklı pH dereceleri ayarlanarak belirlenen günlere göre örneklerdeki krom, bakır ve arseniğin oleik asit ekstraksiyonu ile uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. pH'ın, örnek boyutlarının ve ekstraksiyon (remidasyon) süresinin CCA ile emprenyeli örneklerin remidasyonu üzerine etkisi tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, metallerin uzaklaştırılmasında oleik asit etkili bulunmuş ve düşük pH (pH = 2.0-2.5) derecelerinin remidasyon için daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Moghaddam vd. (2007), CCA ile emprenyeli odundaki bakır, krom ve arseniğin yıkanmasını etkileyen faktörler göz önüne alınarak deneylerini tamamlamışlardır. Çalışmada sülfürik asit, nitrik asit ve asetik asit kullanılmıştır. Sülfürik asidin (pH 3) nitrik asit ve asetik aside (pH 3-5) kıyasla 15 günün sonunda daha etkili olduğu saptanmıştır. Yıkanmanın en çok etkili ve hızlı olduğu zaman ilk 5 gün iken, sonraki 5

günde etkisinde azalma görülmüştür. Sıcaklık artışıyla yıkanan metal miktarının arttığı bildirilmiştir. Sıcaklık uygulayarak asetik aside (pH 5) maruz bırakılan örneklerden elde edilen sonuçların, sıcaklık uygulamaksızın sülfürik aside maruz bırakılan örneklere kıyasla daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Sabo vd. (2008), CCA ile emprenyeli ladin örneklerinden krom, bakır ve arseniğin uzaklaştırılmasında sodyum hidroksit ve oksalik asit kullanmışlardır. Çalışmada sıcaklığın pH seviyesinin, katı-sıvı oranının, kimyasal maddelerin birlikte kullanımının metalleri uzaklaştırma üzerine etkisi araştırılmıştır. Oksalik asit yalnız başına arsenik ve kromu uzaklaştırmada etkili iken, oksalik asit ve sodyum hidroksitin beraber kullanılması, bakır uzaklaştırmada daha olumlu sonuçlar vermiştir. Oksalik asitte 1 saat boyunca maruz bırakılan örneklerin sonraki saatte, sodyum hidroksit (pH 3) ile muamele edilmesiyle kromun %99'u, bakırın %96'sı ve arseniğin %92'sinin yıkanarak uzaklaştığı tespit edilmiştir.

Hun Ko vd. (2010), şelatçı (chelate) madde olan S,S etilendiamindisüksinik asit (SS-EDDS) ve nitrilotriaasetik asidin (NTA) alternatif olarak kullanımını ve etkilerinin etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ile kıyaslanması üzerine çalışmışlardır. Çeşitli pH seviyelerinde ayarlanan remidasyon çözeltilerinin, CCA ile emprenyeli odun örneklerinden bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılmasındaki pH ve kimyasalların etkisi tespit edilmiştir. pH seviyesinin 4.0 olduğu ve EDDS ile hazırlanan CCA çözelti konsantrasyonunun 10:1 oranda hazırlandığı şekilde elde edilen sonuçlara göre kromun %35.4'u, bakırın %22.5'u, arseniğin % 19.3'u CCA ile emprenyeli odundan uzaklaştırılmıştır.

Gezer ve Cooper (2009), kullanım ömrünü tamamlamış CCA ile emprenyeli odun örneklerinden bakır krom ve arseniği uzaklaştırmak için remidasyon süresinin, sıcaklığın etkisini ve sodyum hipoklorit konsantrasyonunun krom oksidasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Oda sıcaklığında bir saat boyunca sodyum hipokloritte bekletilen örneklerin sıcaklığı 75°C ye çıkartılmıştır. Sodyum hipokloritte 2 saat süreyle remidasyona maruz bırakılan örneklerden kromun %95'i, bakırın% 99 'u, arseniğin %96'sı uzaklaştırılmıştır.

Alvarez (2009), bakır krom arsenik (CCA) ve asit bakır krom (ACC) ile emprenyeli odunu, bakıra toleranslı esmer çürüklük mantarına maruz bırakarak, mantarın odundaki metal oksitleri uzaklaştırmadaki etkisini saptamışlardır. Sitrik asidin bakır ekstraksiyonunda etkileri daha önceki çalışmalarda saptanmıştır. Buna dayanarak yapılan araştırmada, sitrik asit ekstraksiyonundan (pH 3.10, 30 mM = 10 mg/l odun tam kuru

ağırlık) sonra 28 gün boyunca mantara maruz bırakılan örneklerde bakırın %87'si kromun %80'i ve arseniğin %100'ü uzaklaştırılmıştır.

Janin vd. (2009), CCA ile emprenyeli odundan bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmak için ekonomik olan kimyasal uzaklaştırma yöntemini değerlendirmişlerdir. Konsantrasyon miktarı ve kimyasalın cinsi, odun boyutu reaksiyon zamanı, sıcaklık, katı-sıvı oranı optimum hale getirilmiştir. Hem ucuz hem de etkili olduğundan sülfürik asit tercih edilirken, optimum remidasyon için 75°C, 0.2N H₂SO₄, 150 gr L⁻¹ odun örneği kullanılmıştır. Her biri 2 saatte gerçekleşen üç yıkanma basamağı sonucunda, bakır ve arseniğin %99'u, kromun %91'i odundan uzaklaştırması, kimyasal reaksiyonun uygulanması ve sülfürik asidin kullanımı açısından, CCA ile emprenyeli odunun atık yönetimi için ümit verici bir seçenek olduğu belirtilmiştir.

1.4.6.2.2. Mikroorganizma ve Kimyasal Çözücülerin Kombinasyonu ile Uzaklaştırma

Yapılan bazı çalışmalarda, hizmetten alınan emprenyeli odundan kimyasal ekstraksiyon yoluyla emprenye maddesinin uzaklaştırılması, bakteri, mantar fermantasyonu ve buhar banyosu ile beraber kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların sonucunda, küçük boyutlu odun parçalarından genellikle daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir. Ekstraksiyonda odun yongaları genellikle oksalik asit ve *Bacillus licheniformis* CC01 bakterisi ile işleme tabi tutulmaktadır (Clausen 1998).

Yapılan çalışmalarda odunları ekstrakte etmeden önce ön işlem olarak uygulanan buhar banyosunun kimyasal bileşenlerin uzaklaştırılmasında etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Buharlama işlemi ekstrakte odundan CCA'nın bir miktarını uzaklaştırabilmekte ve uygulanması ekonomik olmayan bir yöntem olmaktadır. Shaiu vd. (1998), CCA emprenyeli oduna kimyasal ekstraksiyon ve buhar banyosunun odundaki bakır, krom ve arseniğin yıkanmasındaki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada asetik, sitrik ve sülfürik asit kullanılmıştır. Sitrik asidin bu çalışma kapsamında kullanılan kimyasallar içinde bakır, krom ve arseniğin CCA ile emprenyeli odun örneklerinden uzaklaştırılmasında en iyi sonucu verdiği bildirilmiştir. Buhar banyosunun kimyasal bileşenlerin uzaklaşmasında etkili olmadığı saptanmıştır.

Clausen ve Smith (1998), asit ekstraksiyonu, buhar banyosu ve bakteri fermantasyonundan faydalanarak CCA ile emprenyeli odundaki bakır, krom ve arseniğin

uzaklaştırılmasındaki etkileri araştırmışlardır. Deneyde asit olarak oksalik asit, bakteri türü olarak *Bacillus licheniformis* kullanılmıştır. Sonuçlara göre; bakır en kolay uzaklaştırılırken, kromun işlemler esnasında zor uzaklaştırıldığı belirtilmiştir. Sadece buhar uygulandığında ya da buharlamadan sonra uygulanan asit ekstraksiyonunun uzaklaştırmada etkili olmadığı saptanmıştır. Asit ekstraksiyonu ile bakteri fermantasyonunun bir arada kullanıldığı remidasyon işlemiyle bakırın %90'ı, kromun %80'i ve arseniğin %100'ü uzaklaştırılarak en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Clausen vd. (2000), CCA empenyeli yongalar *Bacillus licheniformis* bakterisine ve oksalik asit ekstraksiyonu işlemine maruz bıraktıktan sonra, %10'luk fenolformaldehit tutkalını yongalevha üretiminde kullanmak üzere hazırlamışlardır. Hazırlanan yonga levhanın mekanik ve fiziksel özellikleri analiz edilmiştir. Remidasyona uğramamış yonga örneklerine elde edilen yonga levhalara göre eğilme direncinde %8 artış gözlenirken, çekme direncinde %24 azalış gözlemlenmiştir. Kalınlık artışı ve su absorpsiyonunda %14-15 oranında artış olduğu görülmüştür.

Kartal ve Clausen (2001), *Bacillus licheniformis* fermantasyonu ve oksalik asit ekstraksiyonuna maruz bırakılan yongalardan bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmışlardır. Remide edilmiş odun yongalarından yapılan yongalevhanın mantar çürüklük dayanımı incelenmiştir. Oksalik asit ekstraksiyonu ve bioremidasyon işlemi odunun kimyasal yapısını etkilemiş, empenyeli odun yongalarının yıkanmasını arttırmıştır. Mantar tahribatına maruz bırakılan yongalevhanın test sonuçları, CCA ile empenyeli örneklerin mantar tahribine karşı yongalevhadan daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Odun parçalarına uygulanan kimyasal ekstraksiyonlar sonrasında hazırlanan kompozitlerin mekanik direnç özelliklerinde azalma görülmüştür. Buna rağmen empenyeli odunun biyoremidasyonunun, odunu yeniden değerlendirebilme konusunda güvenilir bir yöntem olduğu açıklanmıştır.

Kartal vd. (2003), CCA'lı empenyeli odununun biyoremidasyonu ve oksalik asit oluşumunu gerçekleştirmek için *Fomitopsis palustris*, *Coniophora puteana* ve *Laetiporus sulphureus* esmer çürüklük mantarlarını kullanmışlardır. Mantarlar ilk olarak oksalik asit üretimi amacıyla besin ortamında fermantasyona bırakılmışlardır. 10 günlük fermantasyon periyodu sonunda oluşan, mantarlar tarafından salgılanan oksalik asitle ağır metaller yıkanmış, CCA biyoremidasyonu tamamlanmıştır. *F. palustris* ve *L. sulphureus* mantarlarının, *C. puteana* mantarına kıyasla daha yüksek miktarda oksalik asit ürettikleri tespit edilmiştir. 10 günlük süreç sonunda, CCA'lı odun örnekleri incelendiğinde *L.*

sulphureus ve *F. palustris* mantarları sırasıyla arseniğin %100'ü ve %85'ini uzaklaştırırken, *C. puteana* mantarına maruz bırakılan örneklerde ise arseniğin sadece %18'inin uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu durum krom için de aynı sonucu vermiştir. Mantar tarafından salgılanan oksalik asit ile ortamın asitliği artmış ve bu durumun metallerin çözünürlüğünü arttırdığı belirtilmiştir.

Clausen (2003), yaptığı çalışmada, metale tolerans gösteren *Bacillus licheniformis* bakterisini kullanarak %70-100 oranında krom, bakır ve arseniği CCA ile emprenyeli sarıçam odunundan uzaklaştırmıştır. Remidasyon işlemi oksalik asit ve bakteri kültür ortamını içeren iki aşamadan oluşmuştur. Hazırlanan bakteri besi ortamının yüksek maliyetli oluşu, optimum koşulları araştırmaya yöneltmiştir. Tekrarlanan çalışmada bakteri besi ortamına alternatif olarak arpa tercih edilmiş, CCA ile emprenye edilmiş sarıçamdan ağır metaller hazırlanan sıvı besi ortamında uzaklaştırılmıştır. Bunun yanında, kıyaslamak için bakteri besi ortamı olmadan gerçekleştirilen deneyin analiz sonuçları oldukça düşük çıkmıştır. Oksalik asit ekstraksiyonu ve sıvı bakteri ortamına maruz bırakılan odun örneklerinden kromun %21'i, bakırın %54'ü ve arseniğin %63'ü uzaklaştırılmasına rağmen, metalleri uzaklaştırmada etkili bir yol gibi görünse de yüksek maliyetli olduğu saptanmıştır.

1.4.6.2.3. Hidrotermal İşlem ve Süperkritik Sıvılarla Ekstraksiyon ve Transformasyon

Gazlar kritik sıcaklıklarının üzerinde ısıtılmak ve basınç uygulamak yoluyla süper kritik faz adı verilen dördüncü bir faza geçmektedir. Uygulanan sıcaklığın üzerinde ne kadar basınç uygulanırsa uygulansın sıvılaştıramayacağı (buhar ve sıvı faz dengede) maksimum sıcaklığa kritik sıcaklık (T_c), bu sıcaklıktaki basınca da kritik basınç (P_c) denilmektedir. Sıvı ve gaz evrelerin aynı özellikleri aldığı noktaya "Kritik nokta", bu nokta üzerindeki bölge de "Süperkritik bölge" olarak adlandırılmaktadır.

Emprenyeli odun atığından toksik maddeleri uzaklaştırmak amacıyla süperkritik sıvılar kullanılmakta; bunun yanında çalışmaların çoğu süperkritik CO_2 kullanılarak yapılmaktadır. Karbondioksitin, kritik sıcaklığı $31^\circ C$ ve kritik basıncı 7,38 MPa'dır. Süperkritik CO_2 içinde bir maddenin çözünürlüğü yardımcı çözücülerin ilavesiyle artırılmaktadır. Çözünürlüğü arttırmak amacıyla aseton, metanol ve etanol gibi bileşikler kullanılmaktadır. Etkili süperkritik sıvı ekstraksiyonu tekniğinde (SFE), metal

ekstraksiyonunun etkili şekilde gerçekleşmesinde ligand seçimi önem kazanmaktadır. Ticari uygulama alanları için, seçilen ligandın pahalı ve zehirli olmaması, elde edilmesinin kolay olması gerekmektedir. Şelatçı maddenin kararlı ve çözülebilir olması, metal şelatın çözülebilir olması, sıcaklık ve basınç, su ve pH, emprenye maddesinin türü ve matriks süperkritik sıvı ekstraksiyonu için kontrol parametrelerini oluşturmaktadır (Wai, 1997).

Takeshita vd. (1999), CCA ile emprenyeli atık odunun CO₂ ile çözünürlüğünü arttırmak için asetilaseton ilavesiyle bakırın %71'ini uzaklaştırmışlardır. Buna ilaveten yapılan bir çalışmada, 14.7 MPa basınç ve 423.2 K (150.2°C) sıcaklık altında bakırın %84.9'u uzaklaştırılmıştır (Takeshita vd., 2000).

Atıl haldeki CCA ile emprenyeli odundan bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmak amacıyla CO₂ ile beraber farklı şelatçı maddeler kullanılmış, en iyi sonuç organofosforus Cyanex 302 (en iyi ligand) kullanılmasıyla elde edilmiştir. Araştırmanın sonucunda 24 MPa basınç ve 333K (60°C) sıcaklık uygulanmış ve sırasıyla bakırın % 63.5'u, kromun % 28.6'sı ve arseniğin % 31.3'ü emprenyeli odundan uzaklaştırılmıştır (Fatah vd.,2004).

Catallo vd. (2004), son çalışmalarında uygulanan süperkritik işlem sırasında, odun parçalarını pH şartlarına ve emprenye maddesine bakılmaksızın sıvı ve gaz hidrokarbon karışımlarına dönüştürmüşlerdir. CCA ile emprenyeli odun konusunda, metaller, reaktör duvarlarında toplanan bazı metal kalıntılarla sıvı fazda geri dönüştürülmüş ve hidrokarbon fazında az bir miktar dağılmıştır. Odundaki toplam konsantrasyona karşı, iki sıvı fazda hidrokarbonun %1,3'ü, arseniğin %69'u, sıvı halde hidrokarbonun %1'inden daha azı geri dönüştürülmüştür. Penta odun, deklorlama ve başka reaksiyonlara maruz kalan klorlu fenollerle benzer hidrokarbon karışımlar sağlamıştır.

1.4.6.2.4. Odunun Sıvılaştırılması

Hizmet ömrünü tamamlamış CCA ile emprenyeli odundaki kimyasalı uzaklaştırmak için odunun sıvılaştırma teknolojisi geliştirilmiştir (Lin ve Hse, 2002). Organik çözücü varlığında 120-250°C'de katalizör olarak asit kullanılmakta ve odun sıvılaştırılmaktadır (Shiraishi, 1989). Sıvılaştırma sürecinde, lignoselülozlar parçalanır ve çözücülerle reaksiyona girer, artan sıcaklıkla, fenollerin varlığında ligninin sıvılaşması katalizöre ihtiyaç duymadan (Lin ve Yoshioka, 1997) veya asit katalizörleri yardımıyla açığa çıkmaktadır (Lin ve Yao, 200).

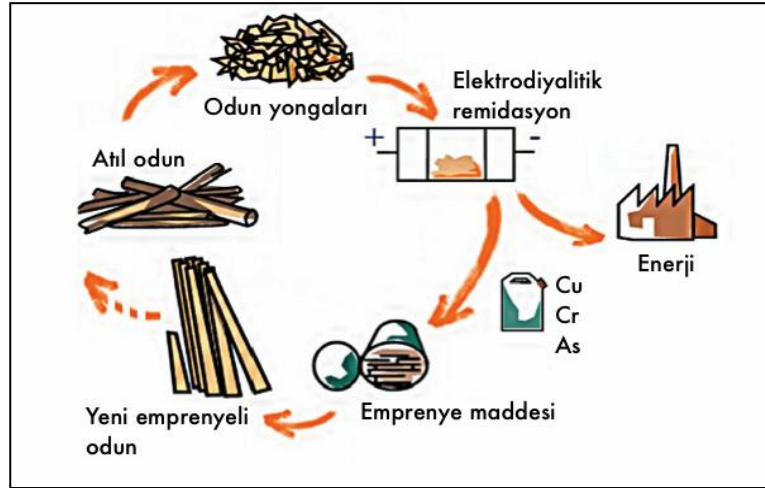
Sıvılaştırma çok basamaklı iyileştirme işlemi olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemde CCA ile işlem görmüş ağaç malzeme sülfürik asit içerisinde polietilen glikol, gliserin ve sıcaklıkla birlikte sıvı hale getirilmektedir. Sıvılaştırma işlemi sonucu ortaya çıkan sıvı, poliüretan içeren malzemelerin yapımında kullanılmaktadır. Odunun sıvılaştırılması sırasında, ortamda demirin varlığı, bakırın uzaklaştırılmasında etkili bulunmuş bununla beraber organik asit ve fosforik asit bağları, bakır-şelat bağlarını ve çözülebilir bakır sülfatı parçalamış ve CCA emprenyeli odundan bakır hızlı bir şekilde uzaklaştırılmıştır (Clausen, 2003).

Yapılan bir araştırma sonucunda emprenyeli odun sıvılaştırma şartları altında sıvılaştırıldığında emprenyesiz odun haline dönüşebilmektedir (Shiraishi ve Hse, 2000) Sıvılaştırma esnasında $FeSO_4$ varlığı atıl haldeki CCA ile emprenyeli odundaki, CCA bileşenlerinin uzaklaştırılmasını arttırmaktadır. Başka bir araştırma sonucunda emprenyeli odundan bakırın % 99.8'i, kromun %98.3'ü ve arseniğin %99.6'sı uzaklaştırılmış ve bu yöntemin uygulanabilir olduğu ispatlanmıştır (Lin ve Hse, 2003; Lin ve Hse, 2005).

Odunun sıvılaştırılması, kapalı geri dönüşüm sistemi dâhilinde gerçekleştiğinden çevre dostu gelişmelerden sayılmaktadır. Ayrıca çoklu üretim yaklaşımıyla, ekonomik uygulanabilirliğini arttırmak için diğer geri dönüşüm tesisleriyle entegre kolaylığı sağlamaktadır. Sıvılaştırma sistemindeki geri dönüşümün entegre edilmesiyle, hem zararlı atık probleminin önüne geçilir, hem de sıvılaştırılmış odundan, kompozit ürünlerde kullanmak üzere alternatif tutkal formülasyonu elde edilebileceği belirtilmiştir (Lin ve Hse, 2005).

1.4.7. Elektrodiyalitik Yöntem ile Uzaklaştırma

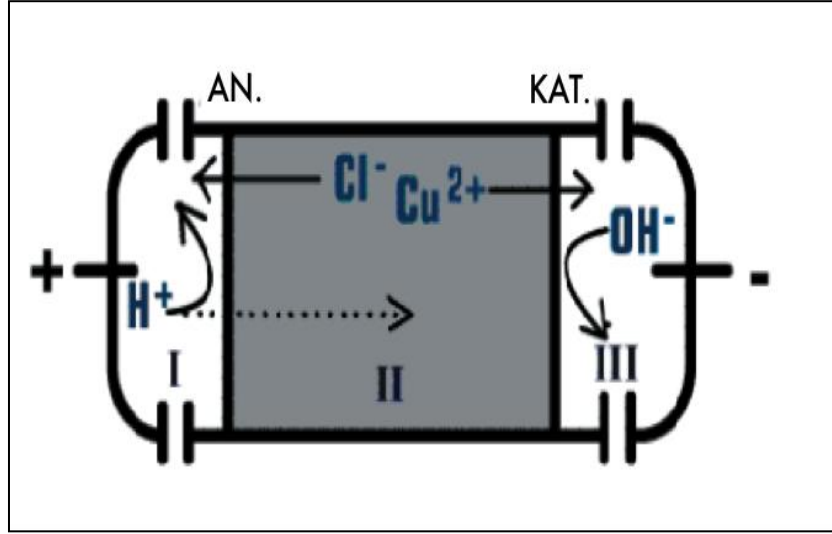
CCA ile emprenyeli odunun yaşam döngüsü Şekil 5'te verilmiştir. Servisten alınan emprenyeli ağaç malzeme parçalandıktan sonra CCA bileşenleri (krom, bakır ve arsenik) odundan elektrodiyalitik yöntemle uzaklaştırılır. Bu işlem sonucunda eğer arseniğin tamamı, krom ve bakırın bir miktarı azaltılabilmişse odun katı atık fırınlarında yakılabilmekte ve odundan elde edilen enerji kaynaklarından faydalanılabilmektedir. Odundan uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik CCA üretiminde kullanılabilir. CCA kullanımı dünyanın pek çok yerinde sınırlandırılmış olsa da elde edilen metaller endüstrinin çeşitli dallarında kullanılabilme şansı bulmaktadır.



Şekil 5. CCA ile emprenyeli odunun yaşam döngüsü (Velizarova vd., 2002)

Bu yöntem ilk olarak Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olup toprağı ağır metallere uzaklaştırmak amacıyla kullanılmıştır (Hansen vd., 1997; Ottosen vd., 1997). Elektrodiyalitik yöntemde, alçak akım, temizleme aracı (cleaning agent) olarak kullanılmaktadır. Metal uzaklaştırma seviyesi, zarlara temas eden çözeltinin akışkanlık oranı ayarlanarak kontrol altına alınabilmektedir. İyon değişim zarları iyon akışkanlıklarının büyüklüğünü ve yönünü düzenlemeye izin vermektedir. Kullanım ömrünü tamamlayan emprenyeli odundan uzaklaşan ağır metaller (krom, bakır, arsenik) yeniden kullanılabilir hale gelmektedir. Zehirli maddelerden temizlenen odun atığı yeniden değerlendirilebilir hale gelmektedir (Velizarova vd., 2002).

Elektrodiyalitik sistemin şematik görünümü Şekil 6'da gösterilmektedir. Sistem (I) anot kısmı, (II) katot kısmı ve (III) odun yongalarının konulduğu kısım olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Katot orta kısımdan katyon değişim zarıyla (membrane) ayrılmıştır. Bu zar sadece artı iyonların eksi yüklü iyonlara doğru geçişine izin verildiği alandır. Anot orta kısımdan anot değişim zarıyla ayrılmıştır. Burası sadece eksi iyonların artı yüklü iyonlara doğru geçişine izin verildiği alandır. Elektrik potansiyeli elektrotlarda sağlandığı sırada sistemdeki akım çözeltideki iyonlar aracılığıyla taşınması sırasında katyon iyonları anoda, anyon iyonları katoda doğru hareket etmektedir. Hareket halindeki iyonların bir elektrot bölgesinden orta bölgeden geçerek diğer elektrot bölgesine taşınması sistemde oluşan akım tarafından önlenmektedir (Ottosen vd., 1997; Hansen vd., 1999).



Şekil 6. Elektrodialitik sistemin şematik görünümü (Velizarova vd., 2002)

Ribeiro vd. (2000), yaptıkları çalışmada, CCA ile emprenyeli atıl hale gelmiş çam (*Pinus pinaster Ait.*) tel direk yongaları ve talaşından, bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmak için elektrodialitik yöntemini uygulamışlardır. % 2.5'lük ve % 7.5'lük oksalik asit işleminde kullanılmıştır. Emprenyeli odundan, kromun %93'ü, bakırın %95'i, arseniğin % 99'u 0.2 Ma/cm^2 direk akım kullanılarak uzaklaştırılmıştır.

Velizarova vd. (2002), CCA ile emprenyeli atıl hale gelmiş çam (*Pinus pinaster Ait.*) tel direk yongalarından, bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmak için elektrodialitik ve diyalitik yöntemi kullanmışlardır. Temizleme aracı olarak oksalik asit kullanılmış ve 120 Ma/cm^2 kadar direk akım uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda bakırın %84'ü, kromun %87'si arseniğin %95'i kadarı uzaklaştırılmıştır.

Pedersen vd. (2004), elektrodialitik remidasyondan, atıl hale gelen emprenyeli odunu yeniden kullanılabilir hale getirmek için faydalanmışlardır. Deneme çalışmalarında 2 m^3 yonga kapasitesi olan tesis kullanmışlardır. Yapılan altı farklı denemenin sonucunda odundaki CCA konsantrasyonu belirgin şekilde azaltılmıştır. Elektrotlar arasındaki mesafe başlangıçta 60 cm olarak ayarlanmış, sonradan bu mesafe yavaşça artırılıp 150 cm ye kadar çıkartılmıştır. Remidasyon süresi 11-22 gün arasında değişkenlik göstermiştir. Deney sonucunda kromun % 82'si, bakırın %88'i, arseniğin % 96'sı uzaklaştırılmıştır.

Christensen vd. (2005), emprenyeli odundan krom, bakır ve arseniği uzaklaştırmak amacıyla elektrodialitik yöntem için 2 m^3 odun kapasitesi olan pilot tesis kullanmışlardır. Boyutları 2 cm'den daha az olan yongalardan uzaklaştırılan metal miktarının büyük parçalı yongalara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür Elektrot mesafesinin 60 cm

olduğu ve 100 kg yonga kullanılarak yapılan çalışma sonucunda %87 krom %81 bakır %95 arsenik uzaklaştırılarak en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada sadece arsenik üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Elektrotların çalışma mesafesi 1.5 m olarak ayarlanarak arseniğin %95'i uzaklaştırılmıştır.

Velizarova vd. (2004), elektrodialitik şartlar altında emprenyeli atık odundan krom, bakır ve arseniğin uzaklaştırılması üzerine çalışmışlardır. Sodyum klorür, oksalik asit ve EDTA gibi sıvı veya saf su gibi değişik türdeki ayıklayıcı çözeltilerin, elektrodialitik hücredeki bakır ve krom içeren türlerinin akışkanlık yönü ve büyüklüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Oksalik asidin, bakır %80.5 ve kromu %87.4 oranında uzaklaştırması sonucunda daha etkili olduğu görülmüştür. Oksalit asit ve formik asidin karışımının da benzer sonucu verdiği görülmüştür. EDTA, bakırın uzaklaştırmada etkili bulunmuşken, %20'den daha az uzaklaştırma ile krom da etkili olmadığı kanıtlanmıştır. Genel olarak, elde edilen sonuçlar, CCA esaslı odun atığından bakır ve kromun elektrodialitik işlemi ile uzaklaştırılma başarısı ayıklayıcı çözeltinin doğru bir şekilde seçiminde ve bileşiminde önemli rol oynadığını göstermiştir.

Virkyte vd. (2004), atıl haldeki CCA ile emprenyeli odundan elektrodialitik yöntemle bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılması üzerine çalışmışlardır. Bu yöntem, önerilen matristeki kimyasalların dağılımının analiz edilmesi için elektrodialitik hücre bölgesindeki oksalik asitle (%2.5 w/w) inkübasyonu ve zehirli atığın değişik yerleşimiyle arttırılmış elektrikli alandaki yüklü parçacıkların hareketine dayanmaktadır. Odun yongasını ve temiz odun tozunu kirleten CCA'nın hücrenin katot ve anot kısımlarına, ve orta bölümüne yerleşmiş olduğu laboratuvar ölçekli deneylerde bu yöntem test edilmiştir. Her bir deney 14 gün sürmüş ve akım 40mA de sabit kılınmıştır. Elektrodialitik işlem boyunca negatif bakır ve krom bileşenler daha çok anyon-değişimli membranda bulunmuştur. Katotta bulunan pozitif bileşenlerin miktarı kayda değer oranda değildir. Anot ve katoda yakın emprenyeli yonganın yerleşimi, bakır ve kromun, pozitif yüklü anoda doğru hareket ettiğini göstermektedir. Hücrenin orta kısmına yerleştirildiğinde, önemli miktarda atık odun matrisine ya da az da olsa anoda doğru bağlı kalmaktadır.

Moreira vd. (2005), araştırmalarında CCA ile emprenyeli atıl haldeki (*Pinus pinaster Ait.*) tel direğinden elektrodialitik metodunu kullanarak krom bakır arseniğin uzaklaştırılmasında en etkili sonucu test etmişlerdir. Odundaki krom, bakır ve arseniği uzaklaştırmak için sitrik asit, formik asit ve oksalik asit kullanılmıştır. Oksalik asidin yaklaşık %2.5 civarında hazırlanan konsantrasyonu metallerin uzaklaşmasında en iyi

sonuca vermiştir. Oksalik asite maruz kalan örneklerde krom ve arseniğin uzaklaşması daha hızlı gerçekleşirken, aralarında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Bakır aşamalı olarak uzaklaştırılmıştır. Anot bölgesine doğru bakır uzaklaşması işlemin ilk günlerinde belirgin olarak daha hızlı gerçekleşmiştir. Formik asit ve sitrik asit bakırın uzaklaşmasında etkili bulunmuştur.

Janin vd. (2010) önceki çalışmalarında, sülfürik asit yıkamasına dayalı CCA uygulanmış odun atığını arındıran kimyasal bir işlem ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalarında CCA'ya alternatif kullanılabilen kimyasallara yer verilmiştir. Bakır esaslı koruyucularla, bakır azol (CA) ve mikronize bakır quat (ACQ) ile emprenye edilen odunlar, 0.1 M sülfürik asitle 75°C ve 2 saat boyunca peş peşe 3 kere yıkama işleminden geçirilerek, %98'den fazla bakır çözeltisi elde edilmiştir. Üretilen farklı tipteki asidik yıkanma suları (leachates), ferik klorit ve sodyum hidroksit kullanılarak çökeltilmeyle (pH=7) başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Yıkanma suyundan % 94-99 oranları arasındaki bakır, 90 dakika sonra 2A elektrik akımıyla elektrodialitik yolla geri kazanılmıştır. Böylece, CCA esaslı odun atığının arındırılması için geliştirilen bu işlemin CA-, ACQ veya MCQ esaslı oduna etkili bir şekilde uygulanabildiği görülmüştür.

1.4.8. Atıl Haldeki Odunun Yakılması ve Enerji Üretilmesi

Yakma işlemi ile emprenyeli atıl haldeki odun ortadan kaldırılmakta, aynı zamanda uygulanan yüksek sıcaklıkla elektrik ve buhar enerjisi elde edilmektedir (Conlon, 1992; Kempton, 1992; Webb, 1992). Emprenyeli malzemeyi öğütme (parçalama) maliyeti, havaya yayılan gazda arseniğin bulunması, külde birikmiş halde bulunan metal bu seçeneğin uygulanabilirliği üzerine tartışmalara yola açmıştır. Gerçekleştirilen kül testleri ile atıl haldeki malzemelerin yok edilme uygulamalarını değerlendirme imkanı sağlanmıştır (Solo-Gabriele vd., 1999).

Enerji geri kazanımı, atıl odunun miktarının azaltılması için kullanılacak yöntemlerden biridir, fakat emprenyeli atıl odunun yüksek sıcaklıklarda yakılması sırasında buharlaşan zehirli gazlar ve meydana gelen kül ağır metaller içermektedir. Bunun yanında emprenyeli atıl odunun biriktirilmesi, taşınması ağır metallerinden uzaklaştırılması maliyetli bir işlemdir. Sorunları en aza indirmek amacıyla bazı yerlerde tedbirler alınmaktadır. Portland çimento standartları, metal miktarı ve kromun kullanımına sınırlamalar getirmiştir. Bu yöntem en yaygın Avrupa'da kullanılmaktadır. Bu seçeneğin

uygulanması için gelecekte daha elverişli ortamlar sağlanacağı tahmin edilmektedir (Helsen ve Van den Bulck, 2004).

Emprenyeli odunun 1000°C sıcaklıkta yakılması sırasında arseniğin %59'u buharlaştırılmış (Doobs ve Grant, 2009), yapılan başka araştırmada, sıcaklığın 400°C olduğu sırada %13–27 arasında, 800°C de %22–44 arasında arsenik uzaklaştırılmış ve 1000°C de %70–77 arasında arsenik, %11 bakır ve %15 krom uzaklaştırılmıştır (McMahon ve Bush, 1986).

CCA ile emprenyeli atıl haldeki odunun geri dönüşümünde uygulanan termokimyasal yöntemler piroliz (yavaş ve hızlı), yakma, birlikte yakma ve gazlaştırma teknolojileridir.

1.4.8.1. Piroliz

Havasız ortamda veya azot altında 200°C'nin üzerinde ağaç malzeme ısıtıldıkça bozunma artmaktadır (Baysal, 1994). Odunun yapısını oluşturan bileşenlerden hemiselüloz termal yoldan 200-250°C 'de bozunmaktadır. Selüloz 280°C'de bozunmaya başlayıp 300-350°C'de tamamen bozunmaktadır. Lignin en son bozunan bileşen olup, 300-350°C'de bozunmaya başlayıp 400-450°C'de tamamen bozunabilmektedir. 400-500°C'de karbonizasyonun tamamlanıp tutucu gazların uzaklaşmasından sonra geride odun kömürü kalmaktadır (Goldstein, 1973).

Düşük sıcaklıkta gerçekleşen pirolizde, daha fazla kömürleşme ve daha az yanıcı gaz salınımı olmakta, odunun geri dönüşümü yavaşlamakta ve reaksiyon süresi uzamaktadır. Piroliz yöntemiyle açığa çıkan arsenik miktarı, diğer yöntemlere (gazlaştırma, yakma) kıyasla daha az olmakta, bu nedenle açığa çıkan arsenik kemisorpsiyon (kimyasal tutunma) yoluyla daha kolay elde edilmektedir. Hızlı piroliz yavaş pirolize göre, yanma ısısında artış olduğundan, az kömürleşmeye ve yanıcı gazların daha fazla çıkmasına neden olmaktadır. Bu yöntemdeki amaç, mümkün oldukça çok piroliz yağı üretmektir. Yağda biriken arsenik miktarı (%5–18 arasında) göz ardı edilemeyeceği için, CCA ile emprenyeli odunda bu yöntemin kullanılması iyi bir tercih olmamaktadır (Hata vd., 2001). Piroliz yağının avantajlı yönü, kolay depo edilebilmesidir, fakat arsenik konsantrasyonu piroliz yağının kullanımını güçleştirmektedir (Yalınkılıç, 1993).

Havaya yayılan gazları kontrol altına almak için gaz temizleme sistemi kullanımıyla, CCA emprenyeli odunun geri dönüşümünde yakma yöntemi tercih edilebilir. Gaz

temizleyicide toplanan arsenik içeren çözelti, CCA çözeltisi üretim birimlerinde dönüştürülür ve küldeki arsenik, bakır ve krom metallerinin geri kazanımı sağlanabilir (Syrjanen ve Kangas, 2001; Lindroos, 2002) veya kimyasal, elektro kimyasal yöntemler kullanılarak geri kazanılabilir (Kristensen, 2002). İşçi sağlığı sağlık açısından, arseniğin elde edilmesinde ıslak uygulanan yöntemler tercih edilmektedir. CCA emprenyeli odunun yok edilmesi sırasında şu hususlar dikkate alınırsa;

- Arseniğin havaya yayılması filtre veya gaz temizleyicisi kullanarak güvenli bir şekilde engellenirse,
- Gaz temizleme sistemleri aracılığıyla arsenik ve PCDD/F (dioksin ve furan) emisyonlarının önüne geçilirse, bacadan çıkan gaz için uygun soğutma yörüngeleri kullanılırsa,
- Kül temizleme teknolojisi dikkate alınırsa yakarak yok etme işlemi tercih edilebilir.

Yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen bu yöntemin olumsuz tarafı, alternatif yakıt üretmek yerine hemen kullanılma zorunluluğu olmasından ya da elektriğe dönüştürülme zorunluluğundan kaynaklanmaktadır.

CCA ile emprenyeli odunda arseniğin gaz haline geldiği sıcaklığı tespit etmek için yapılan çalışmalarda belirsizlikten dolayı bu noktanın belirlenmesi güçleşmiştir (Helsen ve Van den Bulck, 2003).

CCA ile emprenyeli odundan bileşenlerin uzaklaştırılmasında pirolizin etkisi araştırılmıştır. Buharlaşma öncesinde piroliz atığında arseniğin tutulduğu reaksiyonun detaylarını saptamak üzere 10 dk boyunca 450°C ısı verilen örnek incelenmiştir (Hata vd., 2003). Piroliz atığındaki metal bileşenlerin oluşumu ve yapısı, transmisyon elektron mikroskopuyla (TEM) analiz edilmiştir. CCA ile emprenyeli odunun pirolizi sırasında sıcaklığın 500°C den daha fazla olduğu ve sürenin 1 saati geçtiği sırada, XRF (X-ray fluorescence) cihazı kullanarak arseniğin buharlaşma miktarı analiz edilmiştir. HNO₃ çözünmesinden sonra piroliz atığındaki arsenik içeriği ölçülmüştür. Arsenik bileşeninin buharlaştırılmasından meydana gelen arseniğin %20'sinden fazlasının 300°C de kaybolduğu tespit edilmiştir (Hata ve ark, 2003).

Kakitani vd. (2004), CCA ile emprenyeli odundan, arsenik bileşiğinin 300-350°C de pirolizini gerçekleştirmiş ve odunda %50 oranında ağırlık kaybı tespit etmişlerdir. Aynı şartlarda piroliz yağında zehirli maddelerin neredeyse tamamına rastlamışlardır

Kakitani vd. (2004), çözelti ekstraksiyonunun, CCA maddesindeki zehirli metaller ve piroliz atığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Piroliz olmadan emprenyeli odundan bakır, krom ve arsenik çözücüler yardımıyla kolaylıkla uzaklaştırılmıştır. Bunun aksine düşük pH şartları altında, piroliz atığından çok az miktarda CCA bileşeni uzaklaştırılabilmektedir. Piroliz odunundaki zararlı metaller çözelti ekstraksiyonuna karşı dayanıklılık göstermiştir. Piroliz atığındaki metaller kararlı yapıda olduğundan bu yöntemin ön işlem öncesinde kullanılmaması gerektiği tespit edilmiştir. Helsen vd. (1999) yaptıkları çalışmada, krom ve bakırın uzaklaştığı önemsiz kabul edilen noktanın altında kritik bir nokta (10 dk. ve 400°C) olduğunu kabul etmişlerdir. Bu noktanın üzerinde sıcaklık 400°C ve daha fazla olduğu zaman CCA bileşenlerinin uzaklaştığı miktar büyük ölçüde artış göstermiştir.

1.4.8.2. Birlikte Yakma

Birlikte yakma işleminin odun atığının geri dönüşümünde tercih edilmesi gereken en iyi çözüm olanakları arasında olduğu düşünülmektedir. Tercih edilme sebepleri:

- Çoklu yakma tesisleri kısa zamanda tasarlanıp, kurulabilmektedir.
- CCA ile emprenyeli atık odunun varlığı sorun oluşturmamaktadır. Çünkü çoklu-yakma seçeneği kullanıldığı yakıtla ilişkili olarak esneklik göstermektedir.
- Eğer farklı atık kolları karıştırılırsa (CCA emprenyeli katı atık ve belediye katı atık (MSW) gibi) arsenik, diğer atık kollarında bulunan kalsiyum tarafından temizlenebilmektedir.
- Seyreltme etkisi nedeniyle emisyon mevzuatıyla uyum sağlaması daha kolay olmaktadır.
- Atık yakma tesislerine kıyasla elektrik santrali (güç istasyonu) daha büyüktür.
- Atık yakma tesisi mevcut olduğundan, sadece gaz temizleme araçlarının (ekipmanlarının) geliştirilip adapte edilmesi yeterli olmakta bu nedenle düşük yatırım maliyeti avantajı sağlamaktadır.

CCA ile emprenyeli odun kömüründen daha fazla miktarda arsenik içerdiğinden diğer yakıtlarla ve kömürle karışımı tavsiye edilmemektedir. Baca gazından çıkan arsenik miktarından daha fazla miktarda arsenik, CCA emprenyeli atık odunun yanması sırasında açığa çıkmaktadır. Arseniğin suda çözünen miktarı fazla olduğundan, yakma işlemi sırasında çok fazla arsenik salınımı gerçekleşmektedir (Lindroos, 2002).

Danimarka bu yöntemi tercih etmemektedir. Hollanda gibi ülkelerde atık odunun %40'ından fazlası ile kömürün karışımı, enerji tesislerinde yakıt üretmek için kullanılmaktadır (Van Rooij, 2003). Pek çok Avrupa ülkesi (Hollanda hariç) CCA emprenyeli odunu tehlikeli kabul ederek, biyokütle sınıfının dışında tutmuştur (Helsen ve Van den Bulck, 2004).

1.4.8.3. Gazlaştırma

Odunun gazlaştırılması sırasında daha fazla elektrik enerjisi üretilmektedir ve yakma yöntemine kıyasla çevreye verdiği olumsuz etkileri daha az düzeydedir. Arseniğin yüklü miktarı CCA emprenyeli odundan uzaklaştırılmakta olup, metal formuna indirgenmektedir. Temizleme sistemi, gazlaştırma ünitelerinde kritik noktada arseniğin tamamının tutulduğu (hapsedildiği) yer olarak ifade edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda (1100-1500°C) organik bileşikler parçalanmakta ve PCDD/F (dioksin ve furan) formülasyonunun tehlikesi ortadan kaldırılmaktadır.

Metalürjik fırınlarda bakır ve krom tutulabilmektedir. Elde edilen sentez gazı yakıt olarak kullanılabilir ya da metalik arseniğin, CCA emprenye işlemi için geri dönüştürülmesinden faydalanılmaktadır.

Yüksek sıcaklık istemesi nedeniyle yöntemin ekonomik olmaması, buhar haldeki saf arseniğin uzaklaştırılmasının henüz ispatlanmamış olması ve işlem sırasında fırının açılıp kapanması sırasında gaz çıkışı olması yöntemin olumsuz özellikleri arasında yer almaktadır (Helsen ve Van den Bulck, 2004)..

1.5. Ozon

Havadaki oksijen (O₂) molekülü, yüksek enerji ile iki adet oksijen atomunu parçaladıktan sonra diğer O₂ molekülü ile tepkimeye girmesi sonucunda kararsız bir molekül olan ozonu (O₃) oluşturmaktadır. Ozon kararsız yapısıyla etkili bir oksidasyon özelliğindedir. Bu sayede ortamdaki mantar, bakteri, virüs, küf gibi istenmeyen organikleri yok edebildiği gibi demir, mangan, klor, nitrik, hidrojen sülfür vb. maddeleri oksitleyerek ortamdan uzaklaştırır.

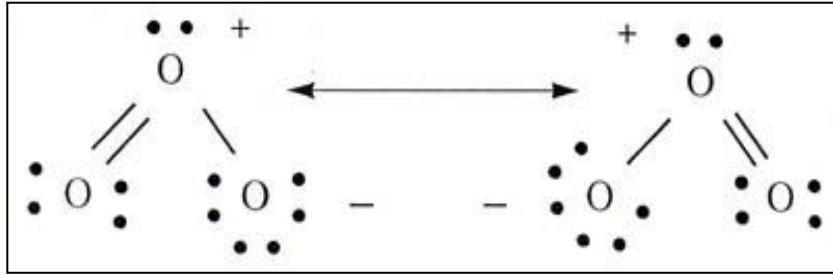
Ozon Alman kimyacı Christian Friedrich Schönbein tarafından 1840 yılında keşfedilmiştir. Ozonun hava ve suda konsantrasyonu ppm (parts per million – milyonda

parça) olarak gösterilmektedir. Zemin seviyelerine yakın yerlerde 10 milyon hava partikül ozon 0,1 ppm konsantrasyonlarında duman şeklinde bulunup, daha yükseklerde bu değer çok daha azalarak 0.03-0,04 ppm seviyelerine kadar düşmektedir. Havadaki 1 ppm yaklaşık olarak $2,1 \text{ mg/ m}^3$ ozona denk gelmektedir (URL-7).

Ozon eşik seviyeleri:

İyi :	0.064 ppm
Orta:	0,065- 0,084 ppm
Duyarlı kişiler sağlıksız:	0,085- 0,104 ppm
Sağlıksız:	0,105-0,124 ppm
Çok sağlıksız:	0,125- 0,404 ppm

Peroksitler, UV, yüksek pH ile beraber kullanılan ozon, toksik maddenin ortamdaki uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır. Ozonun kimyasal yapısı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Ozonun kimyasal yapısı (Kloos, 1994).

Ozon, yapısındaki tekli ve çift bağlardan oluşmaktadır. Tek bağlar zayıf bağlar olup, yapısı peroksit bağlarına benzemektedir. Bu bağlar bağımsız radikalleri oluşturur. Yapısındaki çift bağlar moleküler oksijene benzeyen güçlü bağlardan olup, tepkimeye girmezler.

Ozon ve oksijen elektron çekme kabiliyeti ile oksidan olarak bilinirler. Ozon oksijene kıyasla daha güçlü oksidandır. Çünkü oksijen genellikle reaksiyona girmek için bir katalize (metal iyonu) ihtiyaç duymasına rağmen ozon tek başına substratla reaksiyona girebilmektedir. C=C, C=N, N=N gibi çoklu bağ içeren türlerle reaksiyona girmektedir.

Ozonun kararlı yapısı ağır metallere, metal oksitlerden, sıcaklık ve basınçtan etkilenir. Sıcaklık artışı ozonun çözünürlüğünü azaltırken, basıncın artışı çözünürlüğünü

arttırır. Tablo 6'da ozonun 0-60°C sıcaklık aralığında saf sudaki çözünürlüğü gösterilmektedir.

Tablo 6. Ozonun sudaki çözünürlüğü (Ullman's, 1991).

Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (kg/m ³)
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,40
40	0,27
50	0,19
60	0,14

Oda sıcaklığında renksiz, karakteristik kokusu olan bir gazdır. Ozon ortamdaki kötü kokuları ve hava kirliliğini yok edip çevredeki mikropları öldürür. Kullanılan pek çok dezenfektana göre daha etkili olmasının yanında, kimyasal bileşen olmayıp doğanın doğal döngüsü sonucu oluşan çevre dostu bir üründür. Ayrıca, havada bulunan oksijenin sonucu elde edilen kararsız yapısı nedeniyle dezenfeksiyon görevini tamamladıktan sonra oksijene dönüşebilmektedir. Bununla beraber kolay elde edilebilen ve maliyeti oldukça ucuz olan bir üründür. Bu özellikleri nedeniyle ozon pek çok sektörde önem kazanmaktadır.

Hidrojen peroksit ve ozonun beraber kullanılması, ozon molekülünün hidroksil gruplarına dönüşümü sonucunda oksidasyon etkinliğinin artışı ve reaksiyonlar sonucunda ozonun gaz fazından sıvı fazına geçmesi açısından önemlidir. Ozonlama iki aşamada meydana gelmektedir. İlk aşamada gaz halden çözeltiliye ozon geçişini arttırmak için başlangıçta var olan oksidan ihtiyacı hızlıca yok edilir. Hidrojen peroksit ozon reaktif molekülleriyle tepkimeye girmektedir. İkinci aşamada organik madde ilk aşamaya göre daha yavaş bir şekilde gerçekleşerek oksitlenmektedir. Hidrojen peroksidin eklenmesi oksitlenme etkisini arttırmaktadır. Çünkü hidrojen peroksidin ozonla reaksiyonu, hidroksil grupların kimyasal reaksiyon oranını arttırır (Duguet vd., 1985).

Son yıllarda ozonun faydalarından yararlanılmak üzere pek çok üretim teknolojisi geliştirilmiştir. Ozonun geniş kullanım alanı bulması için ozon jeneratörlerinden faydalanılmaktadır.

Kâğıt fabrikalarında beyaz kâğıt üretimi için klor dioksit gibi beyazlatıcı maddeler kullanılmaktadır. Bu yan ürünler havaya, suya karışarak çevreye zarar vermektedir. Bu

nedenle zararları en aza indirmek için klor yerine kullanabilecek en iyi alternatifler arasında hidrojen peroksit, ozon ve oksijen gibi oksijen bazlı beyazlatıcılar sayılmaktadır.

Ozonun yaygın kullanım alanlarını aşağıda sıralanmaktadır.

- Kağıt hamurunu ağartmada kullanılmaktadır.
- Tat, renk, bulanıklık ve koku gidermede kullanılmaktadır.
- Dezenfekte sonrasında kalıntı bırakmama özelliği gıda sektöründe de kullanımını elverişli kılmış ve diğer dezenfektanlara göre avantajlı görülmüştür.
- Tüm mikroorganizmaların (bakteri, mantar, küf, maya) oluşumlarını engellemek ve ya yok etmek amacıyla kullanılmaktadır.
- Kimyasal maddelerden kalan atıkların yok edilmesinde kullanılmaktadır.
- Böcek popülasyonunun azaltılmasında faydalanılır.
- Suyun, pH dengesini etkilemeden arındırmaktadır. Bu sayede su parlaklığını ve tazeliğini koruyabilmektedir.
- Tıbbın çeşitli dallarında (enfeksiyon, cilt, nöroloji vb.) hastalıkların tedavisinde ozondan faydalanılmaktadır.
- Ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır.

Ozonun klorla kıyasla suda kullanımını etkileyen pek çok olumlu faktörün yanında olumsuz yanları da aşağıda belirtilmiştir (Prado vd., 1995).

Ozon kullanımının avantajları:

- Hava ve oksijen sayesinde ozon kolaylıkla üretilmektedir.
- Yükseltgeme potansiyeli yüksek olduğundan, organik ve inorganik bileşenlerle kolaylıkla reaksiyona girmektedir.
- Ortamda zararlı madde üretmezken, klor üretmektedir.
- Dezenfeksiyon aracı olarak kullanımı dışında, suyun bulanıklığını, kokuyu, rengini azaltmaktadır.
- Sudaki ozon kalıntı bırakmadan, oksijene dönüşmektedir.

Ozon kullanımının dezavantajları:

- Ozon jeneratörünün verimi oksijen kullanıldığında %6-12, hava kullanıldığında ise %4-6 civarındadır.
- Ozonun kullanım yerinde üretilmesi gerekmektedir. Çünkü depolanıp, saklanamamaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Hammadde ve Kimyasal Maddeler

2.1.1. Ağaç Malzeme ve Temini

Bu çalışmada, kullanılan atıl haldeki CCA ile emprenyeli tel direkleri TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposundan sağlanmıştır. Emprenyeli tel direkleri iğne yapraklı ağaç türlerinden olan sarıçam odunundan (*Pinus sylvestris L.*) üretilmiştir. Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), sistematikte Spermatophyta bölümü, Gymnospermae alt bölümü, *Coniferae* sınıfı, *Coniferales* takımı, *Pinaceae* familyası, *Pinus* cinsi içerisinde yer alan bir türdür (Davis 1965).

Ülkemizdeki ormanların yaklaşık olarak %6'lık kısmını teşkil etmekte ve ormanları oluşturan diğer ağaç türleri arasında üçüncü sırayı almaktadır (OGM, 2009). Ülkemizde en yaygın olarak, Kuzey Anadolu'nun iç bölgeleri, Orta Anadolu, Karadeniz kıyısında Of-Sürmene arası görülmektedir. Doğu Anadolu'da 2700m'ye kadar çıkabilmektedir (URL-1, 2012). Dünyada ise, kuzey sınırında İskoçya, Norveç, İsveç, Finlandiya'nın kuzeyi; güneyde İspanya, Alpler, Yugoslavya, Bulgaristan, Kırım ve Kafkaslar doğal yayılış alanları arasında gösterilmektedir (Alemdağ, 1967; Anonim, 1994).

Sarıçam kolay kuruyabilen, işlenme ve tutkalla yapışma kabiliyeti iyi, çatlama eğilimi az, diri odunu kolay emprenye edilebilen bir türdür. Bunun yanında reçine sızıntısı nedeniyle yüzey işlemlerinde problem oluşturmakta, güç cilalanmaktadır. Öz odunu oldukça dayanıklı olup, diri odunu mantar ve böcek zararlılarına karşı hassastır. Odun rutubetinin %25'den fazla olduğu durumlarda 20-25°C sıcaklıkta mavi renklenme görülmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Çeşitli kullanım alanlarına sahip olan bu tür, binalarda iç ve dış amaçlı kullanımda, tavan kapı, pencere doğramalarında, kaplama levha, kontrplak, liflevha, yongalevha üretiminde, kağıt endüstrisinde, maden direği, tel direği yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

2.1.2. Kimyasal Maddeler ve Temini

2.1.2.1. Asetik Asit

Doğada karbonhidratların yükseltgenmesiyle oluşmaktadır. Asetik asit veya etanoik asit CH_3COOH formüllü bir organik asittir. Suda tamamen çözünebilmekte, erime noktası $16,5^\circ\text{C}$, kaynama noktası 118°C , yoğunluğu 1.05 gr/cm^3 'tür. Asetik asit alkali hidroksitleri nötralle ederek, karbonatları ve bazı sülfidleri ayrıştırabilir. Sirkeye, ekşi tadını ve keskin kokusunu vermesiyle bilinir. Sanayide asetik asit hem biyolojik yolla hem de sentetik yolla imal edilir.

Asetik asidin ev içini temizlemede kullanılmasının nedeni zayıf bir asit olmasından kaynaklanmaktadır. Seyreltik asetik asit (sirke) çaydanlıkların kireçten arındırılmasında, cam ve diğer parlak yüzeylerdeki madeni birikmelerin temizlenmesinde kullanılır. Sanayide asetik asidin geniş bir kullanım alanı vardır, çoğu kimyasalın üretiminde hammadde olarak kullanılır. En önemli kullanımları arasında vinil asetat bulunmaktadır. Vinil asetatından elde edilen polivinil asetat ahşap tutkalı olarak kullanılır. Plastik ve ambalaj malzemeleri için selüloz asetat üretiminde; asetat esterleri biçiminde çözücü olarak; boya, sentetik lif ve ilaç üretiminde de kullanılmaktadır (URL-2, 2012). Bu çalışmada kullanılan asetik asit (CH_3COOH) % 99.5 Carlo Erba firmasından temin edilmiştir.

2.1.2.2. Hidrojen Peroksit

Hidrojen peroksit $150,2^\circ\text{C}$ 'de kaynayan ve $-0,41^\circ\text{C}$ 'de donan, molekül ağırlığı 34,02 gr/mol olan bir sıvıdır, peroksitlerin asitlerle olan tepkimesi sonucunda elde edilir. Hidrojen peroksidin sulu çözeltisi iki protonlu zayıf bir asittir. Laboratuarlarda H_2O_2 yükseltgen veya indirgen olarak kullanılmaktadır.

Hidrojen peroksit güçlü bir oksitleme aracıdır. Hidrojen peroksit parçalandığında suya ve oksijene dönüşmektedir. Kararlı bir yapısı yoktur ve parçalandığında zehirli kalıntılar bırakmaz. Metal peroksitler atmosferik nemle temas halinde iken oksijeni yavaşça açığa çıkarırlar. Organik peroksitler oksijeni açığa çıkaran güçlü oksitleme özelliği olan ajanlardır. Plastik üretim endüstrisinde polimerizasyon işlemi için katalizör görevini üstlenen, çapraz bağ oluşumunu sağlayan ajanlardır. Organik peroksitler, perasetik asit, benzoil peroksit, kumil ve terbütil oksitleri içermektedir (Gezer ve Cooper, 2009).

Hidrojen peroksit, tekstil ve kağıt sektöründe; ağartıcı olarak, kimya sektöründe; oksidasyon, epoksidasyon ve hidroksilasyon ve indirgenme reaksiyonlarında, perasetik asit, sodyum perborat, kalsiyum peroksit gibi organik/inorganik peroksitlerin üretiminde, maden sektöründe; çeşitli madenlerin zehirleyici etkilerinin giderilmesinde, metalurji sektöründe; metalik yüzey oluşturmada, kozmetik, ilaç ve gıda paketlenme sektörlerinde; sterilizasyonda, atık su arıtımında; çözülmüş oksijen sağlamada ve zehirleyici etkinin giderilmesinde kullanılır (URL-3, 2012). Bu çalışmada kullanılan %35'lik Hidrojen peroksit Merck firmasından temin edilmiştir.

2.1.2.3. Ozon

Ozon molekülü üç oksijen (O_3) atomundan oluşur, oksijen (O_2) molekülünden daha kararsız ve tepkimeye girmeye (eğilimli) duyarlı bir gazdır. Ozon genellikle, hava veya oksijen aracılığıyla yüksek elektrik akımına uğrayarak üretilmektedir (Suslow, 1997). O_2 molekülü yüksek elektrik akımına uğrayarak ikiye bölünerek serbest kalan O_2 atomu bir oksijen molekülü ile birleşerek ozonu oluşturur. Sıcaklıkla beraber oksijene dönen ozon gazı depolanmadığı için üretildiği anda kullanılması gerekir. Üretimden 6-20 dk sonra ozon molekülü parçalanmakta ve tekrar O_2 molekülüne dönüşmektedir.

Ozonun kararsız yapısı sebebiyle ortamdaki bakteri, virüs, mantar, küf gibi istenmeyen organikler yok edilebilmekte bununla beraber mangan, demir, klor, nitrik maddeleri de oksitlenerek ortamdan uzaklaşmaktadır.

Bu çalışmada, Enaly firmasına ait ozon jeneratörü kullanılmıştır. Ozon üretimi için kullanılan oksijen tüpleri Karadeniz Oksijen Gaz Sanayinden sağlanmıştır. Ozon jeneratöründen, dört farklı ozon konsantrasyonu (5gr/sa, 10gr/sa, 15gr/sa ve 20gr/sa) elde edilmektedir.

2.2. Örneklerin Hazırlanması

2.2.1. Odun Örneklerinin Hazırlanması

“TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposu”ndan temin edilen tel direkleri emprenyeli odundan bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılmasında örnek boyutlarının etkisini araştırmak üzere yeterli miktarda odun kullanılmıştır. Emprenyeli odun örnekleri

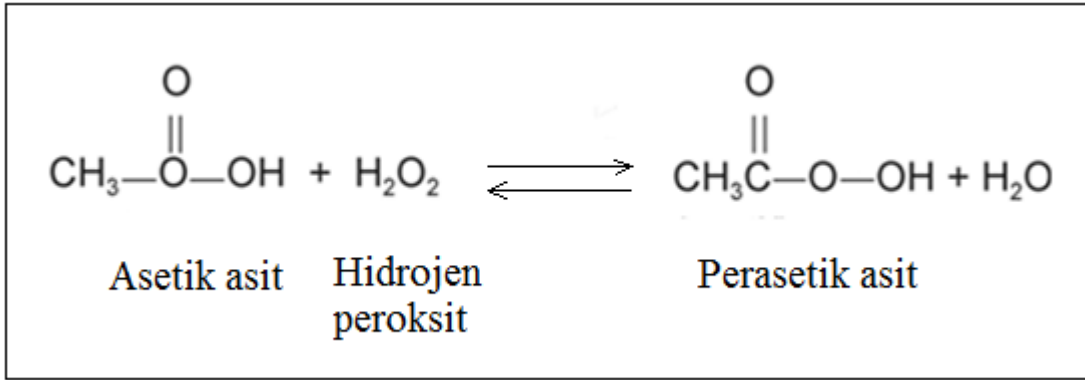
KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kereste Atölyesinde 5x30x50 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutunda masif örnekler halinde biçilmiştir. Remidasyonda kullanılan diğer örnek boyutları ve kontrol örnekleri Willey değirmeninde öğütülecek boyuta getirilmiş, öğütüldükten sonra 40 mesh (425 μ) ve 60 mesh (250 μ)'lik sarsıntılı eleklerde elenmiştir. Çalışmada 60 mesh (250 μ)'lik eleğin altında kalan odun tozları ile 40 mesh (425 μ)'lik odun tozları değerlendirilmiştir. Deneyde kullanılacak örnek grupları tam kuru hale gelinceye kadar kurutma dolabında 103 \pm 2 °C'de değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur.

2.2.2. Remidasyon Çözeltisinin Hazırlanması

2.2.2.1. Perasetik Asit

Sıvı ortamda hidrojen peroksitle hazırlanan çözeltiler, odunda çözünmez halde bulunan +3 değerlikli kromu, çözünebilen +6 değerlikli kroma dönüştürmede etkili bulunmuştur. Hidrojen peroksit, asit ortamda güçlü bir oksidasyon aracıdır. Bu özelliğinden ötürü çalışmada hidrojen peroksitle hazırlanan perasetik asit çözeltisinin empenyeli odun örnekleri üzerindeki remidasyon etkisi araştırılmıştır.

Asetik asit ve hidrojen peroksidin karıştırılmasıyla denge perasetik asit meydana gelir (Şekil 8). Bu sıvı genellikle kararsız yapıda olup oksijen ile etkileşerek asetik asit, hidrojen peroksit ve su gibi ürünlere parçalanır. Perasetik asit çok güçlü bir oksidasyon aracıdır ve oksidasyon potansiyeli klor, klordioksite kıyasla daha yüksektir. Sıvı, renksiz, berrak görünümde olup köpürme özelliği yoktur. Yapısında peroksi grubunu içeren bileşikler (-O-O-) ve zincire benzeyen yapıda, iki atomlu oksijen bulunmakta ve bu yapıların her biri radikal gruplarla veya bazı elementlerle bağ yapmaktadır (AWPA, 1999).



Şekil 8. Asetik asit ve hidrojen peroksidin karışımıyla perasetik asit oluşumu

Organik asit olan perasetik asit kuvvetli bir oksidasyon maddesi olduğundan sterilizasyon ve dezenfeksiyon amacıyla çeşitli üretici firmalar tarafından sıvı, gaz ve buhar formlarında kullanılmaktadır. Organizmalara karşı etkilidir. 200-500 ppm perasetik asit organik maddenin varlığında mikroorganizmaları etkisizleştirmek için kullanılmaktadır (Vural ve Çelen, 2005). Bu kimyasaldan, sentetik lifleri asetatları, belli durumlarda pamuğu ağartma amacıyla faydalanılmaktadır. Genelde bu maddeler indirgen veya yükseltgen maddeler olarak sınıflandırılmaktadır. Perasetik asit yükseltgen maddeler (oksidasyon maddeleri) sınıfı içinde yer almakta ve sıcaklık etkisiyle patlama tehlikesi olduğundan kullanırken çok dikkatli olunmasını gerektirir (URL-4, 2012).

Atıl haldeki empenyeli odundan bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmak amacıyla hidrojen peroksit ve asetik asidin kombinasyonu farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Elde edilen perasetik asitten empenyeli örneklerin remidasyonunda faydalanılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerin pH'ları, "Delta Ohm pH ölçer" cihazında ölçülmüştür.

2.3. Odun Örneklerinin Remidasyonu

2.3.1. Bakır, Krom, Arseniğin Uzaklaştırılmasında Çözücünün ve Ozon Konsantrasyonunun Zamana Bağlı Etkisinin Belirlenmesi

Empenyeli odun örneklerine (40 mesh) uygulanan farklı kapasitedeki ozonun ve çözücü cinsinin örneklerden uzaklaşacak metal miktarı üzerine etkisi araştırılmıştır. Çözücü olarak aseton kullanılmıştır. Sıvı ekstraktantın odun örneklerine oranı 10-1 olacak şekilde çözeltiler hazırlanmıştır. Ozonun sıcaklık azaldıkça çözünürlüğünün artmasından

dolayı, remidasyon sırasında buz kullanılmış, aseton çözeltisi ve emprenyeli odun örnekleri soğuk tutulmuştur. Asetonun su ile karışması, düşük viskoziteli olması nedeniyle iyi bir organik çözücü olduğu kabul edilmektedir. Aseton, uygulanan ekstraksiyonlar, hücre çeperinin yapısal kısımları olan polisakkaritler, tanenler ve inorganik tuzlar ve lignini de belirli ölçüde bozundurup çözmektedir (Krasavage ve vd, 1982). Odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltileri ile sadece emprenyeli odun örnekleri saatte 5 gr, 10 gr, 15 gr ve 20 gr ozon üreten cihazda sırasıyla farklı konsantrasyonlarda ozonla 5, 10 ve 30 dk boyunca remidasyona uğratılmıştır. Remidasyona uğratılan örneklere ait çözeltiler Whatman # 4 nolu filtre kâğıdı kullanılarak süzölmüş ve kurutulmuştur. Örneklere uzaklaştırılmayan krom, bakır ve arsenik miktarlarını belirlemek üzere örnekler ICP (Inductively Coupled Plasma) analizine uygun hale getirilmiştir.

2.3.2. Bakır, Krom, Arseniğin Uzaklaştırılmasında Asit Konsantrasyonunun ve Asitte Bekletme Sürenin Etkisinin Belirlenmesi

Ozonun güçlü oksidan oluşu, çeşitli metalleri oksitleyerek ortamdan uzaklaştırması ve mikroorganizmaları yok etmeye karşı etkileri kanıtlanmış ve yararlarından pek çok sektörde faydalanılmıştır. Bu sebeple emprenyeli odun örneklerinde biriken krom, bakır ve arseniğin uzaklaştırılması üzerinde ozonun etkisi bu çalışmada ilk kez ele alınmıştır.

Çalışmada, 40 mesh'lik odun tozları ile elekte 60 mesh'in altında kalan odun tozları ve masif odun (5x30x50mm) örnekleri kullanılmıştır. Atıl haldeki CCA ile emprenyeli odun örneklerinden bakır, krom ve arseniği uzaklaştırmak için perasetik asit çözeltisinin %1, %10, %25, % 50, %100 konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanmış ve pH değerleri Delta Ohm pH ölçer ile ölçölmüştür. Perasetik asit konsantrasyonlarının pH değerleri sırasıyla 3,6 - 2,9 - 2,6 - 2,3 - 1,6 olarak ölçölmüştür. Perasetik asit miktarının odun örneklerine oranı 10-1 olacak şekilde çözeltiler hazırlanmıştır. Emprenyeli örnekler (40 mesh), hazırlanan asit konsantrasyonlarında 30 dk, 1, 2, 6 ve 24 sa hava almayan şişelerde bekletilmiştir. Perasetik asit çözeltisinin hazırlanan %25, %50 ve %100'lük konsantrasyonunda 60 mesh'ten daha ince olan toz örnekler 6 ve 24 saat bekletilmiş, masif odun örnekleri ise sadece %100'lük perasetik asit çözeltisi içerisinde 6 ve 24 saat boyunca bekletilmiştir. Bekletilen süreler sonunda çözeltiler Whatman # 4 nolu filtre kâğıdı kullanılarak süzölmüş ve kurumaya bırakılmıştır. Remidasyon sonucunda her bir örnek

grubunda kalan krom, bakır ve arsenik miktarlarını belirlemek üzere örnekler ICP analizine uygun hale getirilmiştir.

2.3.3. Perasetik Asitte Bekletilen Örneklerden Bakır, Krom ve Arseniğin Uzaklaştırılmasında Ozonun Etkisi

Perasetik asitle remidasyona uğratan örnekler buzla soğutulduktan sonra ozona maruz bırakılmıştır. Bir önceki çalışmada perasetik asitte bekletildikten sonra ozon uygulanması üzere ayrılan odun örnekleri (40 mesh, < 60 mesh, masif odun) “Enaly” firmasına ait ozon jeneratöründe 15 veya 30 dk. süreyle 20gr/sa ozona maruz bırakılmıştır (Şekil 9). Her bir örnek grubuna ait varyasyonların remidasyonu tekrarlanmıştır. Örneklerin ozonla remidasyonu önceki çalışmalardaki gibi buzla soğutulmuş yapılmıştır. Ozon uygulanan örnekler için çözeltiler Whatman # 4 nolu filtre kâğıdı ile süzülüş ve odun örnekleri kurutulmuştur. Kurutulmuş örneklerdeki bakır, krom ve arsenik miktarını tespit etmek üzere ICP analizine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 9. Örneklerin ozonla remidasyonu

Remidasyonda kullanılan kimyasal madde konsantrasyonları, örnek boyutları, örneklerin perasetik asitte ve ozonda bekletildikleri süreler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Remidasyonda kullanılan kimyasal madde konsantrasyonları, örnek boyutları,örneklerin perasetik asitte ve ozonda bekletildikleri süreler

Remidasyon Çalışmaları						
I	Perasetik Asit Konst.	%1	%10	%25	%50	%100
	pH	3,6	2,9	2,6	2,3	1,6
	Örnek Boyutu	40 mesh				
	Perasetik Asit Süre	30dk-1sa-2sa-6sa-24sa				
II	Perasetik Asit Konst.	%1	%10	%25	%50	%100
	Örnek Boyutu	40 mesh				
	Perasetik Asit Süre	30dk-1sa-2sa-6sa-24sa				
	Ozon Süre	15dk-30dk				
III	Varyasyon	Odun+Aseton+Ozon		Odun+Ozon		
	Örnek Boyutu	40 mesh				
	Ozon Konst.	5gr/sa-10gr/sa-15gr/sa-20gr/sa				
	Ozon Süre	5dk-10dk-30dk				
IV	Örnek Boyutu	40 mesh	<60 mesh	5x30x50 mm		
	Ozon Süre	15dk-30dk				

2.4. Remidasyon Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Bakır, Krom, Arsenik Tayini

Remidasyona uğratılmış odun örneklerinde kalan krom, bakır ve arsenik miktarını belirlemek amacıyla yapılan yakma işlemi AWWA E 11-97 standardındaki prosedüre göre gerçekleştirilmiştir.

Remidasyona tabi tutulmuş odun örnekleri ve kontrol örnekleri 0,5 gr tartılarak erlenmeyer flaska konulmuştur. Her gruptaki örneğe 7,5 ml nitrik asit (%65’lik-Merck) ilave edilmiştir. Örnekler ısıtıcıda ısıtılmış ve bu sırada örneklerden çıkan kahverengi duman bitene kadar işlem devam etmiştir. Kahverengi dumanın rengi açıldığında 3 ml hidrojen peroksit (%35’lik-Merck) damlatılmıştır. Yakma işlemi tamamlandıktan sonra örneklerin her biri Whatman # 4 nolu filtre kağıdı kullanılarak süzümüştür. Süzülen örnekler 100 kat saf su ilave edilerek seyreltilmiş ve ICP analizlerine hazır hale getirilmiştir (AWWA E 11-97, 1999).



Şekil 10. Spectro-Genesis ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı

Odun örneklerindeki kimyasal madde miktarlarının analizini yapmak amacıyla KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ICP laboratuvarında, Spectro-Genesis firmasının ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı kullanılmıştır (Şekil 10). Standart numuneler bakır, krom ve arseniğin (Merck) 1000 ppm'lik stok çözeltilerinden 0,5 ppm aralıklı 0-10 ppm arasında hazırlanmış ve bu standartlar ICP cihazında okutularak kalibrasyon eğrileri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre remidasyona uğramış ve uğramamış olan odun örneklerinde kalan krom, bakır, arsenik miktarları belirlenmiştir.

2.5. Remidasyon Sıvılarındaki Ozon Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Bu çalışmada ozona maruz bırakılan CCA ile empenyeli odun tozlarıyla hazırlanan çözeltideki ozon konsantrasyonu ile odun tozu kullanılmadan ozona maruz bırakılan çözücünün ozon konsantrasyonu ölçülmüştür. Çalışmada 40 mesh boyutundaki odun tozları kullanılmıştır. CCA ile empenyeli örneklerin saf su, aseton ve %1-100 perasetik asit konsantrasyonlarıyla çözeltilerini hazırlamak için 3g. odun tozu tartılmış, çözücünün odun örneklerine oranı 10-1 olarak ayarlanmış ve örnekler 5, 10, 15, 20, 30 dk boyunca ozona (20gr/sa) maruz bırakılmıştır. Ozonla remidasyon işleminden sonra remidasyon suları Whatman # 4 nolu filtre kağıdıyla süzölmüş, Palintest cihazında remidasyon sıvılarındaki ozon miktarları ppm (mg/lt) cinsinden ölçülmüştür. Numune 10 ml'lik test tüpüne bir miktar doldurulduktan sonra DPD no 4 tableti tüpe eklenmiştir. Tablet

eritildikten sonra 10 ml'lik çizgiye kadar numune ilave edilip tablet çözülene kadar karıştırılmıştır. Renk konsantrasyonu oluşan örnekler cihazda mg/lit (ppm) cinsinden okunmuştur.

Odon tozu kullanılmadan, yukarda bahsettiğimiz örnek gruplarına, belirlenen sürelerde (5-30dk) ozon uygulanmıştır. Elde edilen remidasyon sınırlarındaki ozon miktarı Palintest cihazında benzer şekilde ölçülmüştür.

2.6. Cr⁺⁶ Tayini

Remidasyon işlemi sırasında odun örneklerinden yıkanan toplam kromun ne kadarının +6 değerlikli krom olduğunu tespit etmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Örneklerden yıkanan Cr⁺⁶ konsantrasyonu ölçümü için Palintest cihazı kullanılmıştır. Cihazı kalibre etmek için krom standardı hazırlanmıştır. Potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇) 180 °C 'de 1 saat kurutulduktan sonra 0,28 gr K₂Cr₂O₇ saf su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Seyreltilmiş krom standardı çözeltisinden 100 ml alınıp saf suyla 1000 ml'ye tamamlanmış ve elde edilen çözeltiden 1- 10 ppm arasında standartlar hazırlanmıştır.

Oda sıcaklığında, %25'lik perasetik asidin içerisine CCA ile emprenyeli odun tozları 3g. tartılıp konulmuş, çözücünün odun örneklerine oranı 10-1 olarak ayarlanmış ve örnekler 5, 10, 15, 20, 30 dk süreyle ozona maruz bırakılmıştır. Remidasyon işlemi sonrasında ozona maruz bırakılan örneklerdeki ekstraksiyon suları süzülüp 100 kat seyreltilmiştir. Seyreltilmiş çözeltinin pH'sı NaOH ile 10'a ayarlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 7 ml alınmış ve 3ml hidrojen peroksit ilave edilerek 10 ml lik tüplere doldurulmuştur. pH'ı 10'a ayarlanan ekstraksiyon çözeltisinin sıcaklığı 80 °C'ye çıkarılmış, bu işlem sonrasında çözeltiden 7 ml alınmış ve 3ml hidrojen peroksit ilave edilerek 10 ml lik tüplere doldurulmuştur. Her iki durum sonucunda elde edilen Cr⁺⁶ miktarları Palintest cihazıyla ölçülmüştür (Şekil 11). Krom 1 no'lu tablet tüpe eklenip çözüne kadar karıştırılmıştır. Çözünme tamamlandıktan sonra krom 2 nolu tablet ezilip, çözüne kadar karıştırılmıştır. Renk oluşumu için yaklaşık 10 dk. kadar bekletilen numuneler cihazda okutulmuştur. Sonuçlar (mg/lit) ppm cinsinden ölçülmüş ve kalibrasyon eğrisi yardımıyla Cr⁺⁶ miktarları ppm düzeyinde tespit edilmiştir.



Şekil 11. Palintest cihazı

2.7. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetri (TG) yönteminde programlı olarak arttırılan sıcaklık sonucunda analiz edilecek maddenin kütesinde meydana gelen azalmalar, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelenir. Sonuçta elde edilen sıcaklık kütle eğrilerine termogram veya termal bozunma eğrileri denilmektedir. Sıcaklık artışı sonucunda meydana gelen kütle kayıpları genel olarak su gibi uçucu bileşiklerin yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışması olarak tanımlanmaktadır (Blaine vd., 1998).

Termogravimetrik analiz numunenin kütesinin, numunenin sıcaklığına veya zamana göre değişiminin ölçümünü vermektedir. Numune genel olarak sabit sıcaklıkta ısıtılmaktadır. TGA kontrollü örneklerle, doğrusal olmayan sıcaklık programları kullanılabilir. TGA deneylerinde atmosfer, reaktif, inert ya da oksit olabilmesinden dolayı çok önemli bir işleve sahiptir. Termogravimetrik analiz sonucu ağırlık azalmasına bağlı olarak elde edilen eğrinin şeklinin tepkime kinetiğinin fonksiyonudur. TGA eğrilerinin birinci türevi zaman ya da sıcaklığa bağlı olarak kullanılmakta ve örneklerdeki kütle değişimini göstermektedir. Bu eğrilere DTG (Derivatif Termogravimetri) eğrileri denilmektedir. TGA ölçümünün sonunda kütenin ya da % kütenin zamana ya da sıcaklığa karşı grafiği TGA eğrileri olarak görüntülenebilir (URL- 5, 2012).



Şekil 12. Termogravimetrik Analiz (TGA) cihazı

Bu çalışma, Avusturya'nın Tulln şehrinde bulunan ve "Universitat für Bodunkultur"e bağlı "Department for Agrobiotechnology (IFA)", "Natural Materials Technology" bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeye alınan örneklerin analizi, Netzsch firmasının TG 209 F1 ısı termogravimetrik analiz (TGA) cihazında yapılmıştır (Şekil 12). Bu yöntemle programlı olarak arttırılan sıcaklık sonucunda nünunelerin kütlesinde meydana gelen değişimler sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelenmiştir. 10 mg tartılan örneklerin 600°C'ye kadar 2,5K/dak. ısıtma hızıyla dinamik azot atmosfer ortamında TG analizi yapılmış, termal bozunma ve buna bağlı kütle kayıplarını gösteren TG eğrileri oluşmuştur. Örneklerde kütle kaybı olmayıncaya kadar örnekler 600°C'de tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen veriler düzenlenmiştir.

Çalışmada incelenmek üzere, emprenyesiz ve CCA ile emprenyeli odun örneği, sadece 30 dk ozon uygulanan odun örneği , %100 perasetik asit konsantrasyonunda 6 saat bekletilen odun örneği ile % 100 asit konsantrasyonunda 6 saat bekletildikten sonra 30dk ozona maruz bırakılan odun örneği, %25 asit konsantrasyonunda 6 saat bekletilen odun örneği ile %25 asit konsantrasyonunda 6 saat bekletildikten sonra 30dk ozona maruz bırakılan odun örneği kullanılmıştır.

2.8. Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı Elektron Mikroskobunda görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde

taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanmaktadır. Bu etkilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilmektedir.

Mikroskopta yapılacak incelemelerde numuneler genellikle inorganik ve organik olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca inorganik numuneler de metal ve metal-olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Metal numuneler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmadan incelenebilir. Ancak metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyleri en fazla 20 nm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanması gerekmektedir. Bu sayede alınan görüntülerde ayırım gücü yüksek olmaktadır (URL- 6, 2012). Kaplamada kullanılan element yüksek sıcaklıkta buharlaştırılmakta sonra aynı vakumda bulunan örnek üzerine yoğunlaştırılmaktadır. Kaplama işlemi için uygulanan diğer yöntemde, kaplamada kullanılacak metal kaplama cihazına katot olarak bağlanır. Katoda negatif yüksek gerilim uygulanır kaplanacak numune ise aletin su ile soğutulan anot plakası üzerine yerleştirilir. Negatif yüksek gerilim etkisiyle katottan çıkan elektronlar anoda doğru hareket eder, anot ve katot plakaları arasındaki argon gazı atomlarına çarparak iyonlaşır. Çarpışma sonucundaki katottaki bazı atomların bağları kopar ve numune üzerinde kaplama tabakası oluşturur (Erdin, 1986).



Şekil 13. Philips XL 30 ESEM cihazında altın kaplanan örneklerin görünümü

Avusturya'nın Viyana şehrinde bulunan ve "Universität für Bodenkultur"e bağlı "Department Forest of Forest and Soil Sciences" laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Remidasyona uğratılmış ve uğratılmamış örneklerde meydana gelen deformasyon ve içerisindeki metal dağılımı Philips XL 30 ESEM firmasına ait cihazda incelenmiştir. Tam

kuru haldeki örnekler vakumla kurutma öncesi elektron mikroskop incelemeleri için hazırlanmış ve küçük metal disklerle yapıştırılmıştır. Hazırlanan örnekler inceleme öncesi vakum altında kurumaya bırakılmış ve incelenecek olan yüzeyler altın ile kaplanmıştır (Şekil 13). Algılayıcılardan gelen sinyallerin, dijital sinyallere çevrilmesi yoluyla sonuçlar bilgisayar monitörüne aktarılmıştır.

SEM-EDX analizi emprenyesiz, CCA ile emprenyeli, sadece 30 dk ozona maruz bırakılan, %25 ve %100 perasetik asitte 2 saat bekletildikten sonra 30dk ozon uygulanan örnek gruplarına yapılmıştır.

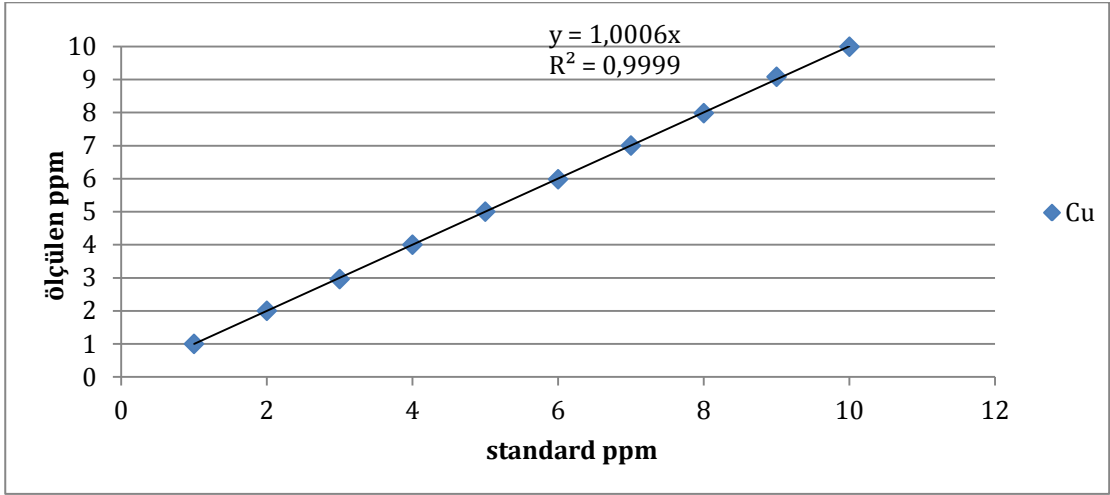
2.9. İstatistiksel Yöntemler

Elde edilen veriler SPSS istatistik paket programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. CCA ile emprenyeli ağaç malzeme farklı konsantrasyonlarda hazırlanan kimyasal madde ile remidasyona maruz bırakılması ve bırakıldıktan sonra belirlenen sürelerde ozona maruz bırakılması sonucunda sarıçam odun örneklerinden uzaklaştırılan bakır, krom arsenik miktarlarına, perasetik asidin, perasetik asitte bekletme sürelerinin, ozon konsantrasyonunun, ozonda bekletme sürelerinin, hazırlanan asit konsantrasyonlarının etkileri ve bunların arasında istatistiksel anlamda farklılık olup olmadığı basit veya çoğul varyans analizi ile belirlenmiştir. Bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi faktörler arasında olduğunu belirlemek üzere Duncan testi yapılmıştır.

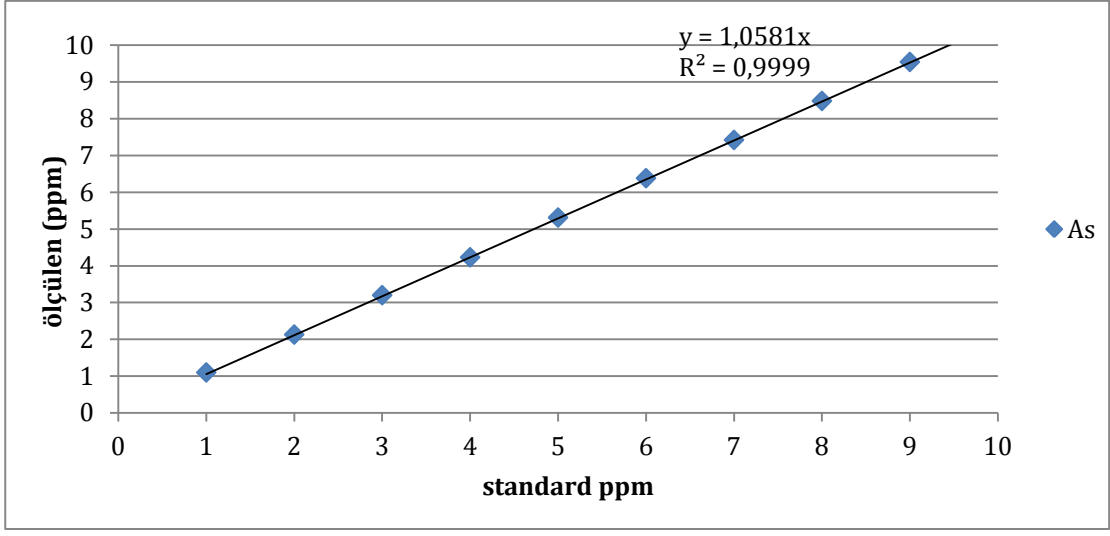
3. BULGULAR

3.1. Atıl Hale Gelen CCA ile Emprenyeli Odundaki Bakır, Krom, Arsenik Miktarının Tayini

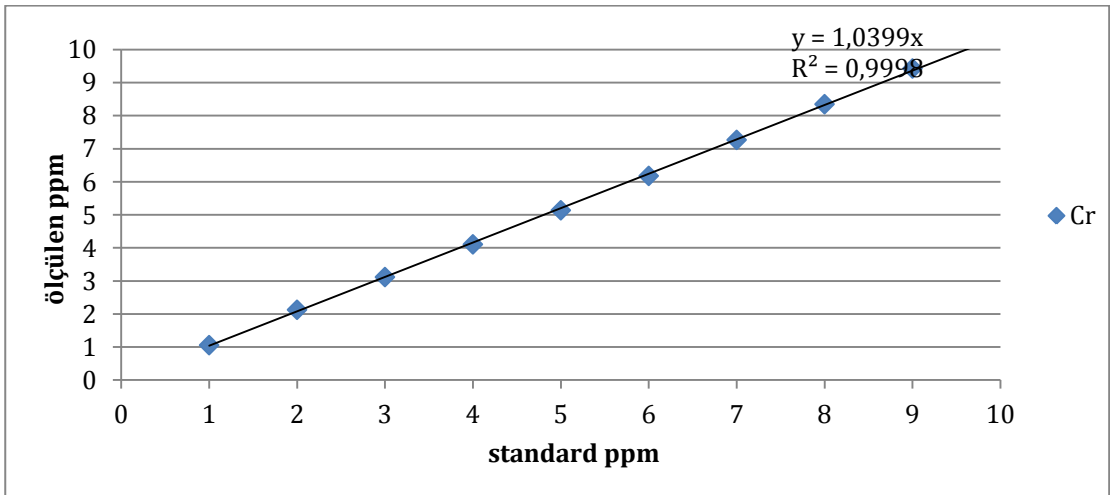
CCA ile emprenyeli herhangi bir işleme tabi tutulmamış odun örneklerindeki (kontrol) ve farklı kimyasal maddelerle remidasyona tabi tutulmuş odun örneklerindeki bakır, krom, arsenik miktarlarını belirlemek amacıyla yapılan ICP analizleri sonucunda (verilerine göre) elde edilen pik alanları cihaz tarafından belirlenip ppm düzeyinde düzenlenmiştir. Bilinen konsantrasyonlara karşılık ölçülen değerler grafik çizilerek kalibrasyon eğrileri her bir element için tespit edilmiş ve Şekil 14-15-16'da verilmiştir.



Şekil 14. Standart bakır konsantrasyon kalibrasyon eğrisi



Şekil 15. Standart arsenik konsantrasyon kalibrasyon eğrisi



Şekil 16. Standart krom konsantrasyon kalibrasyon eğrisi

ICP analizi ile elde edilen sonuçlar yukarıda her bir metal için belirlenen kalibrasyon eğrisinden elde edilen formüle göre bakır, krom, arsenik konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Bakır konsantrasyonu (ppm): $y = 1,0006x$

Krom konsantrasyonu (ppm): $y = 1,0399x$

Arsenik konsantrasyonu (ppm): $y = 1,0581x$

Formülde yer alan x; bakır, krom ve arsenik miktarlarının standart değerleridir.

Remidasyon uygulanmayan (kontrol) CCA ile emprenyeli örneklerdeki bakır, krom ve arsenik konsantrasyonu Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Kontrol örneklerinden elde edilen bakır, krom ve arsenik konsantrasyonları (ppm)

Bakır Konsantrasyonu(ppm)		Krom Konsantrasyonu(ppm)		Arsenik konsantrasyonu(ppm)	
Ortalama	Std.	Ortalama	Std.	Ortalama	Std.
661,86	28.16	8879,27	14.14	7622,01	242.84

3.2. Remedasyon İşlemine Ait Bulgular

3.2.1. Remedasyon Sürecine Örneklerin Perasetik Asitte Bekletme Süresinin Etkisi

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), %1, %10, %25, %50, %100 konsantrasyonlarda hazırlanan perasetik asitle, 30dk, 1, 2, 6 ve 24 sa süreyle remedasyona tabi tutulmuş ve odun örneklerinden uzaklaştırılmayan arsenik miktarları belirlenmiş ve Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Perasetik asitle remedasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan arsenik miktarları

Perasetik Asit		Arsenik Ortalama(ppm)	Std. Sapma (ppm)
(%) Konsantrasyon	Süre		
Kontrol	-	7622.01	28.16
1	30dk	306.26	18.05
	1sa	285.74	4.07
	2sa	281.03	7.12
	6sa	280.49	.43
	24sa	295.22	40.71
10	30dk	454.06	22.27
	1sa	446.50	20.73
	2sa	393.13	14.31
	6sa	425.92	11.86
	24sa	288.15	27.83
25	30dk	474.30	30.68
	1sa	472.72	7.07
	2sa	354.10	7.07
	6sa	255.33	7.07
	24sa	197.62	28.70
50	30dk	345.90	6.12
	1sa	299.37	4.61
	2sa	251.23	3.42
	6sa	227.83	14.73
	24sa	76.30	19.39

Tablo 9'un devamı

Perasetik Asit		Arsenik Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
(%) Konsantrasyon	Süre		
Kontrol	-	7622.01	28.16
100	30dk	337.10	6.32
	1sa	297.51	1.26
	2sa	179.70	2.11
	6sa	102.19	22.86
	24sa	34.37	4.03

Perasetik asitte bekletilen örneklerdeki arsenik miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizinin sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Ortalaması	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F-Hesap	Önem Düzeyi
Asit (a)	284939.14	4	71234.78	229.93	.000
Asit süre (b)	270722.40	4	67680.60	218.45	.000
Asit + Asit süre (c)	106341.07	16	6646.31	21.45	.000
Hata	8055.06	26	309.81		
Toplam	121196324,31	52			

(a): Perasetik asit konsantrasyonu, (b): Perasetik asitte bekletilme süreleri, (c): Perasetik asit konsantrasyonu ve perasetik asitte bekletilme süreleri

Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerden uzaklaştırılan arsenik miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemli bulunmuştur. Remidasyon ile örneklerden uzaklaştırılan arsenik miktarı üzerine asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri karşılıklı etkileşimleri arsenik konsantrasyonlarına etkisi önemli bulunmuştur.

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, %10, %25, %50, %100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Perasetik asitle remidasyona uğratılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi

Perasetik Asit Konst. (%)	Ort	HG*	Ort	HG	Ort	HG	Ort	HG	Ort	HG	Ort	HG
% 100	190.17	A										
% 50			240.12	B								
% 1					289.74	C						
% 25							350.81	D				
% 10									401.55	E		
Kontrol											7622.01	F

* Aynı harfler istatistik anlamda gruplar arasında fark olmadığını göstermektedir.

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, 10, 25, 50, 100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre farklı asit konsantrasyonlarının arseniğin uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda etkili olduğu ve gruplar arasında farklar olduğu bulunmuştur.

Perasetik asitle farklı konsantrasyonlarda (%1, %10, %25, %50, %100) ve sürelerde (30dk, 1, 2, 6 ve 24sa) remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerine etkileri araştırılan, asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden, arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi

Perasetik Asit (Süre)	Ort	HG
24sa	178.33	A
6sa	258.35	B
2sa	291.83	C
1sa	360.36	D
30dk	383.52	E
Kontrol	7622.01	F

Perasetik asitle farklı konsantrasyonlarda (%1, %10, %25, %50, %100) ve sürede (30dk, 1, 2, 6 ve 24sa) remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre farklı sürelerde asit konsantrasyonlarına maruz bırakılan

örneklerde arseniğin uzaklaştırılması istatistiksel anlamda etkili bulunurken, bütün gruplar arasında farklar olduğu belirlenmiştir.

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), perasetik asidin hazırlanan konsantrasyonlarında remidasyona tabi tutulmuş ve bekletilen süreler (30dk, 1, 2, 6 ve 24sa) sonunda odun örneklerinden uzaklaştırılmayan krom miktarları belirlenmiş ve Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13. Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları

Perasetik Asit		Krom Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
(% Konst.)	Süre		
Kontrol	-	8879.27	14.14
1	30dk	352.93	19.88
	1sa	329.90	6.22
	2sa	326.72	11.98
	6sa	323.48	5.36
	24sa	347.49	53.08
10	30dk	587.26	48.88
	1sa	567.15	35.48
	2sa	484.83	13.68
	6sa	525.24	3.42
	24sa	341.24	32.22
25	30dk	532.78	63.94
	1sa	508.85	7.07
	2sa	378.83	7.07
	6sa	295.31	6.36
	24sa	241.26	34.87
50	30dk	355.21	7.07
	1sa	310.72	9.10
	2sa	272.06	4.45
	6sa	266.80	21.08
	24sa	94.22	53.00
100	30dk	348.68	2.15
	1sa	309.17	18.50
	2sa	193.32	4.24
	6sa	114.87	15.25
	24sa	60.38	4.15

Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonunun + asitte

bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Ortalaması	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F-Hesap	Önem düzeyi
Asit (a)	531973.59	4	132993.39	192.32	.000
Asit süre (b)	297768.16	4	74442.04	107.65	.000
Asit + Asit süre (c)	111411.04	16	6963.19	10.07	.000
Hata	17978.90	26	691.49		
Toplam	164379758,88	52			

(a): Perasetik asit konsantrasyonu, (b): Perasetik asitte bekletilme süreleri, (c): Perasetik asit konsantrasyonu ve perasetik asitte bekletilme süreleri

Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan odun örneklerinden uzaklaştırılan krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemli bulunmuştur. Perasetik asit konsantrasyonunun ve asitte bekletilme sürelerinin de karşılıklı etkileşimlerinin arsenik konsantrasyonlarına etkisi önemli bulunmuştur.

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyon gruplarının (%1-100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi

Perasetik Asit Konst.(%)	Ort.	HG
%100	205.28	A
%50	259.80	B
%1	336.10	C
%25	391.40	D
%10	501.14	E
Kontrol	8879.27	F

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, %10, %25, %50, %100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre farklı asit konsantrasyonlarının kromun uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda etkili olduğu ve gruplar arasında farklar olduğu bulunmuştur.

Perasetik asitle farklı konsantrasyonlarda (%1-100) ve sürelerde (30dk, 1, 2, 6 ve 24 sa) remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerine etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi

Perasetik Asit (Süre)	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
24sa	216.91	A						
6sa			305.14	B				
2sa			331.15	B				
1sa					405.16	C		
30dk					435.37	C		
Kontrol							8879.27	D

Perasetik asitle farklı konsantrasyonlarda (%1, %10, %25, %50, %100) ve sürelerde (30dk, 1, 2, 6 ve 24 sa) remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre; hazırlanan perasetik asit konsantrasyonlarında farklı sürelerde bekletilen örneklerden kromun uzaklaştırılmasında uygulanan 1, 6 ve 24 sa istatistiksel anlamda farklı bulunmuştur. Perasetik asitte 2, 6 sa ve 30 dk, 1 sa bekletilen örneklerin kendi arasında istatistiksel anlamda fark olmadığı bulunmuştur.

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), perasetik asidin hazırlanan konsantrasyonlarında 30dk, 1, 2, 6 ve 24 sa süreyle remidasyon işlemine maruz bırakılmıştır. Sürelerin sonunda odun örneklerinden uzaklaştırılamayan bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları

Perasetik Asit		Bakır Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
Konst.(%)	Süre		
Kontrol		661.86	242.84
1	30dk	93.18	14.45
	1sa	96.32	54.22
	2sa	108.37	5.38
	6sa	120.32	.96
	24sa	114.99	16.06
10	30dk	67.95	41.22
	1sa	48.55	19.52
	2sa	75.77	17.26
	6sa	72.82	11.72
	24sa	74.07	7.48
25	30dk	135.97	41.04
	1sa	108.91	7.07
	2sa	65.80	7.07
	6sa	51.31	7.07
	24sa	31.69	21.79
50	30dk	85.51	6.05
	1sa	58.82	3.43
	2sa	24.39	4.11
	6sa	45.20	12.73
	24sa	13.32	6.35
100	30dk	88.81	10.71
	1sa	57.81	17.29
	2sa	48.12	1.42
	6sa	24.04	10.33
	24sa	13.62	2.11

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan örneklerdeki bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri etkilerini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	F-Hesap	Önem düzeyi
Asit (a)	25743.69	4	6435.92	2.45	.071
Asit süre (b)	11034.25	4	2758.56	1.05	.399
Asit + Asit süre (c)	19228.24	16	1201.76	.45	.946
Hata	68086.23	26	2618.70		
Toplam	1238466.22	52			

(a): Perasetik asit konsantrasyonu, (b): Perasetik asitte bekletilme süreleri, (c): Perasetik asit konsantrasyonu ve perasetik asitte bekletilme süreleri

Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerinden uzaklaştırılan bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemsiz bulunmuştur. Remidasyona maruz bırakılan örnekler üzerine asit konsantrasyonunun ve asitte bekletilme sürelerinin karşılıklı etkileşimlerinin bakır konsantrasyonlarına etkisi önemsiz bulunmuştur.

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1-100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi

Perasetik Asit Konst.(%)	Ort.	HG	Ort.	HG
50	45.45	A		
100	46.48	A		
10	67.83	A		
25	78.73	A		
1	106.63	A		
Kontrol			661.86	B

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1-100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre hazırlanan asit konsantrasyonlarının bakırın uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda etkisi bulunmamıştır. Konsantrasyon grupları arasında fark görülmemiştir.

Perasetik asitle hazırlanan konsantrasyonlarda (%1, %10, %25, %50, %100) ve belirlenen sürelerde (30dk, 1, 2, 6 ve 24sa) remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin üzerine etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Perasetik asitle remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi

Perasetik Asit (Süre)	Ort.	HG	Ort.	HG
24sa	49.54	A		
6sa	62.74	A		
2sa	64.49	A		
1sa	74.08	A		
30dk	94.28	A		
Kontrol			661.86	B

Perasetik asitle farklı konsantrasyonlarda (%1, %10, %25, %50, %100) ve sürelerde (30dk, 1, 2, 6 ve 24sa) remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre hazırlanan perasetik asit konsantrasyonlarında belirlenen sürelerde remidasyona maruz bırakılan örneklerden bakırın uzaklaştırılması istatistiksel anlamda etkili bulunmamıştır. Gruplar arasında fark olmadığı belirlenmiştir.

3.2.2. Perasetik Asitle Remidasyona Maruz Bırakılan CCA ile Emprenyeli Örnekler Ozon Uygulanması

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), perasetik asidin hazırlanan konsantrasyonlarında 30dk, 1, 2, 6 ve 24sa bekletilerek remidasyon işlemine tabi tutulmuş ve bekletilen süreler sonunda 20 gr/sa ozon 15 ve 30 dk. boyunca örnekler üzerine uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra odun örneklerinden uzaklaştırılamayan arsenik miktarları belirlenmiş ve Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona maruz kalan odun örneklerinde kalan arsenik miktarları

Perasetik Asit Konst.(%)	Perasetik Asit (Süre)	Ozon (Süre/dk)	As Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
Kontrol	-	-	7622,01	28,16
1	30dk	15	346,15	15,79
	1sa		331,05	32,43
	2sa		408,76	43,90
	6sa		350,28	22,69
	24sa		335,47	17,03
	30dk	30	307,14	24,13
	1sa		378,71	131,98
	2sa		371,84	46,03
	6sa		361,36	36,57
	24sa		394,18	67,86
10	30dk	15	378,73	125,68
	1sa		407,78	40,04
	2sa		480,08	58,48
	6sa		397,31	71,99
	24sa		421,76	178,89
	30dk	30	441,61	83,49
	1sa		363,99	14,29
	2sa		342,79	9,16
	6sa		443,11	3,03
	24sa		281,79	20,50
25	30dk	15	344,14	49,91
	1sa		294,91	,33
	2sa		289,10	36,97
	6sa		385,49	41,51
	24sa		131,81	16,23
	30dk	30	359,73	36,79
	1sa		271,74	43,64
	2sa		254,15	15,62
	6sa		118,49	26,19
	24sa		316,07	65,13
50	30dk	15	348,41	19,09
	1sa		126,20	.
	2sa		308,52	57,26
	6sa		81,01	14,79
	24sa		243,23	3,18
	30dk	30	350,93	54,60
	1sa		344,36	64,76
	2sa		159,57	69,11
	6sa		339,95	61,17
	24sa		75,13	26,00

Tablo 21.'in devamı

Perasetik Asit Konst.(%)	Perasetik Asit (Süre)	Ozon (Süre/dk)	As Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
100	30dk	15	288,25	20,88
	1sa		107,65	16,15
	2sa		415,89	124,29
	6sa		89,57	9,91
	24sa		322,43	25,26
	30dk	30	279,37	99,07
	1sa		378,57	52,26
	2sa		82,61	9,51
	6sa		380,99	34,28
	24sa		29,08	6,25

Perasetik asit + ozon ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik miktarının uzaklaştırılması üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin, ozonda bekletilme + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. Perasetik asit + ozon ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik miktarının üzerine uygulanan asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri, ozon + asitte bekletilme sürelerinin, asit + ozon + asitte bekletilme sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	F-Hesap	Önem düzeyi
Asit (a)	411544,08	4	102886,02	31,78	,000
Ozon (b)	1675,72	1	1675,72	,51	,475
Asit süre (c)	82809,25	4	20702,31	6,39	,000
Asit + Ozon (d)	16382,38	4	4095,59	1,26	,296
Asit + Asit süre (e)	76737,19	16	4796,07	1,48	,144
Ozon + Asit süre (f)	182264,65	4	45566,16	14,07	,000
Asit + Ozon + Asit süre (g)	474403,35	16	29650,21	9,16	,000
Hata	161849,73	50	3236,99		
Toplam	126671514,74	101			

(a): Perasetik asit konsantrasyonu, (b): Ozon uygulanma süreleri, (c): Asitte bekletilme süreleri (d): Perasetik asit konsantrasyonu ve ozon uygulanma süreleri, (e): Perasetik asit konsantrasyonu ve ozon uygulanma süreleri, (f): Ozonda ve perasetik asitte bekletilme süreleri, (g): Perasetik asit konsantrasyonu, ozonda ve perasetik asitte bekletilme süreleri

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan örneklerden uzaklaştırılan arsenik miktarının üzerine ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme süreleri + ozon uygulanma süreleri, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık asit konsantrasyonunun, asitte bekletilme sürelerinin, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin ve asit konsantrasyonu +ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemli bulunmuştur. Örneklerin asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin ve asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin karşılıklı etkileşimlerinin arsenik uzaklaştırılmasında etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

CCA ile empenyeli örneklerin perasetik asidin hazırlanan konsantrasyonlarında remidasyona tabi tutulması üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, %10, %25, %50, %100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi

Perasetik Asit (% Konst.)	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
100	237,44	A				
50	243,60	A				
25	276,56	A				
1			358,49	B		
10			395,89	B		
Kontrol					7622,01	C

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz bırakılan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, 10, 25, 50, 100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre %100, 50 ve 25’lik perasetik asit konsantrasyonları arasında ve %1 ve %10’luk perasetik asit konsantrasyonları kendi aralarında arseniğin uzaklaştırılması istatistiksel anlamda farklı bulunmamıştır. Perasetik asidin %100, %50 ve % 25’lik konsantrasyon grupları ile %1 ve %10’luk konsantrasyon grupları arasında istatistiksel anlamda etkili olduğu bulunmuş ve gruplar arasında fark görülmüştür.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan ozon uygulanma sürelerinin (15-30dk) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında uygulanan ozon sürelerinin etkisi

Ozon (Süre / dk)	Ort.	HG	Ort.	HG
30	297,09	A		
15	309,01	A		
Kontrol			7622,01	B

Perasetik asit te bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan ozon uygulanma sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, örneklere uygulanan ozon süreleri istatistiksel anlamda etkili bulunmamış ve gruplar arasında fark görülmemiştir.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin üzerine etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi

Perasetik Asit (Süre)	Ort	HG	Ort	HG	Ort	HG
24sa	255,09	A				
6sa	294,75	A	294,75	AB		
1sa	309,67	A	309,67	AB		
2sa	311,33	A	311,33	AB		
30dk			344,44	B		
Kontrol					7622,01	C

Perasetik asitle remidasyona maruz bırakıldıktan sonra ozon ile belirlenen sürelerde bekletilen odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre 1, 2, 6 ve 24sa bekletilen örneklerin arseniğin uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda etkili olmadığı bulunmuştur. Bununla beraber 24sa perasetik asitte bekletilen örneklerle 30dk bekletilen örnek grupları arasında fark olduğu belirlenmiştir.

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), perasetik asidin hazırlanan konsantrasyonlarında 30dk, 1, 2, 6 ve 24sa bekletilmiş ve süreler sonunda her varyasyona ait örnek grupları 20gr/sa ozona 15 ve 30dk boyunca maruz bırakılmıştır. Bu işlemlerden sonra odun örneklerinde kalan krom miktarları belirlenmiş ve Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona remidasyonuna tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları

Tablo 26. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona remidasyonuna tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit (Süre)	Ozon (Süre / dk)	Krom Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
Kontrol	-	-	8879,27	14,14
1	30dk	15	402,72	30,97
	1sa		393,63	36,12
	2sa		488,31	57,90
	6sa		419,14	28,91
	24sa		389,43	18,46
	30dk	30	355,92	32,78
	1sa		444,75	167,67
	2sa		451,72	58,26
	6sa		427,91	45,44
	24sa		459,43	70,49
10	30dk	15	460,73	172,66
	1sa		484,35	36,21
	2sa		618,80	122,97
	6sa		486,30	98,46
	24sa		534,58	259,34
	30dk	30	568,21	124,83
	1sa		442,30	20,99
	2sa		409,60	13,97
	6sa		542,30	24,58
	24sa		326,31	26,44

Tablo 26'nın devamı

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit (Süre)	Ozon (Süre / dk)	Krom Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
25	30dk	15	362,62	53,71
	1sa		306,86	,60
	2sa		310,19	43,28
	6sa		401,61	46,85
	24sa		167,39	15,93
	30dk	30	375,15	31,02
	1sa		289,12	47,11
	2sa		266,31	21,22
	6sa		149,29	34,97
	24sa		336,54	62,82
50	30dk	15	361,77	16,33
	1sa		142,30	.
	2sa		325,21	51,82
	6sa		121,61	24,33
	24sa		261,67	2,38
	30dk	30	365,89	51,56
	1sa		359,08	62,19
	2sa		179,48	69,48
	6sa		359,97	63,95
	24sa		112,13	36,26
100	30dk	15	287,58	15,41
	1sa		131,67	15,00
	2sa		409,83	130,00
	6sa		114,60	10,47
	24sa		320,66	21,18
	30dk	30	274,53	96,16
	1sa		370,03	51,88
	2sa		102,72	8,50
	6sa		376,38	43,96
	24sa		56,99	7,26

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerindeki krom miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme süreleri, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları

	Kareler Ortalaması	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F-Hesap	Önem düzeyi
Asit ^(a)	911490,319	4	227872,580	44,578	,000
Ozon ^(b)	3564,912	1	3564,912	,697	,408
Asit Süre ^(c)	77296,699	4	19324,175	3,780	,009
Asit+ Ozon ^(d)	23672,552	4	5918,138	1,158	,341
Asit+ Asit Süre ^(e)	79101,257	16	4943,829	,967	,504
Ozon + Asit Süre ^(f)	191345,347	4	47836,337	9,358	,000
Asit + Ozon + Asit Süre ^(g)	419245,480	16	26202,843	5,126	,000
Hata	255586,567	50	5111,731		
Toplam	171349611,065	101			

(a):Perasetik asit konsantrasyonu, (b): Ozon uygulanma süreleri, (c): Perasetik asitte bekletilme süreleri, (d): Perasetik asitte konsantrasyonu ve ozon uygulanma süreleri, (e): Perasetik asit konsantrasyonu ve ozon uygulanma süreleri, (f): Ozonda ve perasetik asitte bekletilme süreleri, (g): Perasetik asit konsantrasyonu, ozonda ve perasetik asitte bekletilme süreleri

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan örneklerden uzaklaştırılan krom miktarının üzerine ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin ve asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemli bulunmuştur. Asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin ve asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin karşılıklı etkileşimleri kromun uzaklaştırılmasında önemli bulunmuştur.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, %10, %25, %50, %100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonlarının etkisi

Perasetik asit Konst. (%)	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
100	244,49	A				
50	265,05	A				
25	296,51	A				
1			423,29	B		
10			487,35	B		
Kontrol					8879,27	C

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyonuna tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, 10, 25, 50, 100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre %100, 50 ve 25'lik asit konsantrasyonları ile %10 ve %100'lük asit konsantrasyonları arasında kromun uzaklaştırılması istatistiksel anlamda farklı bulunmuştur. Bununla birlikte, %100, 50 ve 25 asit konsantrasyon gruplarının kendi aralarında, %1 ve %10'lük asit konsantrasyon gruplarının kendi arasında istatistiksel anlamda fark olmadığı bulunmuştur.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan ozon sürelerinin (15-30dk) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında uygulanan ozon sürelerinin etkisi

Ozon (Süre / dk)	Ort.	HG	Ort.	HG
30	336,08	A		
15	352,34	A		
Kontrol			8879,27	B

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan ozon uygulanma sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, örneklerin 15 ve 30 dk maruz bırakıldığı ozon süreleri istatistiksel anlamda etkili bulunmamış ve gruplar arasında fark görülmemiştir.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin üzerine etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında asitte bekletilme sürelerinin etkisi

Perasetik Asit (Süre)	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
24sa	296,51	A				
6sa	339,91	A	339,91	AB		
1sa	346,62	A	346,62	AB		
2sa	356,22	A	356,22	AB		
30dk			381,51	B		
Kontrol					8879,27	C

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla belirlenen sürelerde remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan perasetik asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre 1, 2, 6 ve 24sa bekletilen örneklerin kromun uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda farklı olmadığı bulunmuştur. Bununla beraber 1, 2, 6 ve 24sa perasetik asitte bekletilen örneklerle 30 dk bekletilen örnek grupları arasında fark olduğu belirlenmiştir.

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), perasetik asidin hazırlanan konsantrasyonlarında 30dk, 1, 2, 6 ve 24 sa bekletilerek remidasyona tabi tutulmuştur. Bekletilen süreler sonunda 20gr/sa ozon 15 ve 30dk. boyunca odun örneklerine uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra odun örneklerinden uzaklaştırılmayan bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 31'de verilmiştir.

Tablo 31. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit (Süre)	Ozon (Süre / dk)	Bakır Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
Kontrol	-	-	661,86	242,84
1	30dk	15	117,55	70,95
	1sa		119,93	12,68
	2sa		111,78	89,18
	6sa		136,29	11,30
	24sa		134,75	13,74
	30dk	30	131,45	12,67
	1sa		103,24	29,54
	2sa		140,94	18,49
	6sa		133,50	28,65
	24sa		116,78	8,16
10	30dk	15	39,82	17,02
	1sa		70,35	13,13
	2sa		88,65	77,34
	6sa		99,87	22,66
	24sa		88,49	,04
	30dk	30	102,05	15,12
	1sa		48,52	8,21
	2sa		69,79	27,74
	6sa		60,18	46,75
	24sa		58,07	1,76
25	30dk	15	66,16	10,24
	1sa		60,42	8,08
	2sa		45,31	4,59
	6sa		77,75	10,20
	24sa		29,01	1,83
	30dk	30	76,46	16,02
	1sa		49,34	14,65
	2sa		51,64	3,51
	6sa		23,96	6,01
	24sa		54,41	17,86
50	30dk	15	64,72	3,06
	1sa		30,61	.
	2sa		53,79	3,28
	6sa		41,11	9,60
	24sa		48,12	1,32
	30dk	30	69,64	9,14
	1sa		61,54	9,23
	2sa		37,42	13,10
	6sa		60,36	16,05
	24sa		36,77	10,88

Tablo 31'in devamı

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit (Süre)	Ozon (Süre / dk)	Bakır Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
100	30dk	15	72,63	5,88
	1sa		40,31	16,96
	2sa		94,18	52,63
	6sa		56,64	5,62
	24sa		78,52	5,65
	30dk	30	74,35	25,95
	1sa		95,22	12,26
	2sa		50,40	1,09
	6sa		88,54	27,35
	24sa		10,37	1,27

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan örneklerdeki bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan örneklerdeki bakır miktarının üzerine asit konsantrasyonunun, ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestli derecesi	Kareler toplamı	F-Hesap	Önem düzeyi
Asit ^(a)	71098,503	4	17774,626	9,701	,000
Ozon ^(b)	149,847	1	149,847	,082	,776
Asit süre ^(c)	3494,828	4	873,707	,477	,753
Asit + Ozon ^(d)	659,806	4	164,952	,090	,985
Asit + Asit süre ^(e)	4603,810	16	287,738	,157	1,000
Ozon + Asit süre ^(f)	4684,698	4	1171,174	,639	,637
Asit + Ozon + Asit Süre ^(g)	19345,920	16	1209,120	,660	,818
Hata	91615,205	50	1832,304		
Toplam	1611356,304	101			

(a): Perasetik asit konsantrasyonu, (b): Ozonda bekletilme süresi, (c): Perasetik asitte bekletilme süreleri, (d): Perasetik asit konsantrasyonu ve ozonda bekletilme süresi, (e): Perasetik asit konsantrasyonu ve ozonda bekletilme süresi, (f): Ozonda ve perasetik asitte bekletilme süresi, (g): Perasetik asit konsantrasyonu, ozonda ve perasetik asitte bekletilme süresi

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozonla remidasyona tabi tutulan örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarının üzerine ozon uygulanma sürelerinin, asitte bekletilme sürelerinin, asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin, ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin ve asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin etkileri önemsiz bulunmuş, asit konsantrasyonunun etkileri önemli bulunmuştur. Örneklerin asit konsantrasyonu + ozon uygulanma sürelerinin, asit konsantrasyonu + asitte bekletilme sürelerinin, ozon uygulanan süreleri + asitte bekletilme sürelerinin ve asit konsantrasyonu + ozon uygulanma süreleri + asitte bekletilme sürelerinin karşılıklı etkileşimleri bakırın uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan perasetik asit konsantrasyonlarının (%1, %10, %25, %50, %100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 33'de verilmiştir.

Tablo 33. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asit konsantrasyonunun etkisi

Perasetik Asit (% Konst.)	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
50	51,45	A				
25	53,44	A				
100	66,11	A				
10	72,58	A				
1			124,62	B		
Kontrol					661,86	C

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon remidasyonuna tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, %10, %25, %50, %100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre %100, %50, %10 ve %25'lik perasetik asit konsantrasyonları arasında fark bulunmamış, %1'lik aside maruz bırakılan örneklerle %100, %50, %10 ve %25'lik perasetik aside maruz bırakılan örnekler arasında bakırın uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda fark olduğu bulunmuştur.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan ozon uygulama sürelerinin (15-30dk) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 34’te verilmiştir.

Tablo 34. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında uygulanan ozon sürelerinin etkisi

Ozon (Süre / dk)	Ort.	HG	Ort.	HG
30	72,20	A		
15	75,57	A		
Kontrol			661,86	B

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan uygulanan ozon sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, örneklere uygulanan ozon süresi (15-30dk) istatistiksel anlamda etkili bulunmamış ve gruplar arasında fark görülmemiştir.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin üzerine etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 35’te verilmiştir.

Tablo 35. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında asitte bekletilen sürelerin etkisi

Perasetik Asit (Süre)	Ort.	HG	Ort.	HG
24sa	65,53	A		
1sa	69,91	A		
2sa	74,39	A		
6sa	77,82	A		
30dk	81,48	A		
Kontrol			661,86	B

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile belirlenen sürelerde remidasyona tabi tutulan odun örneklerinin üzerinde etkileri araştırılan asitte bekletilme sürelerinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre örneklerin asitte bekletilme sürelerinin bakırın uzaklaştırılmasında istatistiksel anlamda etkili olmadığı bulunmuş ve örnek grupları arasında fark olmadığı belirlenmiştir.

3.2.3. Çözücünün Örneklerden Uzaklaştırılan Arsenik, Krom ve Bakır Miktarına Etkisi

CCA ile emprenyeli örneklerden krom, bakır ve arseniğin uzaklaştırılmasında çözücünün etkisi, ozon konsantrasyonuna göre belirlenmiştir. Emprenyeli odun örnekleri (40mesh) ve örneklerin asetonla hazırlanan çözeltileri 5dk, 10dk, 30dk boyunca 5gr/sa, 10gr/sa, 15gr/sa, 20gr/sa ozonla remidasyona tabi tutulmuş ve örneklerden uzaklaştırılmayan arsenik miktarları belirlenmiş ve Tablo 36’da verilmiştir.

Tablo 36. Remidasyona tabii tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan arsenik miktarları

Ozon Konsantrasyonu (gr/sa)	Çözücü Madde	Süre (dk)	As Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
5	Aseton	5	325,31	50,86
	-	5	319,69	5,28
	Aseton	10	308,02	24,69
	-	10	318,27	37,2
	Aseton	30	399,10	71,61
	-	30	411,98	48,04
10	Aseton	5	439,37	48,18
	-	5	459,34	148,57
	Aseton	10	458,38	119,88
	-	10	333,01	23,97
	Aseton	30	463,29	17,49
	-	30	368,93	59,09

Tablo 36'nın devamı

Ozon Konsantrasyonu (gr/sa)	Çözücü Madde	Süre (dk)	As Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
15	Aseton	5	219,58	82,83
	-	5	346,30	122,65
	Aseton	10	317,38	17,67
	-	10	333,36	34,49
	Aseton	30	363,75	3,88
	-	30	329,50	30,16
20	Aseton	30	318,88	10,23
	-	30	308,37	41,91

Tabloya göre CCA ile emprenyeli örneklerin çözücü kullanılarak veya kullanmadan yapılan remidasyonunda ozon konsantrasyonlarının uzaklaştırdığı arsenik miktarlarından benzer sonuçlar sağlamıştır. Örneklerin remidasyona uğratıldığı 5dk, arseniğin uzaklaştırılmasında 10dk ve 30dk'ya göre etkili olduğu bulunmuştur.

Emprenyeli örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltisinin 10 dk süreyle 5gr/sa ozonla remidasyonu sonucunda 308,02 ppm, aseton kullanılmadan 10 dk süreyle 10gr/ sa ozonla remidasyonu sonucunda ise örneklerden uzaklaştırılmayan arsenik miktarı 333,01ppm olarak saptanmıştır. Çözücü olarak aseton kullanıldığında 5dk. boyunca 15gr/sa ozon uygulandığında 219,58 ppm arsenik remidasyon sonrası örneklerde kalmıştır. En fazla uzaklaştırılan arsenik, 5dk. boyunca 15gr/sa. ozon uygulanan örneklerden elde edilmiş, çözücü olarak aseton kullanılan örneklerin 30 dk boyunca 10gr/sa ozonla remidasyona tabi tutulması sonucunda ise odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik miktarı (463,29 ppm) bu çalışma kapsamında uygulanan ozon konsantrasyonları arasında arseniğin en az uzaklaştırıldığı miktardır.

Emprenyeli odun örnekleri (40mesh) ve örneklerin asetonla hazırlanan çözeltileri 5dk, 10dk, 30dk. boyunca 5gr/sa, 10gr/sa, 15gr/sa, 20gr/sa ozonla remidasyona tabi tutulmuş ve örneklerden uzaklaştırılmayan krom miktarları belirlenmiş ve Tablo 37'de verilmiştir.

Tablo 37. Remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları

Ozon Konsantrasyonu (gr/sa)	Çözücü Madde	Süre (dk)	Cr Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
5	Aseton	5	348,73	56,56
	-	5	331,12	6,63
	Aseton	10	330,47	26,78
	-	10	332,17	40,93
	Aseton	30	435,61	89,28
	-	30	440,28	50,96
10	Aseton	5	476,24	66,83
	-		505,55	191,47
	Aseton	10	512,88	157,38
	-	10	346,74	27,71
	Aseton	30	514,63	23,43
	-	30	386,84	63,01
15	Aseton	5	223,24	96,95
	-	5	356,13	133,31
	Aseton	10	336,53	29,09
	-	10	349,93	40
	Aseton	30	390,84	3,89
	-	30	340,74	34,13
20	Aseton	30	342,61	9,18
	-	30	315,83	43,93

Emprenyeli odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltileri 5dk süreyle 15gr/sa ozonla remidasyona uğratıldığında, en fazla miktarlarda krom (223,24 ppm) uzaklaştırılmıştır. Remidasyon örneklerinde en fazla miktarlarda kalan krom (514,63 ppm) 30dk boyunca 15gr/sa ozon uygulandığında elde edilmiştir. Remidasyon süresi arttıkça örneklerden uzaklaştırılan krom miktarları genel olarak azalmış ve süreye bağlı olarak örneklere uygulanan ozon miktarının kromu odundan uzaklaştırmada önemli oranda etkili olmadığı görülmüştür.

Emprenyeli odun örnekleri (40mesh) ve örneklerin asetonla hazırlanan çözeltileri 5dk, 10dk, 30dk. süre boyunca 5gr/sa, 10gr/sa, 15gr/sa, 20gr/sa ozonla remidasyona tabi tutulmuş ve örneklerden uzaklaştırılamayan bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 38'de verilmiştir.

Tablo 38. Remidasyona tabi tutulan CCA ile emprenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları

Ozon Konsantrasyonu (gr/sa)	Çözücü Madde	Süre (dk)	Cu Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
5	Aseton	5	110,88	57,26
	-	5	101,57	1,5
	Aseton	10	165	11,84
	-	10	144,01	32,71
	Aseton	30	130,03	29,56
	-	30	135,77	64,81
10	Aseton	5	86,58	13,88
	-	5	143,52	74,23
	Aseton	10	93,95	10,64
	-	10	164,62	6,62
	Aseton	30	141,79	30,87
	-	30	124,41	18,53
15	Aseton	5	71,44	7,67
	-	5	104,12	35,76
	Aseton	10	174,06	3,07
	-	10	132,32	88,12
	Aseton	30	158,9	18,29
	-	30	80,44	27,29
20	Aseton	30	146,15	5,03
	-	30	176,7	27,3

Remidasyon çözültisinin hazırlanmasında kullanılan aseton odundan bakırın uzaklaştırılmasında krom ve arseniğe göre daha etkili bulunmuştur. Tabloya göre asetonla hazırlanan çözelti örnekleri 5dk boyunca 15gr/sa ozonla remidasyona maruz bırakılması sonucunda uzaklaştırılamayan bakır miktarı 71,44 ppm olarak tespit edilmiştir. Remidasyon örneklerinde en fazla miktarda uzaklaştırılamayan bakır miktarı, aseton olmadan 20gr/sa ozonun 30 dk süreyle uygulanması sonucu elde edilmiş ve 176,7 ppm olarak saptanmıştır.

Remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının üzerine çözücünün etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 39'da verilmiştir.

Tablo 39. Remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının üzerine çözücünün etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları

		Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	F-Hesap	Önem düzeyi
As	Gruplar arasında	152778,04	19	8040,95	1,976	,070
	Gruplar içinde	81383,71	20	4069,18		
	Toplam	234161,76	39			
Cr	Gruplar arasında	223783,17	19	11778,06	1,960	,072
	Gruplar içinde	120207,54	20	6010,37		
	Toplam	343990,71	39			
Cu	Gruplar arasında	38270,38	19	2014,23	1,455	,206
	Gruplar içinde	27688,21	20	1384,41		
	Toplam	65958,60	39			

Çözücü kullanarak yada kullanılmadan, farklı süre ve konsantrasyonlarda ozonla remidasyona tabi tutulan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarlarının gruplar arasında etkileri önemsiz bulunmuştur.

CCA ile emprenyeli örneklerin remidasyonu üzerine çözücünün ve ozon konsantrasyonunun etkileri araştırılmış ve remidasyona tabi tutulan örneklerdeki çözücünün homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 40-41-42'de verilmiştir.

Tablo 40. Remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında kullanılan çözücünün etkisi

Çözücü	Süre (dk)	Ozon Konst (gr/sa)	Ort.	HG	Ort.	HG
Aseton	5	15	219,58	A		
Aseton	10	5	308,02	A	308,02	AB
-	30	20	308,37	A	308,37	AB
Aseton	10	15	317,38	A	317,38	AB
-	10	5	318,27	A	318,27	AB
Aseton	30	20	318,88	A	318,88	AB
-	5	5	319,69	A	319,69	AB

Tablo 40'ın devamı

Çözücü	Süre (dk)	Ozon Konst (gr/sa)	Ort.	HG	Ort.	HG
Aseton	5	5	325,31	A	325,31	AB
-	30	15	329,50	A	329,50	AB
-	10	10	333,01	A	333,01	AB
-	10	15	333,36	A	333,36	AB
-	5	15	346,30	A	346,30	AB
Aseton	30	15	363,75	A	363,75	AB
-	30	15	368,93	A	368,93	AB
Aseton	30	5			399,10	B
-	30	5			411,98	B
Aseton	5	10			439,37	B
Aseton	10	10			458,38	B
-	5	10			459,34	B
Aseton	30	10			463,29	B

* Duncan testi sonuçlarına göre aynı harfi taşıyan gruplar arasında istatistiksel açıdan fark yoktur.

Asetonla ve aseton olmadan farklı ozon konsantrasyonlarında remidasyona uğrayan örneklerin homojenlik sınıfları Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Aseton olmadan 5 gr/sa ozonla 30dk boyunca ve 10gr/sa ozonla 5dk boyunca remidasyona bırakılan empenyeli örnekler ile asetonla hazırlanan çözeltilerinin 10gr/sa ozonla 5dk, 10dk ve 30 dk süreyle veya 30 dk süre 5gr/sa ozonla remidasyona bırakılan örnek grupları arasında istatistiksel anlamda fark bulunmazken, diğer örnek gruplarıyla aralarında istatistiksel anlamda fark olduğu bulunmuştur.

Tablo 41. Remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında kullanılan çözücünün etkisi

Çözücü	Süre (dk)	Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG*	Ort.	HG	Ort.	HG
Aseton	5	15	223,24	A				
-	30	20	315,83	A	315,83	B		
Aseton	10	5	330,47	A	330,47	AB	330,47	ABC
-	5	5	331,12	A	331,12	AB	331,12	ABC
-	10	5	332,17	A	332,17	AB	332,17	ABC
Aseton	10	15	336,53	A	336,53	AB	336,53	ABC
-	30	15	340,74	A	340,74	AB	340,74	ABC
Aseton	30	20	342,61	A	342,61	AB	342,61	ABC
-	10	10	346,74	A	346,74	AB	346,74	ABC
Aseton	5	5	348,73	A	348,73	AB	348,73	ABC
-	10	15	349,93	A	349,93	AB	349,93	ABC
-	5	15	356,13	A	356,13	AB	356,13	ABC
-	30	10	386,84	A	386,84	AB	386,84	ABC
Aseton	30	15	390,84	A	390,84	AB	390,84	ABC
Aseton	30	5			435,61	AB	435,61	ABC
-	30	5			440,28	AB	440,28	ABC
Aseton	5	10			476,24	AB	476,24	ABC
-	5	10			505,55	AB	505,55	ABC
Aseton	10	10					512,88	C
Aseton	30	10					514,63	C

Asetonla ve aseton olmadan farklı ozon konsantrasyonlarında remidasyona uğrayan örneklerin homojenlik sınıfları Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. 15 gr/sa ozonla 5dk boyunca remidasyona uğratılan örneklerin asetonlu çözeltileri ve 10gr/sa ozonla 10dk boyunca remidasyona bırakılan örneklerin asetonlu çözeltileri arasında istatistiksel anlamda fark olduğu bulunmuştur.

Tablo 42. Remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında kullanılan çözücünün etkisi

Çözücü	Süre (dk)	OzonKonst. (gr/sa)	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
Aseton	5	15	71,44	A				
-	30	15	80,44	A	80,44	AB		
Aseton	5	10	86,58	A	86,58	AB	86,58	ABC
Aseton	10	10	93,95	A	93,95	AB	93,95	ABC
-	5	5	101,57	A	101,57	AB	101,57	ABC
-	5	15	104,12	A	104,12	AB	104,12	ABC
Aseton	5	5	110,88	A	110,88	AB	110,88	ABC
-	30	10	124,41	A	124,41	AB	124,41	ABC
Aseton	30	5	130,03	A	130,03	AB	130,03	ABC
-	10	15	132,32	A	132,32	AB	132,32	ABC
-	30	5	135,77	A	135,77	AB	135,77	ABC
Aseton	30	10	141,79	A	141,79	AB	141,79	ABC
-	5	10	143,52	A	143,52	AB	143,52	ABC
-	10	5	144,01	A	144,01	AB	144,01	ABC
Aseton	30	20	146,15	A	146,15	AB	146,15	ABC
Aseton	30	15	158,90	A	158,90	AB	158,90	ABC
-	10	10			164,62	AB	164,62	ABC
Aseton	10	5			165,00	AB	165,00	ABC
Aseton	10	15					174,06	C
-	30	20					176,70	C

Asetonla ve aseton olmadan farklı ozon konsantrasyonlarında remidasyona uğrayan örneklerin homojenlik sınıfları Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. 15 gr/sa ozonla 5dk boyunca remidasyona maruz kalan örneklerin aseton kullanılarak hazırlanan çözeltileri ile 10gr/sa ozonla 15dk boyunca remidasyona bırakılan örneklerin asetonlu çözeltileri arasında istatistiksel anlamda fark olduğu bulunmuştur. 10 gr/sa ozonla 15dk boyunca remidasyona maruz kalan örneklerin aseton kullanılarak hazırlanan çözeltileri, 30gr/sa

ozonla 20dk boyunca remidasyona bırakılan emprenyeli örnek grupları arasında istatistiksel anlamda fark olmadığı bulunmuştur

3.2.4. Ozon Konsantrasyonunun Örneklerin Remidasyonu Üzerine Etkisi

Çözücü olarak aseton kullanılarak çözeltisi hazırlanan emprenyeli odun örnekleri farklı ozon konsantrasyonlarında (5, 10, 15, 20gr/sa) ozonla remidasyona uğratılmıştır. Ozon konsantrasyonlarına göre CCA ile emprenyeli örneklerden uzaklaştırılmayan arsenik, krom ve bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 43’de verilmiştir.

Tablo 43. Ozon ile remidasyonu sonucunda asetonlu çözeltisi hazırlanan örnek gruplarında kalan arsenik, krom ve bakır miktarları

	Ozon konst. (gr/sa)	Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
As	5	344,14	59,47
	10	453,68	59,39
	15	300,23	75,96
	20	318,88	10,23
Cr	5	371,60	70,01
	10	501,25	79,57
	15	316,87	88,89
	20	342,61	9,18
Cu	5	135,30	38,22
	10	107,44	31,15
	15	134,80	50,35
	20	146,15	5,034

Remidasyona maruz bırakılan örneklerin aseton kullanılarak hazırlanan çözeltilerinde kalan en az arsenik, krom miktarları 15gr/sa ozon uygulandığında elde edilmiş, bu değerler sırasıyla 300,23 ppm, 316,87 ppm olarak bulunmuştur. 10gr/sa ozon uygulandığında odundan uzaklaştırılmayan bakır miktarı 107,44 ppm bulunmuş ve bu konsantrasyonda ozona maruz kalan örneklerde en fazla miktarda bakır uzaklaştırılmıştır. Emprenyeli örneklerden uzaklaştırılmayan en fazla arsenik ve krom miktarları 10gr/sa ozona maruz kalındığında elde edilmiş, sırasıyla 453,68ppm, 501,25ppm olarak bulunmuştur. 20gr/sa ozona maruz kalan örnek gruplarında kalan bakır miktarı en fazla bulunmuş, örneklerden en az miktarda bakır uzaklaşmıştır.

Örneklerin asetonlu çözeltilerinin ozonla remidasyonunda arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi yapılmış, ve sonuçlar Tablo 44'te verilmiştir.

Tablo 44. Örneklerin asetonlu çözeltilerinin ozonla remidasyonunda arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları

		Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	F- hesap	Önem düzeyi
As	Gruplar arasında	78941,22	3	26313,74	6,549	,004
	Gruplar içinde	64285,14	16	4017,82		
Cr	Gruplar arasında	112837,84	3	37612,61	6,284	,005
	Gruplar içinde	95773,25	16	5985,82		
Cu	Gruplar arasında	3792,19	3	1264,06	,814	,505
	Gruplar içinde	24861,63	16	1553,85		

Örneklerin asetonlu çözeltilerinin ozon ile remidasyonunda, ozon konsantrasyonlarının uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmıştır. Remidasyona tabi tutulan odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik, krom miktarının gruplar arasındaki etkileri istatistiksel anlamda önemli bulunurken, bakır miktarının gruplar arasında etkileri istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur.

CCA ile empenyeli örneklerin aseton kullanılarak hazırlanan çözeltilerinin ozonla remidasyonunda, ozon konsantrasyonunun arsenik, krom ve bakırı uzaklaştırması üzerine etkileri araştırılmış ve homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 45-46-47'de verilmiştir.

Tablo 45. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltilerinden arseniğin uzaklaştırılmasında ozon konsantrasyonunun etkisi

Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG	Ort.	HG
15	300,23	A		
20	318,88	A		
5	344,14	A		
10			453,68	B

Aseton kullanılarak hazırlanan CCA ile emprenyeli örneklerin çözeltilerine uygulanan ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan arsenik miktarları üzerine etkileri Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre 5gr/sa, 15gr/sa ve 20gr/sa ozon uygulanan örneklerde istatistiksel anlamda fark görülmemiş, 10gr/sa ozon uygulanan örnek gruplarında istatistiksel anlamda fark olduğu bulunmuştur.

Tablo 46. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltilerinden kromun uzaklaştırılmasında ozon konsantrasyonunun etkisi

Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG	Ort.	HG
15	316,87	A		
20	342,61	A		
5	371,60	A		
10			501,25	B

Aseton kullanılarak hazırlanan CCA ile emprenyeli örneklerin çözeltilerine uygulanan ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan krom miktarları üzerine etkileri Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre 5gr/sa, 15gr/sa ve 20gr/sa ozon uygulanan örneklerde istatistiksel anlamda fark görülmemiş, 10gr/sa ozon uygulanan örnek gruplarında istatistiksel anlamda fark olduğu bulunmuştur.

Tablo 47. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltilerinden bakırın uzaklaştırılmasında ozon konsantrasyonunun etkisi

Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG
10	107,44	A
15	134,80	A
5	135,30	A
20	146,15	A

Aseton kullanılarak hazırlanan CCA ile empenyeli örneklerin çözeltilerine uygulanan ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan bakır miktarları üzerine etkileri Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre gruplar arasında istatistiksel anlamda fark olmadığı bulunmuştur.

CCA ile empenyeli örneklerin ozonla remidasyonunda ozon konsantrasyonlarının örneklerden uzaklaştırılmayan arsenik, krom ve bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 48’de verilmiştir.

Tablo 48. Ozon remidasyonu sonucunda empenyeli örnek gruplarında uzaklaştırılmayan arsenik, bakır ve krom miktarları

	Ozon Konst (gr/sa)	Ortalama(p pm)	Std. Sapma (ppm)
As	5	349,98	55,23
	10	387,09	92,83
	15	336,38	59,08
	20	308,37	41,91
Cr	5	367,85	63,32
	10	413,04	117,20
	15	348,93	64,46
	20	315,83	43,93
Cu	5	127,12	38,20
	10	144,18	38,77
	15	105,62	49,97
	20	176,70	27,30

CCA ile empenyeli odun örnekleri 20gr/sa ozon konsantrasyonuyla remidasyona maruz bırakıldığında odun örneklerinden uzaklaştırılmayan arsenik ve krom miktarları, bu çalışma kapsamında uygulanan diğer konsantrasyonlarla (5,10,15 gr/sa) remidasyona

maruz bırakılan odun örneklerinden uzaklaştırılmayan arsenik ve krom miktarlarına göre en az olduğu tespit edilmiş ve bu değerler sırasıyla 308,37 ppm, 315,83 ppm olarak bulunmuştur. 15gr/sa ozon uygulandığında odundan uzaklaştırılmayan bakır miktarı 105,62 ppm bulunmuş ve bu konsantrasyonda ozona maruz kalan örneklerde en fazla miktarda bakır uzaklaştırılmıştır. Örneklerden uzaklaştırılmayan en fazla arsenik ve krom miktarları, odun örneklerinin 10gr/sa ozona maruz kalındığında elde edilmiş, sırasıyla 387,09 ppm, 413,04 ppm olarak bulunmuştur. Örneklerden uzaklaştırılmayan en fazla bakır miktarı ise 20gr/sa ozon uygulandığında elde edilmiş bu değer 176,7 ppm olarak belirlenmiştir.

Örneklerin ozonla remidasyonunda arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 49'da verilmiştir.

Tablo 49. Örneklerin ozonla remidasyonunda arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları

		Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler Toplaması	F-hesap	Önem düzeyi
As	Gruplar arasında	12668,91	3	4222,97	,871	,476
	Gruplar içinde	77555,40	16	4847,21		
Cr	Gruplar arasında	19671,07	3	6557,02	,941	,444
	Gruplar içinde	111445,77	16	6965,36		
Cu	Gruplar arasında	9172,63	3	3057,54	1,744	,198
	Gruplar içinde	28049,79	16	1753,11		

CCA ile emprenyeli örneklerin remidasyonunda ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmıştır. Remidasyona tabi tutulan odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasında etkileri istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur.

Remidasyon işleminde CCA ile emprenyeli odun örneklerine uygulanan ozon konsantrasyonunun arsenik, krom ve bakırı uzaklaştırması üzerine etkileri araştırılmıştır. Homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 50-51-52'de verilmiştir.

Tablo 50. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan emprenyeli odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında uygulanan ozon konsantrasyonunun etkisi

Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG
20	308,37	A
15	336,38	A
5	349,98	A
10	387,09	A

Aseton kullanılmadan hazırlanan CCA ile emprenyeli örneklerin çözeltilerine uygulanan ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan arsenik miktarları üzerine etkileri Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre 5gr/sa, 15gr/sa ve 20gr/sa ozon uygulanan örneklerde istatistiksel anlamda fark görülmemiştir.

Tablo 51. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan emprenyeli odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında uygulanan ozon konsantrasyonunun etkisi

Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG
20	315,83	A
15	348,93	A
5	367,85	A
10	413,04	A

Aseton kullanılmadan hazırlanan CCA ile emprenyeli örneklerin çözeltilerine uygulanan ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan krom miktarları üzerine etkileri Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre 5gr/sa, 15gr/sa ve 20gr/sa ozon uygulanan örneklerde istatistiksel anlamda fark görülmemiştir.

Tablo 52. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan emprenyeli odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında uygulanan ozon konsantrasyonunun etkisi

Ozon Konst. (gr/sa)	Ort.	HG	Ort.	HG
15	105,62	A		
5	127,12	A	127,12	AB
10	144,18	A	144,18	AB
20			176,70	B

Aseton kullanılmadan hazırlanan CCA ile emprenyeli örneklerin çözeltilerine uygulanan ozon konsantrasyonunun uzaklaştırılan bakır miktarları üzerine etkileri Duncan testi yapılarak belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre 5gr/sa, 15gr/sa ve 10gr/sa ozon uygulanan örneklerde istatistiksel anlamda fark görülmezken, 20gr/sa ozon uygulanan örnek gruplarında istatistiksel anlamda fark olduğu görülmüştür.

3.2.5. Perasetik Asitte Bekletme Süresinin Remidasyona Etkisi

Emprenyeli 40 mesh'lik odun örnekleri perasetik asitle %1, %10, %25, %50 ve %100'lük konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerde 30dk, 1, 2, 6 ve 24sa süreyle remidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Odun örneklerinden uzaklaştırılamayan arsenik miktarları belirlenip Tablo 53'de verilmiştir.

Tablo 53. Perasetik asitte bekletilen emprenyeli odun örneklerinde kalan arsenik miktarları

Perasetik Asit Konst. (%)	Süre	As Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
1	30dk	306,26	18,05
	1sa	285,74	4,072
	2sa	281,03	7,12
	6sa	280,49	0,43
	24sa	295,22	40,71
10	30dk	454,06	22,27
	1sa	446,5	20,73
	2sa	393,13	14,31
	6sa	425,92	11,86
	24sa	288,15	27,83
25	30dk	474,30	30,68
	1sa	472,72	7,07
	2sa	354,1	7,07
	6sa	255,33	7,07
	24sa	197,62	28,70

Tablo 53'ün devamı

Perasetik Asit Konst. (%)	Süre	As Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
50	30dk	345,9	6,12
	1sa	299,37	4,610
	2sa	251,23	3,42
	6sa	227,83	14,73
	24sa	76,30	19,39
100	30dk	337,1	6,32
	1sa	297,51	1,26
	2sa	179,70	2,11
	6sa	102,19	22,86
	24sa	34,37	4,03

Perasetik asitte bekletilen örneklerden, %50'lik konsantrasyonda hazırlanıp 24sa boyunca bekletilen örneklerde kalan arsenik miktarı 34,375 ppm bulunmuş ve diğer varyasyonlara göre uzaklaştırılan miktarın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Odun örneklerinden asitte bekletilme sürelerine göre en az uzaklaştırılan arsenik, %25'lik perasetik asit konsantrasyonunda 30dk boyunca bekletilen örneklerden elde edilmiştir.

Emprenyeli 40 mesh'lik odun örnekleri perasetik asidin %1, %10, %25, %50 ve %100 konsantrasyonlarında hazırlanan çözeltilerinde 30dk, 1, 2, 6 ve 24sa süreyle remidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Odun örneklerinden uzaklaştırılamayan krom miktarları belirlenip Tablo 54'te verilmiştir.

Tablo 54. Perasetik asitte bekletilen emprenyeli odun örneklerinde kalan krom miktarları

Perasetik Asit Konst. (%)	Süre	Cr Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
1	30dk	352,93	19,88
	1sa	329,90	6,22
	2sa	326,72	11,98
	6sa	323,48	5,36
	24sa	347,49	53,08
10	30dk	587,26	48,88
	1sa	567,15	35,48
	2sa	484,83	13,68
	6sa	525,24	3,42
	24sa	341,24	32,22
25	30dk	532,78	63,94
	1sa	508,85	7,07
	2sa	378,83	7,07
	6sa	295,31	6,36
	24sa	241,26	34,87
50	30dk	355,21	7,07
	1sa	310,72	9,10
	2sa	272,06	4,45
	6sa	266,8	21,08
	24sa	94,22	53,00
100	30dk	348,68	2,15
	1sa	309,17	18,50
	2sa	193,32	4,24
	6sa	114,875	15,25
	24sa	60,38	4,15

Perasetik asitte bekletilen örneklerden, %100 konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerde 24 sa boyunca bekletilen örneklerde kalan krom miktarı 60,38 ppm bulunmuş ve diğer varyasyonlara göre uzaklaştırılan miktardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Odun örneklerinden asitte bekletilme sürelerine göre en az uzaklaştırılan krom, %10 konsantrasyonda 30dk boyunca remidasyona maruz bırakılan örneklerden elde edilmiş ve ortalama değeri 587,265 ppm bulunmuştur.

Emprenyeli 40 mesh'lik odun örnekleri perasetik asidin %1, %10, %25, %50 ve %100 konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerinde 30dk, 1, 2, 6 ve 24sa süreyle remidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Odun örneklerinden uzaklaştırılamayan bakır miktarları belirlenip Tablo 55'te verilmiştir.

Tablo 55. Perasetik asitte bekletilen emprenyeli odun örneklerinde kalan bakır miktarları

Perasetik Asit Konst. (%)	Süre	Cu Ortalama (ppm)	Std.Sapma (ppm)
1	30dk	93,18	14,453
	1sa	96,32	54,22
	2sa	108,37	5,38
	6sa	120,325	0,96
	24sa	114,99	16,06
10	30dk	67,95	41,22
	1sa	48,55	19,52
	2sa	75,77	17,26
	6sa	72,82	11,72
	24sa	74,07	7,48
25	30dk	135,97	41,04
	1sa	108,91	7,07
	2sa	65,8	7,07
	6sa	51,31	7,07
	24sa	31,69	21,79
50	30dk	85,51	6,05
	1sa	58,82	3,43
	2sa	24,39	4,11
	6sa	45,20	12,73
	24sa	13,32	6,35
100	30dk	88,81	10,71
	1sa	57,81	17,29
	2sa	48,12	1,42
	6sa	24,04	10,33
	24sa	13,62	2,11

Perasetik asidin % 50'lik konsantrasyonuyla 24sa boyunca ve %100'lük konsantrasyonuyla 24sa boyunca remidasyona maruz bırakılan örneklerde kalan bakır miktarları sırasıyla 13,325 ppm ve 13,625 ppm bulunmuş ve bu değerlerin diğer

varyasyonlardan uzaklaştırılan bakır miktarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Perasetik asitte bekletilme sürelerine göre odun örneklerinden en az miktarda uzaklaştırılan bakır miktarı, %25'lik asit konsantrasyonunda 30dk boyunca bekletilen örneklerden elde edilmiştir.

Perasetik asitte bekletilen örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasında etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizinin sonuçları Tablo 56'da verilmiştir. Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkileri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Tablo 56. Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarını belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi

		Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	F-hesap	Önem düzeyi
As	Gruplar arasında	662002,61	24	27583,44	94,96	,000
	Gruplar içinde	7261,84	25	290,47		
	Toplam	669264,46	49			
Cr	Gruplar arasında	941152,80	24	39214,70	55,14	,000
	Gruplar içinde	17778,70	25	711,14		
	Toplam	958931,51	49			
Cu	Gruplar arasında	56006,18	24	2333,59	6,40	,000
	Gruplar içinde	9114,15	25	364,56		
	Toplam	65120,34	49			

CCA ile empenyeli odun örneklerinin perasetik asitle remidasyona uğratılmasında perasetik asitte bekletilme sürelerinin arsenik, krom ve bakırın uzaklaştırılmasındaki etkileri araştırılmıştır. Homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 57-58 ve Ek Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 57. Perasetik asitle remidasyona uğratılan örneklerden arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletilme süresinin etkisi

Perasetik Asit Konst(%) + Süre	HG*											
% 100 / 24sa	A											
% 50 / 24 sa		B										
% 100 / 6 sa		B										
% 100 / 2sa			C									
% 25 / 24 sa			C	CD								
% 50 / 6sa				D	DE							
% 50 / 2sa					E	EF						
% 25 / 6sa					E	EF						
% 1 / 6sa						F	FG					
% 1 / 2sa						F	FG					
% 1 / 1sa						F	FG					
% 10 / 24 sa						F	FG					
% 1 / 24 sa							G					
% 100 / 1sa							G					
% 50 / 1 sa							G					
% 1 / 30dk							G	GH				
% 100 / 30dk								H	HI			
% 50 / 30dk									I			
% 25 / 2sa									I			
% 10 / 2sa										J		
% 10 / 6sa										J	JK	
% 10 / 1sa											JK	JKL
% 10 / 30 dk											K	KL
% 25/ 1sa												L
% 25 / 30dk												L

* Duncan testi sonuçlarına göre benzer harfler arasında istatistiksel anlamda fark yoktur.

Tablo 58. Perasetik asitle remidasyona uğratılan örneklerden kromun uzaklaştırılmasında asitte bekletilme süresinin etkisi

Perasetik Asit Konst(%) + Süre	HG*									
% 100 /24 sa	A									
% 50 /24 sa	A									
% 100/6sa	A									
% 100 /2sa		B								
% 25 /24 sa		B	BC							
% 50 /6sa			C	CD						
% 50 /2sa			C	CD	CDE					
% 25/6sa			C	CD	CDE	CDEF				
% 100 /1sa				D	DE	CDEF				
% 50 / 1sa				D	DE	DEF				
% 1/ 6sa				D	DE	DEF	DEFG			
% 1/2sa				D	DE	DEF	DEFG			
% 1 /1sa					E	EF	EFG			
% 10 /24sa						F	FG			
% 1/24 sa						F	FG			
% 100 /30dk						F	FG			
% 1 / 30 dk						F	FG			
% 50 /30dk						F	FG			
% 25/ 2sa							G			
% 10 /2sa								H		
% 25 /1sa								H	HI	
% 10 /6sa								H	HI	
% 25/30dk								H	HI	HIJ
% 10 /1sa									I	IJ
% 10 /30dk										J

*Duncan testi sonuçlarına göre benzer harfler arasında istatistiksel anlamda fark yoktur.

3.2.6. CCA ile Emprenyeli Örneklerle Perasetik Asitle Remidasyona Uğratıldıktan Sonra Ozon Uygulanmasının Arsenik, Krom ve Bakırın Uzaklaştırılmasında Etkisi

Emprenyeli odun örnekleri (40 mesh), perasedik asidin farklı konsantrasyonlarında hazırlanan çözeltileriyle 30dk, 1, 2, 6 ve 24sa süreyle remidasyon işlemine tabi tutulmuş ve bu süreler sonunda 15 ve 30 dk. süreyle 20gr/sa ozona maruz bırakılmıştır. Bu işlemlerden sonra odun örneklerinden uzaklaştırılmayan arsenik, krom ve bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 59-60-61'de verilmiştir.

Tablo 59. Perasetik asitte bekletilen örneklere ozon uygulanması sonucunda uzaklaştırılmayan arsenik miktarları

Perasetik Asit Konst (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon süre (dk)	As Ortalama (ppm)	Standart Sapma (ppm)
1	30dk	15	346,15	15,79
	30dk	30	378,71	131,98
	1sa	15	408,76	43,90
	1sa	30	361,36	36,57
	2sa	15	335,47	17,03
	2sa	30	307,14	24,13
	6sa	15	331,05	32,43
	6sa	30	371,84	46,03
	24sa	15	350,28	22,69
	24sa	30	394,18	67,86
10	30dk	15	378,73	125,68
	30dk	30	363,99	14,29
	1sa	15	480,08	58,48
	1sa	30	443,11	3,03
	2sa	15	421,76	178,89
	2sa	30	441,61	83,49
	6sa	15	407,78	40,043
	6sa	30	342,79	9,16
	24sa	15	397,31	71,99
	24sa	30	281,79	20,50
25	30dk	15	359,73	36,79
	30dk	30	294,91	0,33
	1sa	15	254,15	15,62
	1sa	30	385,49	41,51
	2sa	15	316,07	65,13
	2sa	30	344,14	49,91
	6sa	15	271,74	43,64
	6sa	30	289,10	36,97
	24sa	15	118,49	26,19
	24sa	30	131,81	16,23

Tablo 59'un devamı

Perasetik Asit Konst (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon süre (dk)	As Ortalama (ppm)	Standart Sapma (ppm)
50	30dk	15	348,41	19,09
	30dk	30	344,36	64,76
	1sa	15	308,52	57,26
	1sa	30	339,95	61,17
	2sa	15	243,23	3,189
	2sa	30	350,93	54,60
	6sa	15	126,2	0
	6sa	30	159,57	69,11
	24sa	15	81,01	14,79
	24sa	30	75,13	26,00
100	30dk	15	288,25	20,88
	30dk	30	378,57	52,26
	1sa	15	415,89	124,29
	1sa	30	380,99	34,28
	2sa	15	322,43	25,26
	2sa	30	279,37	99,07
	6sa	15	107,65	16,15
	6sa	30	82,61	9,51
	24sa	15	89,57	9,91
	24sa	30	29,08	6,25

Perasetik asitte bekletilen örneklerden, %100 konsantrasyonda 24sa boyunca remidasyona uğratıldıktan sonra 30dk ozona maruz kalan örneklerden uzaklaştırılmayan arsenik miktarı 29,08 ppm bulunmuş, %10 konsantrasyonda 1sa boyunca remidasyona uğratıldıktan sonra 15dk ozona maruz kalan örneklerde kalan arsenik miktarı 480,08 ppm belirlenmiştir. Odun örneklerinin remidasyonu sonucunda perasetik asit konsantrasyonuna ve remidasyon sürelerine göre diğer varyasyonlara kıyasla en fazla uzaklaştırılan arsenik miktarı, odun örneklerinin %100 perasetik asitte 24sa süreyle bekletildikten sonra 30dk ozon uygulanan örnek gruplarından elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçların genelinde örneklerin asitte bekletildiği konsantrasyon ve süre arttıkça örneklerden uzaklaştırılan arsenik miktarında artış gözlenmiştir.

Tablo 60. Perasetik asitte bekletilen örneklere ozon uygulanması sonucunda uzaklaştırılmayan krom miktarları

Perasetik Asit Konst (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon süre (dk)	Cr Ortalama (ppm)	Standart Sapma (ppm)
1	30dk	15	402,72	30,97
	30dk	30	444,75	167,67
	1sa	15	488,31	57,90
	1sa	30	427,91	45,44
	2sa	15	389,43	18,46
	2sa	30	355,92	32,78
	6sa	15	393,63	36,12
	6sa	30	451,72	58,26
	24sa	15	419,14	28,91
	24sa	30	459,43	70,49
10	30dk	15	460,73	172,66
	30dk	30	442,30	20,99
	1sa	15	618,80	122,97
	1sa	30	542,30	24,58
	2sa	15	534,58	259,34
	2sa	30	568,21	124,83
	6sa	15	484,35	36,21
	6sa	3	409,6	13,97
	24sa	15	486,30	98,46
	24sa	30	326,31	26,44
25	30dk	15	375,15	31,02
	30dk	30	306,86	0,60
	1sa	15	266,31	21,22
	1sa	30	401,61	46,85
	2sa	15	336,545	62,82
	2sa	30	362,62	53,71
	6sa	15	289,12	47,11
	6sa	30	310,19	43,28
	24sa	15	149,29	34,97
	24sa	30	167,39	15,93

Tablo 60'ın devamı

Perasetik Asit Konst (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon süre (dk)	Cr Ortalama (ppm)	Standart Sapma (ppm)
50	30dk	15	361,77	16,33
	30dk	30	359,08	62,19
	1sa	15	325,21	51,82
	1sa	30	359,97	63,95
	2sa	15	261,67	2,38
	2sa	30	365,89	51,56
	6sa	15	142,3	0
	6sa	30	179,48	69,48
	24sa	15	121,61	24,33
	24sa	30	112,13	36,26
	100	30dk	15	287,58
30dk		30	370,03	51,88
1sa		15	409,83	130,00
1sa		30	376,38	43,96
2sa		15	320,66	21,18
2sa		30	274,53	96,16
6sa		15	131,67	15,00
6sa		3	102,72	8,50
24sa		15	114,6	10,47
24sa		30	56,99	7,26

Perasetik asitin %100 konsantrasyonuyla 24 sa boyunca remidasyona uğratıldıktan sonra 30 dk süreyle ozona maruz kalan örneklerden uzaklaştırılamayan krom miktarı 56,99 ppm bulunmuş, %10 konsantrasyonuyla 1 sa boyunca remidasyona uğratıldıktan sonra 15 dk süreyle ozona maruz kalan örneklerde kalan krom miktarı 618,80 ppm olarak bulunmuştur. Odun örneklerinin remidasyonu sonucunda perasetik asit konsantrasyonuna ve remidasyon sürelerine göre diğer varyasyonlara kıyasla en fazla uzaklaştırılan arsenik, %100 perasetik asitte bekletildikten sonra 30dk ozon uygulanan örnek gruplarından elde edilmiştir.

Tablo 60'a göre kromun uzaklaştırılmasında en iyi ve en kötü sonucu veren örnek grubu ile kromun uzaklaştırılmasında en iyi ve en kötü sonucu veren örnek gruplarının aynı olduğu bulunmuştur. Örneklerin asitte bekletildiği konsantrasyon ve sürenin artması örneklerden uzaklaştırılan krom miktarını da arttırmıştır.

Tablo 61. Perasetik asitte bekletilen örneklere ozon uygulanması sonucunda uzaklaştırılmayan bakır miktarları

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon süre (dk)	Cu Ortalama (ppm)	Standart Sapma (ppm)
1	30dk	15	117,55	70,95
	30dk	30	103,24	29,54
	1sa	15	111,78	89,18
	1sa	30	133,5	28,65
	2sa	15	134,75	13,74
	2sa	30	131,45	12,67
	6sa	15	119,93	12,68
	6sa	30	140,94	18,49
	24sa	15	136,29	11,30
	24sa	30	116,78	8,16
10	30dk	15	39,82	17,02
	30dk	30	48,52	8,21
	1sa	15	88,65	77,34
	1sa	30	60,18	46,75
	2sa	15	88,49	0,04
	2sa	30	102,05	15,12
	6sa	15	70,35	13,13
	6sa	30	69,79	27,74
	24sa	15	99,87	22,66
	24sa	30	58,07	1,760
25	30dk	15	76,46	16,02
	30dk	30	60,42	8,08
	1sa	15	51,64	3,51
	1sa	30	77,75	10,20
	2sa	15	54,41	17,86
	2sa	30	66,16	10,24
	6sa	15	49,34	14,65
	6sa	30	45,31	4,59
	24sa	15	23,96	6,01
	24sa	30	29,01	1,83

Tablo 61'in devamı

50	30dk	15	64,72	3,06
	30dk	30	61,54	9,23
	1sa	15	53,79	3,28
	1sa	30	60,36	16,05
	2sa	15	48,12	1,32
	2sa	30	69,64	9,14
	6sa	15	30,61	0
	6sa	30	37,42	13,10
	24sa	15	41,11	9,60
	24sa	30	36,77	10,88
100	30dk	15	72,63	5,88
	30dk	30	95,22	12,26
	1sa	15	94,18	52,63
	1sa	30	88,54	27,35
	2sa	15	78,52	5,65
	2sa	30	74,35	25,95
	6sa	15	40,31	16,96
	6sa	30	50,40	1,09
	24sa	15	56,64	5,62
	24sa	30	10,375	1,27

CCA ile empenyeli örneklerin perasetik asitte bekletildiği konsantrasyon arttıkça örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarları da artmıştır. Perasetik asit konsantrasyonu arttıkça, örneklerin perasetik asitte bekletildikleri sürelerin artmasıyla uzaklaştırılan bakır miktarı da artmıştır. Örnekler perasetik asidin 100 konsantrasyonunda 24sa bekletildikten sonra 30dk ozona maruz kaldığında en fazla miktarda bakır (10,375 ppm) uzaklaştırılmıştır. Örnekler perasetik asidin %1 konsantrasyonunda 6sa bekletildikten sonra 30dk ozona maruz kaldığında ise en az miktarda bakır (140,94 ppm) uzaklaştırılmıştır.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz kalan odun örneklerindeki arsenik miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 62'de verilmiştir.

Tablo 62. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz kalan odun örneklerindeki arsenik miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları

		Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	F- Hesap	Önem düzeyi
As	Gruplar arasında	1774753,87	64	27730,52	10,976	,000
	Gruplar içinde	164220,73	65	2526,47		
	Toplam	1938974,60	129			
Cr	Gruplar arasında	2315431,41	64	36178,61	8,879	,000
	Gruplar içinde	264853,80	65	4074,67		
	Toplam	2580285,21	129			
Cu	Gruplar arasında	146900,66	64	2295,32	4,173	,000
	Gruplar içinde	35748,46	65	549,97		
	Toplam	182649,12	129			

Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örnek gruplarındaki arsenik, krom ve bakır miktarının etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasında etkileri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz kalan odun örnekleri üzerinde etkileri araştırılan asitte bekletme (30dk, 1sa, 2sa, 6sa, 24sa) ve ozona (15-30dk) maruz kalma süresinin homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 63'te verilmiştir.

Tablo 63. Perasetik asitte bekletildikten sonra ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında asitte bekletme ve ozona maruz kalma süresinin etkisi

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon Süre(dk)	HG*																	
			A	AB	ABC	C	CD	D	DE	E	EF	EFG	EFGH	EFGHI						
100	24 sa	30	A																	
50	24 sa	30	A	AB																
50	24 sa	15	A	AB																
100	6 sa	30	A	AB																
100	24 sa	15	A	AB																
100	6 sa	15	A	AB																
25	24 sa	15	A	AB																
50	6 sa	15	A	AB	ABC															
25	24 sa	30				C	CD													
50	6 sa	30						D	DE											
50	2 sa	15						D	DE											
25	1 sa	15						D	DE											
25	6 sa	15							E	EF										
100	2 sa	30							E	EF										
10	24 sa	30							E	EF	EFG									
100	30 dk	15							E	EF	EFG									
25	6 sa	30							E	EF	EFG									
25	30 dk	30							E	EF	EFG	EFGH								
1	2 sa	30							E	EF	EFG	EFGH								
50	1 sa	15							E	EF	EFG	EFGH								
25	2 sa	15							E	EF	EFG	EFGH								
100	2 sa	15							E	EF	EFG	EFGH								
1	6 sa	15							E	EF	EFG	EFGH								
1	2 sa	15							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
50	1 sa	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
10	6 sa	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
25	2 sa	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
50	30 dk	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
1	30 dk	15							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
50	30 dk	15							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
1	24 sa	15							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
50	2 sa	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
25	30 dk	15							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
1	1 sa	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
10	30 dk	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
1	6 sa	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							
100	30 dk	30							E	EF	EFG	EFGH	EFGHI							

Tablo 63'ün devamı

Perasetik Asit Konst. (%)	Perasetik Asit Süre	Ozon Süre(dk)	HG*								
1	30 dk	30					E	EF	EFG	EFGH	EFGHI
10	30 dk	15					E	EF	EFG	EFGH	EFGHI
100	1 sa	30					E	EF	EFG	EFGH	EFGHI
25	1 sa	30					E	EF	EFG	EFGH	EFGHI
1	24 sa	30					E	EF	EFG	EFGH	EFGHI
10	24 sa	15					E	EF	EFG	EFGH	EFGHI
10	6 sa	15						F	FG	FGH	FGHI
1	1 sa	15						F	FG	FGH	FGHI
100	1 sa	15							G	GH	GHI
10	2sa	15							G	GH	GHI
10	2 sa	30								H	HI
10	1 sa	30								H	HI
10	1 sa	15									I

* Duncan testi sonuçlarına göre benzer harfler arasında istatistiksel anlamda fark yoktur.

Perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz kalan odun örnekleri üzerinde kromun ve bakırın uzaklaştırılmasında etkileri araştırılan perasetik asitte bekletme (30dk, 1sa, 2sa, 6sa, 24sa) ve ozona (15-30dk) maruz kalma sürelerinin homojenlik sınıfları belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Ek Tablo 2-3'te verilmiştir.

3.2.7. Örnek Boyutlarının Remidasyon Üzerindeki Etkisi

Emprenyeli 40 mesh, 60 mesh'ten küçük ve masif odun (5x30x50 mm) örnekleri 15 ve 30 dk süreyle 20gr/sa ozonla remidasyona tabi tutulmuştur. Remidasyon işlemi sonrasında örnek boyutlarına göre örneklerden uzaklaştırılmayan arsenik, krom ve bakır miktarları belirlenmiş ve Tablo 64'te verilmiştir.

Tablo 64. Ozon uygulanan örnek gruplarında kalan arsenik, bakır ve krom miktarları

	Örnek Boyutu	Ozon (Süre/dk)	Ortalama (ppm)	Std. Sapma (ppm)
As	5x30x50mm	15	1029,30	,000
	5x30x50mm	30	1068,95	16,89
	<60 mesh	15	815,28	19,56
	<60 mesh	30	890,31	400,69
	40 mesh	15	621,50	70,49
	40 mesh	30	604,97	4,44
Cr	5x30x50mm	15	121,34	,000
	5x30x50mm	30	119,09	28,12
	<60 mesh	15	212,48	58,87
	<60 mesh	30	200,22	21,97
	40 mesh	15	160,98	22,52
	40 mesh	30	233,12	175,32
Cu	5x30x50mm	15	126,10	,000
	5x30x50mm	30	123,77	29,23
	<60 mesh	15	220,82	61,18
	<60 mesh	30	208,08	22,83
	40 mesh	15	167,30	23,39
	40 mesh	30	115,72	3,22

CCA ile empenyeli farklı boyutlardaki örneklere 15 ve 30 dk ozon uygulanması sonucunda 5x30x50mm örneklere 30dk ozon uygulandığında uzaklaştırılan arsenik (1068,95 ppm) en az miktarlarda elde edilmiştir. 40 mesh örneklere 30dk ozon uygulandığında uzaklaştırılan arsenik (604,97 ppm) en fazla miktarda elde edilirken, aynı şartlarda krom (233,12ppm) en az miktarlarda elde edilmiştir. 5x30x50mm örneklere 15dk ozon uygulandığında uzaklaştırılan krom (121,34ppm) en fazla miktarlarda elde edilmiştir. 60 mesh'ten küçük örneklerin 15dk boyunca ozonla remidasyonunda en fazla miktarda bakır (220,82ppm) odunda kalmıştır. 40 mesh'lik örneklerin 30dk boyunca ozonla remidasyonunda en az miktarda bakır (115,72ppm) odundan uzaklaştırılamamıştır.

Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış, sonuçları Tablo 65'te verilmiştir.

Tablo 65. Perasetik ile remidasyona tabi tutulan örneklerdeki arsenik, krom ve bakır miktarının gruplar arasındaki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan basit varyans analizi sonuçları

		Kareler Ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler Toplaması	F- hesap	Önem düzeyi
As	Gruplar arasında	388717,11	5	77743,42	2,806	,121
	Gruplar içinde	166214,45	6	27702,40		
Cr	Gruplar arasında	23239,57	5	4647,91	,775	,601
	Gruplar içinde	35987,13	6	5997,85		
Cu	Gruplar arasında	20974,41	5	4194,88	4,433	,049
	Gruplar içinde	5677,41	6	946,23		

Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan örnek gruplarındaki uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarına odun boyutunun etkisini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmıştır. Perasetik asit ile remidasyona tabi tutulan 40 mesh, 60 mesh'in altında kalan ve masif odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik ve krom miktarının gruplar arasında istatistiksel anlamda önemsiz, bakır miktarının ise önemli olduğu bulunmuştur.

Perasetik asitle remidasyona tabi tutulan odun örnekleri üzerine etkileri araştırılan asit konsantrasyonlarının (%1, 10, 25, 50, 100) homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 66-67-68'de verilmiştir.

Tablo 66. Ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden arseniğin uzaklaştırılmasında odun boyutunun etkisi

Örnek boyutu	Ozon süre/dk	Ort.	HG	Ort.	HG
40mesh	30	604,97	A		
40mesh	15	621,50	A		
<60mesh	15	815,28	A	815,28	AB
<60meh	30	890,31	A	890,31	AB
5x30x50mm	15	1029,30	A	1029,30	AB
5x30x50mm	30			1068,95	B

Remidasyon uygulanan odun örneklerinin arseniğin uzaklaştırılması üzerinde etkisi araştırılan örnek boyutlarının homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre 30dk ozona maruz bırakılan masif odun örnekleri ile 15 ve 30 dk ozona maruz bırakılan 40 mesh örnek gruplarından istatistiksel anlamda farklı bulunmuştur.

Tablo 67. Ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden kromun uzaklaştırılmasında odun boyutunun etkisi

Örnek boyutu	Ozon süre/dk	Ort.	HG
5x30x50mm	30	119,09	A
5x30x50mm	15	121,34	A
40 mesh	15	160,98	A
<60mesh	30	200,22	A
<60mesh	15	212,48	A
40 mesh	30	233,12	A

Remidasyon uygulanan odun örneklerinin kromun uzaklaştırılması üzerinde etkisi araştırılan örnek boyutlarının homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre 15 ve 30 dk boyunca ozona maruz bırakılan örnek boyutları arasında istatistiksel anlamda fark bulunmamıştır.

Tablo 68. Ozonla remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılmasında odun boyutunun etkisi

Örnek boyutu	Ozon süre (dk)	Ort.	HG	Ort.	HG
40 mesh	30	115,72	A		
5x30x50mm	30	123,77	A		
5x30x50mm	15	126,10	A		
40 mesh	15	167,30	A	167,30	AB
<60mesh	30			208,08	B
<60mesh	15			220,82	B

Remidasyon uygulanan odun örneklerinden bakırın uzaklaştırılması üzerine etkisi araştırılan örnek boyutlarının homojenlik sınıflarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre 40 mesh boyutunda 15dk ve30dk ozona maruz kalan örnekler ile 5x30x50mm boyutunda 15 ve 30dk ozona maruz kalan örnekler arasında istatistiksel anlamda fark bulunmamıştır. 15 ve 30dk ozona maruz kalan 60 mesh'ten küçük örnek grupları arasında istatistiksel fark görülmemiştir.

3.3. Remidasyon Çözeltilerindeki Ozon Konsantrasyonuna Ait Bulgular

CCA ile emprenyeli örnekler (40 mesh) aseton ve saf suyla hazırlanan çözeltilerinde 5dk, 10dk, 15dk ve 20dk ve 30dk süreyle ozonla (20gr/sa) remidasyona uğratılmıştır. Bununla birlikte emprenyeli örnekler kullanılmadan aseton veya saf su 5dk, 10dk, 15dk ve 20dk ve 30dk boyunca ozona (20gr/sa) tabi tutulmuştur. Remidasyon sonrasında her bir varyasyona ait remidasyon sıvısında bulunan ozon konsantrasyonu örneklerin ozonda bekletildikleri sürelerle göre ppm cinsinden Tablo 69’te verilmiştir.

Tablo 69. Remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun ozonda bekletildikleri süreye göre belirlenmesi

Ozon süre (dk)	Saf su (ppm)	Aseton (ppm)	Saf su + Odun (ppm)	Aseton + Odun (ppm)
5	35	20	5	13
10	50	15	4	12
15	30	15	4	13
20	50	35	6	18
30	30	25	4	15

40 mesh’lik emprenyeli odun örnekleri kullanılarak veya kullanılmadan belirlenen sürelerde ozonda bekletilmiştir. Bu işlem sonunda remidasyon çözeltilerinden elde edilen bulgulara göre çözeltilerde ölçülen ozon konsantrasyonu en fazla 20dk ozon uygulanan örnek gruplarından elde edilmiştir. Ozonda 20dk bekletilen örneklerin remidasyon sıvısından ölçülen ozon miktarı, 30dk ozona maruz kalan örneklerin remidasyon sıvılarından ölçülen ozon miktarından daha fazla olduğu görülmüştür. CCA ile emprenyeli örnekler kullanılmadan aseton ve saf suyun ozonla muamelesi sonucunda ölçülen ozon konsantrasyonunun, emprenyeli odun örnekleri kullanılarak yapılan remidasyon işlemi sonucunda ölçülen ozon konsantrasyonundan daha fazla olduğu bulunmuştur.

CCA ile emprenyeli örneklerin (40 mesh) farklı perasetik asit konsantrasyonları, aseton ve saf su ile hazırlanan çözeltileri 5dk, 10dk, 15dk ve 20dk ve 30dk süreyle ozonla (20gr/sa) remidasyona uğratılmıştır. Bununla beraber emprenyeli örnekler kullanılmadan farklı perasetik asit konsantrasyonları, aseton ve saf su 5dk, 10dk, 15dk ve 20dk ve 30dk süreyle ozonla (20gr/sa) remidasyona uğratılmıştır. Remidasyon işleminden sonra her bir örnek grubuna ait remidasyon sıvılarından ölçülen ozon konsantrasyonlarının ortalamaları alınmış ve sonuçlar Tablo 70’te verilmiştir.

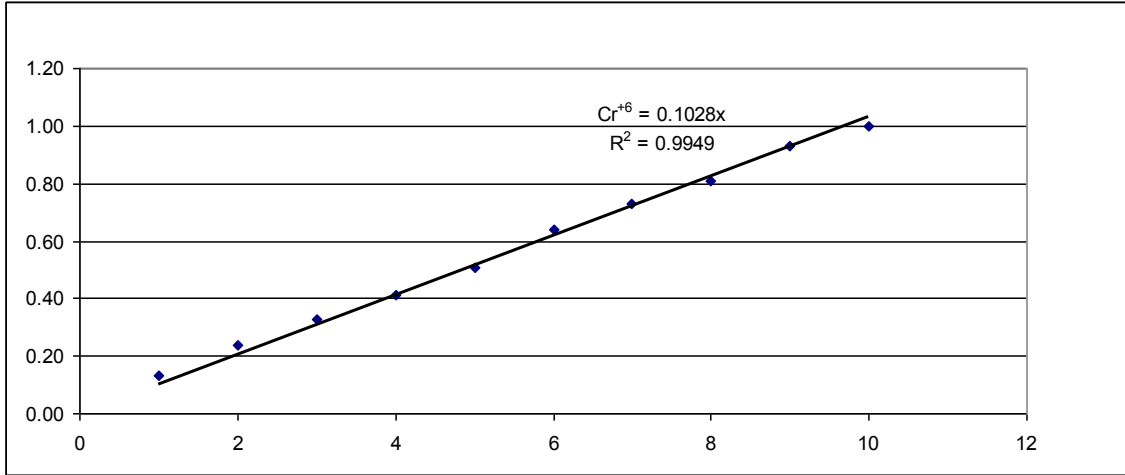
Tablo 70. Remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun örnek gruplarında belirlenmesi

Varyasyon	Perasetik asit+Ozon (ppm)	Perasetik asit+Odun+Ozon (ppm)
% 1	76	38
% 10	908	133
% 25	2640	1421
% 50	1300	575
% 100	1347,5	488
Saf su	39	4,6
Aseton	22	14,2

40 mesh'lik emprenyeli odun örnekleri kullanılmadan yapılan çözeltilere ozon uygulandığında sıvılardan ölçülen ozon miktarı, emprenyeli odun örnekleri kullanılarak yapılan remidasyon işlemi sonucunda elde edilen ozon miktarından daha fazla olduğu bulunmuştur. CCA ile emprenyeli örnekler kullanılmadan yapılan deneyler sonucunda örnek grupları içinde en fazla miktarda ozon konsantrasyonu %25'lik perasetik asitte, 2640 ppm olarak tespit edilmiştir. CCA ile emprenyeli örnekler kullanılmadan yapılan deneyler sonucunda örnek grupları içinde en az miktarda ozon konsantrasyonu asetonda elde edilmiş, 22 ppm olarak ölçülmüştür. 40 mesh'lik emprenyeli odun örnekleri kullanılarak yapılan remidasyon sonucunda her bir varyasyona ait remidasyon sıvılarından en fazla ve en az miktarda ozon konsantrasyonu sırasıyla %25'lik perasetik asitte (1421 ppm) ve saf suda (4,6 ppm) elde edilmiştir.

3.4. Cr⁺⁶ Tayini

Ozon ile remidasyona maruz bırakılan CCA ile emprenyeli odun örneklerinden uzaklaştırılan toplam kromun ne kadarının +6 değerlikli krom olduğunu belirlemek amacıyla elde edilen remidasyon çözeltileri 100 kat seyreltilmiştir. Seyreltilen çözeltinin pH'sı NaOH ile 10'a ayarlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 7 ml alınmış ve 3ml hidrojen peroksit ilave edilerek 10 ml lik tüplere doldurulmuştur. Cr⁺⁶ miktarları Palintest cihazıyla ölçülmüştür. Cihazın kalibrasyonunu yapmak amacıyla hazırlanan Standard Cr⁺⁶ (1-10 ppm) örnekleri cihazda ölçülerek kalibrasyon eğrisi belirlenmiştir (Şekil 17)



Şekil 17. Cr⁺⁶ kalibrasyon eğrisi

Remidasyon çözeltilerinde elde edilen Cr⁺⁶ miktarları Tablo 71’de verilmiştir.

Tablo 71. Ozon ile remidasyona maruz bırakılan odun örneklerinden uzaklaştırılan toplam krom ve Cr⁺⁶ miktarları

Remidasyon Süresi (dk)	Uzaklaştırılan Toplam Krom (ppm)	Cr+6 (ppm) Oda sıcaklığı	Oksidasyon Cr+6 %	Cr+6 (ppm) 80 °C	Oksidasyon Cr+6 %
5	8256.027	4863.813	58.91	7490.272	90.72
10	8515.042	5447.471	63.97	8463.035	99.38
15	8522.162	4474.708	52.51	7684.825	90.17
20	8418.231	4961.089	58.93	8073.930	95.91
30	8497.876	5155.642	60.67	7782.101	91.57

CCA ile empenyeli örneklerin (40 mesh) 10dk süreyle ozonla remidasyonu sonucunda elde edilen Cr⁺⁶ miktarı diğer bekletilen sürelerle kıyasla daha fazla bulunmuş, bununla beraber Cr⁺³’ün yükseltgenmesi için sıcaklık 80°C’ye artırılmış ve çözeltilerdeki Cr⁺⁶ miktarının arttığı tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında 10dk boyunca ozonla remidasyona maruz kalan remidasyon çözeltisi seyreltikten sonra pH’sı NaOH ile 10’a ayarlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerden 7 ml alınmış ve 3ml hidrojen peroksit ilave edilerek 10 ml lik tüplere doldurulup ölçülen Cr⁺⁶ miktarının %63 olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık 80°C’ye çıkarıldığında ise toplam kromun %99’unun Cr⁺⁶ olduğu belirlenmiştir.

3.5. Termogravimetrik Analiz (TGA)

TG analizi için 2,5 K/dk. hızla 600 °C' ye kadar ısıtılmış örneklerin bozulmaya başladığı sıcaklık değeri ve bozulduğu sıcaklık değeri ile sıcaklığa bağlı olarak kalan kütle miktarı % olarak Tablo 72'de verilmiştir.

Tablo 72. TG analizi sonucunda elde edilen veriler

Varyasyon	*Bş. S. (°C)	**B.S. (°C)	TG / %							
			%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Emprenyesiz odun	319,1	374,3	588,9	390,7	376,1	366,1	353,7	337,0	317,4	283,7
Emprenyeli odun	311,6	348,9	-	419,5	363,7	352,8	344,0	333,4	317,3	288,8
Sadece ozon uygulanan	311,7	348,5	598,3	422,7	364,5	352,9	344,0	333,3	316,8	287,7
%25asit 2sa	283,4	330,9	553,3	441,7	359,8	337,0	325,5	313,9	299,3	269,3
%25asit 2sa + ozon	287,8	319,2	-	510,1	379,8	330,6	319,8	310,3	295,2	266,0
%25asit 6sa	284,9	330,9	553,3	441,7	359,8	337,0	325,5	313,9	299,3	269,3
%25asit 6sa + ozon	280,4	311,8	457,8	415,5	366,5	326,8	314,4	304,3	289,5	259,0
%100asit 2sa	284,7	319,8	-	452,9	359,2	332,8	321,2	310,7	295,4	265,9
%100asit 2sa + ozon	278,4	312,7	-	511,8	381,8	326,9	314,8	304,8	288,9	255,4
%100asit 6sa	269,1	307,9	-	476,7	366,0	328,2	313,8	301,1	286,4	257,7
%100asit 6sa + ozon	286,5	322,5	453,7	401,7	346,6	328,2	318,4	307,6	290,3	252,1

* Başlangıç Sıcaklığı; ** Bozunma Sıcaklığı

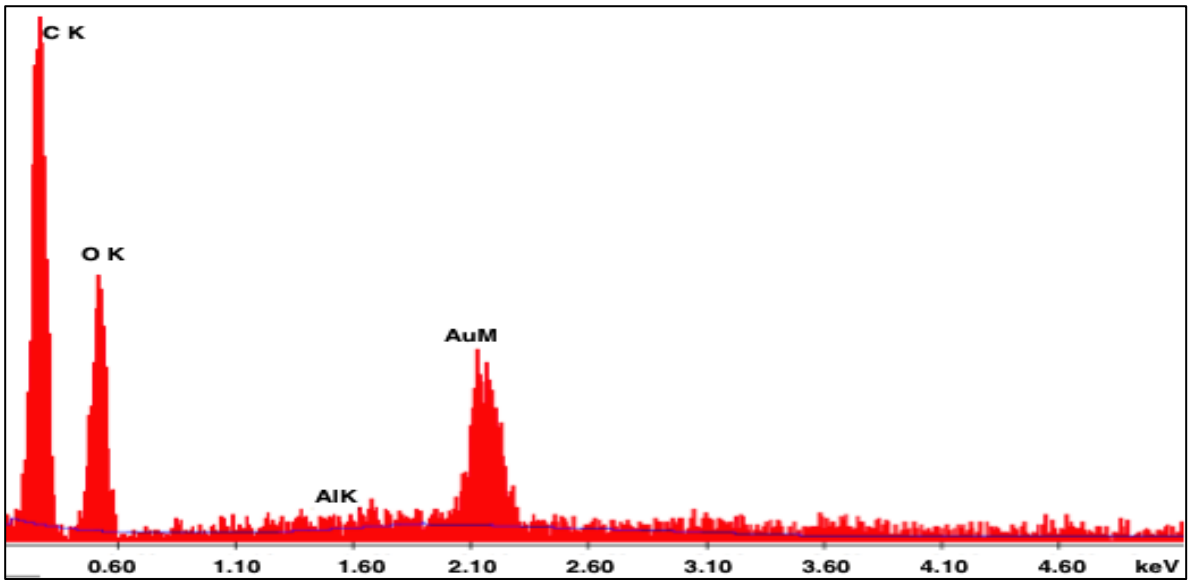
Emprenyesiz odun örneklerinin başlangıç bozunma sıcaklığı emprenyeli ve remidasyon işlemi uygulanmış örneklere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Başlangıç bozunma sıcaklığı en düşük olan örnek grubu %100 perasetik asit konsantrasyonunda 6sa bekletilen örneklerden elde edilmiştir. Perasetik asitte bekletilen ile perasetik asitte bekletilip ozona maruz bırakılan örnek gruplarının başlangıç bozunma sıcaklığı emprenyesiz ve emprenyeli veya sadece ozon uygulanan emprenyeli örneklere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Örnek grupları arasında asıl bozunma sıcaklığı en yüksek olan grup emprenyesiz örneklerde, en düşük bozunma sıcaklığı %25 perasetik asitte 6sa boyunca bekletildikten sonra ozon uygulanan örneklerden sağlanmıştır.

Başlangıç sıcaklığında katı ürün verimindeki azalış örneklerin kısmen bozunduğunu göstermektedir. Sıcaklık artışı ile beraber örneklerin katı ürün veriminde azalma olduğu gözlenmiştir.

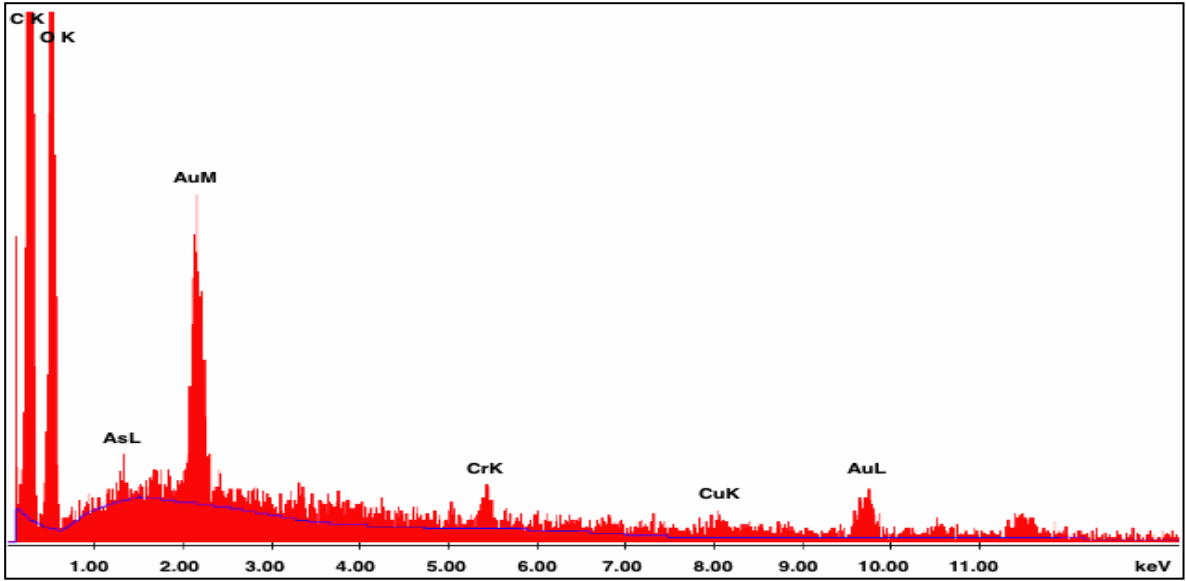
3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Çalışmada analizi yapmak üzere her biri 40 mesh boyutundaki emprenyesiz, emprenyeli, sadece 30 dk ozona maruz kalan, %25 ve %100 perasetik asitte 2 sa remidasyona tabi tutulduktan sonra ozon uygulanan örnekler seçilmiştir. Örneklerle uygulanan ozon konsantrasyonu 20 gr/sa olup 30 dk süreyle uygulanmıştır.

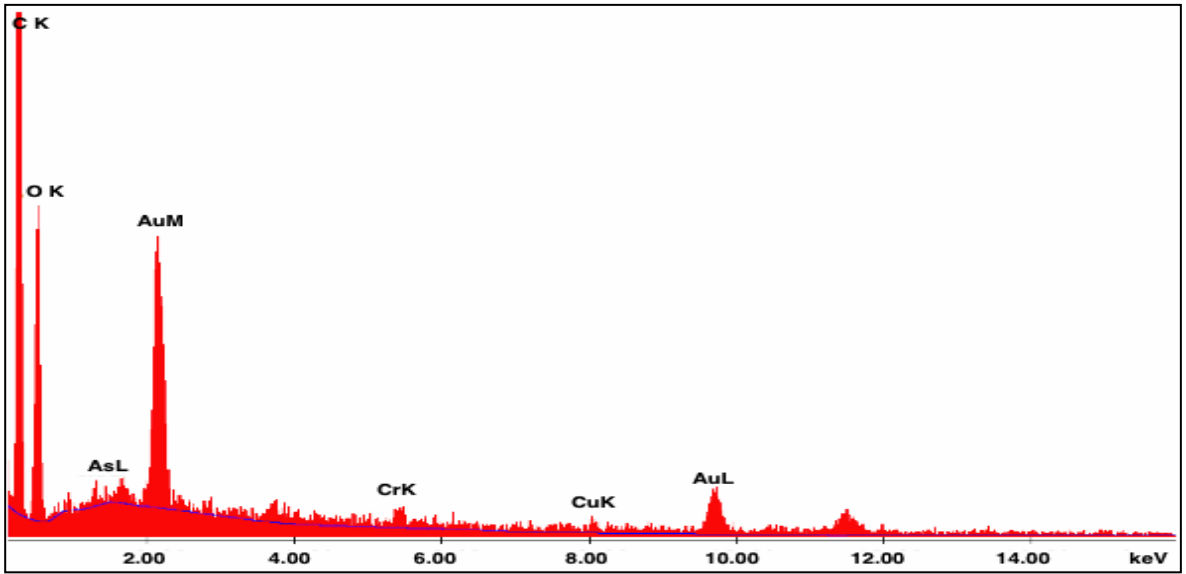
Remidasyona uğratılan ile uğratılmayan emprenyeli örneklerden seçilen örneklerin yüzeylerindeki mevcut krom, bakır, arseniğin dağılımı elektron mikroskobu altında incelenmiş ve örneklerdeki metal konsantrasyonu EDX (energy dispersive spectrometer) analiziyle belirlenmiştir. Arsenik, bakır ve krom metallerinin EDX analizi sonucunda bulunduğu aralıklar sırasıyla 1.50, 8.00 ve 5.20 keV olarak belirlenmiştir. Örneklerin EDX analiz sonuçları Şekil 18-19-20-21-22’de verilmiştir.



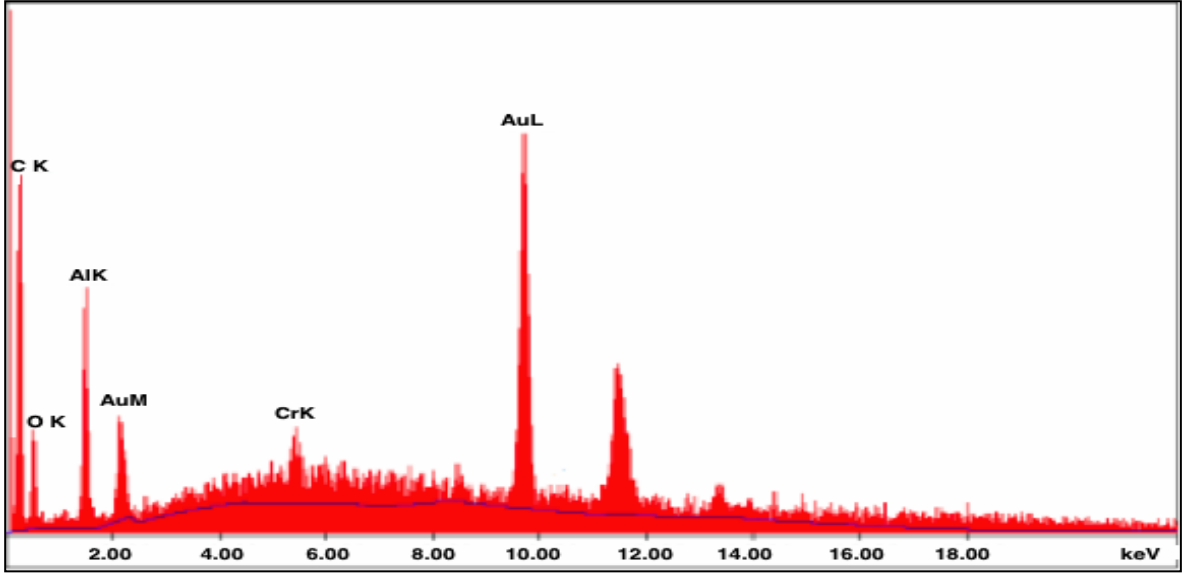
Şekil 18. Emprenyesiz odun örneğine ait EDX analiz sonuçları



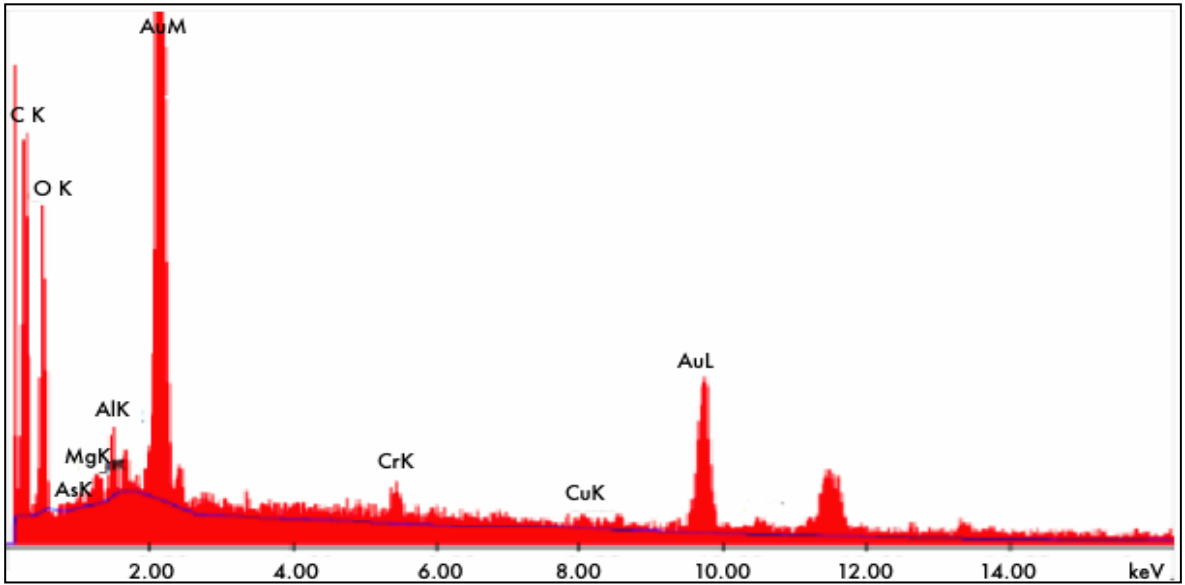
Şekil 19. Emprenyeli odun örneğine ait EDX analiz sonuçları



Şekil 20. Sadece ozon uygulanan emprenyeli örneğe ait EDX analiz sonuçları



Şekil 21. %25 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa bekletildikten sonra ozon uygulanan emprenyeli örneğe ait EDX analiz sonuçları

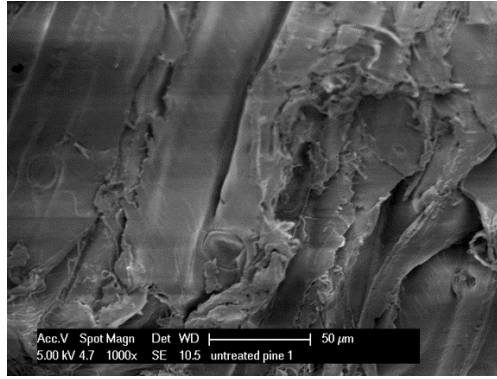


Şekil 22. %100 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa bekletildikten sonra ozon uygulanan emprenyeli örneğe ait EDX analiz sonuçları

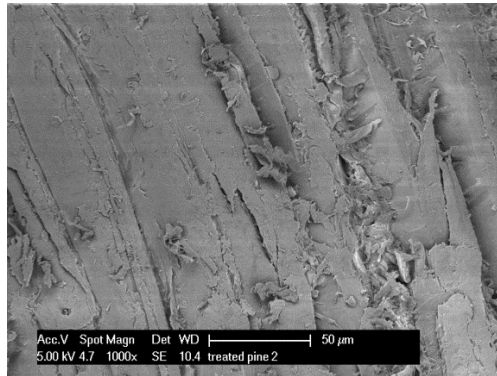
Şekil 18’de emprenyesiz örneğin EDX sonucuna göre odunda ağır metallere rastlanmazken CCA ile emprenyeli odun örneklerinde arsenik, krom ve bakır piklerine rastlanmıştır (Şekil 19). Sadece 30 dk süreyle ozon uygulanmış emprenyeli örneklerin EDX sonuçları Şekil 20’de verilmiştir. Ozonla remidasyona uğratılan örneğin arsenik, krom ve bakır piklerinde bir miktar azalma olduğu görülmüştür. Örnekten seçilen

bölgelerdeki metal miktarının, emprenyeli örneğe kıyasla daha farklı olduğu görülmüştür. Perasetik asidin %25 konsantrasyonunda 2sa bekletildikten sonra ozonla remidasyona uğratılan emprenyeli örneklerde kalan krom, bakır ve arsenik miktarlarının EDX verileri Şekil 21’de verilmiştir. Kroma ait pikin, sadece ozon uygulanan emprenyeli odun örneğine göre fazla olduğu görülmüş, buna karşılık arsenik ve bakıra ait pike rastlanmamıştır. Perasetik asidin %100 konsantrasyonunda 2sa bekletildikten sonra ozonla remidasyona uğratılan emprenyeli örneklerde krom, bakır ve arsenik piklerine rastlanmıştır. Odundan uzaklaştırılamayan bakır miktarı krom ve arseniğe kıyasla daha azdır (Şekil 22).

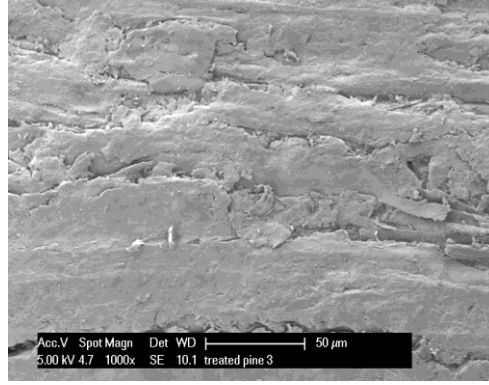
CCA ile emprenyeli örneklerin remidasyonunda kullanılan perasetik asit ve ozonun örneklerin lümenlerindeki bakır krom ve arseniğin varlığını nasıl etkilediği elektron mikroskopuyla taranarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.



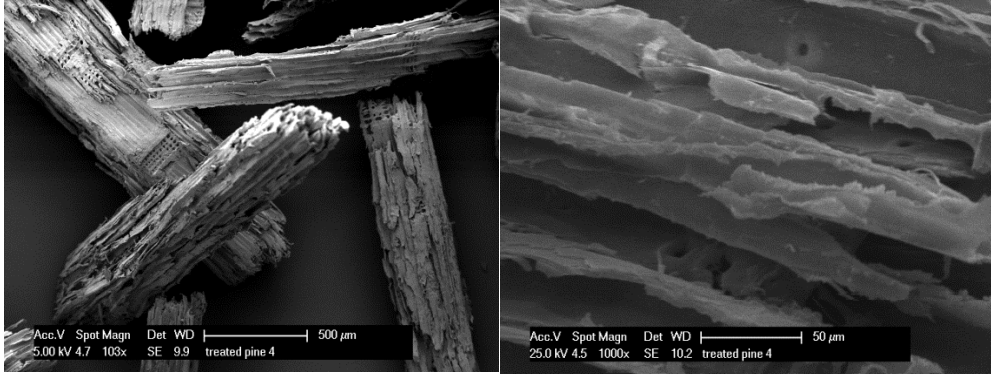
Şekil 23. Emprenyesiz sarıçam örneğinin görünüşü



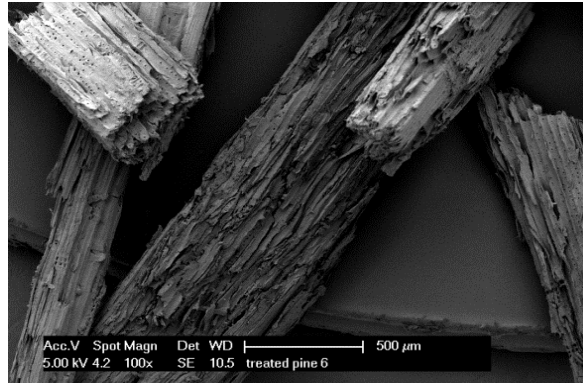
Şekil 24. Emprenyeli sarıçam örneğinin görünüşü



Şekil 25. 30 dk ozona maruz bırakılan örneğin görünüşü



Şekil 26. %25 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa beklendikten sonra ozon uygulanan emprenyeli örneğin görünüşü



Şekil 27. %100 perasetik asit konsantrasyonunda 2 sa beklendikten sonra ozon uygulanan emprenyeli örneğin görünüşü

Emprenyesiz örneklerin lümen yüzeyinde metallere rastlanmamış (Şekil 23), CCA ile emprenye edildikten sonra aynı türün lümen yüzeylerinin görünümü değişmiştir. Metaller hücre çeperinin lignoselülozik bileşenleri ile kimyasal ve fiziksel olarak etkileşime girmesinden ötürü örnek yüzeyinde bakır krom ve arsenik metallere rastlanmıştır (Şekil 24). Asitte bekletilmeden yalnızca ozon uygulanan örneklerin yüzeyinde lümenlerin dolu olduğu görülmektedir Emprenyeli oduna kıyasla yüzey görünümünde metal birikimi bakımından çok farklılık görülmemektedir (Şekil 25) Perasetik asidin %25 konsantrasyonunda 2sa bekletildikten sonra ozonla remidasyona uğratılan emprenyeli örneklerin taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntülerinde lümenlerdeki metal birikiminin kısmen azalması sonucunda boşluklu yapıların meydana geldiği görülmektedir. Ozona maruz bırakılmadan önce örneklerin perasetik asitte bekletilmesi lümenlerdeki metal varlığını önemli ölçüde etkilemiştir (Şekil 26). Aynı şartlar altında perasetik asit konsantrasyonun %100 olduğu çözeltide örneklerin bekletilmesi lümenlerdeki bakır, krom ve arsenik miktarını azalttığı bununla beraber odun bileşenlerinde gözle görülür tahribe sebep olduğu tespit edilmiştir (Şekil 27).

4. TARTIŞMA

4.1. Remidasyona Ait Bulgular

4.1.1. Çözücünün Etkisi

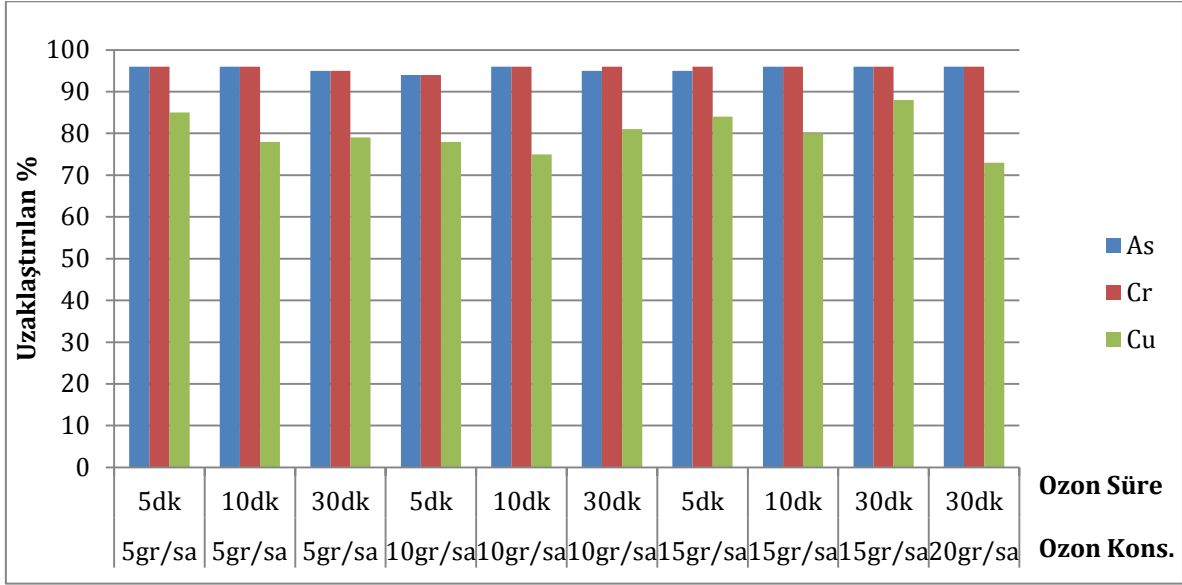
CCA ile emprenyeli örneklerin (40 mesh) çözücü kullanarak ya da kullanmadan ozonla yapılan remidasyonu sonucunda odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarları Şekil 28-29'da verilmiştir.



Şekil 28. Örneklerin asetonlu çözeltilerine uygulanan ozon sonucunda örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzdeleri

Şekil 28'de ozonun çözünürlüğünün sıcaklığın düşmesiyle beraber remidasyonun etkinliği üzerinde olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu nedenle remidasyon sırasında emprenyeli odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltileri buzla soğutulmuştur. Emprenyeli örneklerin asetonla hazırlanan çözeltilerinin farklı ozon konsantrasyonları altında 5, 10 ve 30dk bekletilmesi sonucunda arsenik ve krom sırasıyla %94, %95, %96 oranlarında uzaklaştırılmıştır. Aynı süre ve konsantrasyon aralığında arsenik ve krom hemen hemen aynı miktarda uzaklaşırken bakır daha düşük miktarda uzaklaştırılmıştır.

Örneklerden uzaklaştırılan bakır, 5 dk ozonda bekletilen örnek gruplarında en yüksek miktarda elde edilmiştir. 10gr/sa ozonun uygulandığı örnek grupları ise 5gr/sa, 15gr/sa, 20gr/sa ozon konsantrasyonunda remidasyona uğratan örnek gruplarına kıyasla uzaklaştırılan bakır miktarı üzerinde daha etkili bulunmuştur.



Şekil 29. Aseton olmadan emprenyeli örneklere uygulanan ozon sonucunda örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları

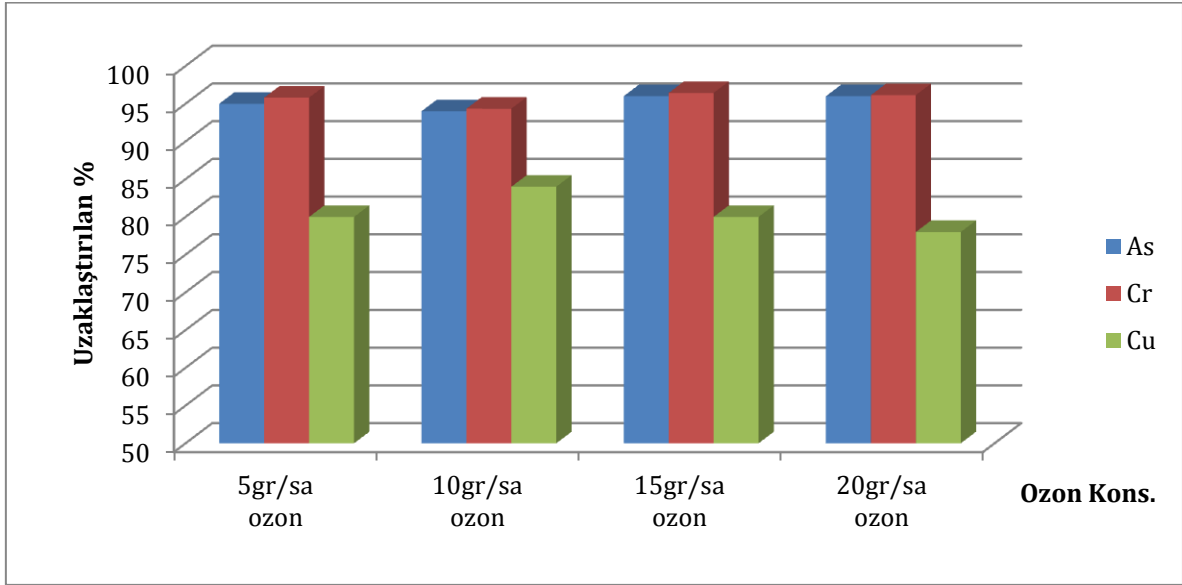
Şekil 29'da aseton kullanılmadan emprenyeli örneklere uygulanan ozonla uzaklaştırılan arsenik ve krom, asetonla gerçekleşen remidasyon işlemi sonucunda benzer oranlarda uzaklaştırılmıştır. Remidasyon sırasında uygulanan 15gr/sa ozon bakır üzerinde etkili bulunmuş ve bekletilen sürelerle orantılı olarak bakırın %84'ü, %80'i ve %88'i uzaklaştırılmıştır. Ozonun bakırı uzaklaştırma üzerindeki etkisi arsenik ve kroma oranla daha düşük olduğu bulunmuştur. Oda sıcaklığında, yüksek pH'da gerçekleşen remidasyon emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarını azaltmaktadır (Gezer ve Cooper, 2009). CCA ile emprenyeli örneklerin remidasyonu sonucunda bakırın %66'sı odundan uzaklaştırılmıştır.

CCA ile emprenyeli örneklerdeki krom varlığı bakır ve arseniği yıkanmaya karşı dirençli hale getirmektedir. Kromun uzaklaştırılması bakır ve arseniğin odundan çözünmesini mümkün kılmaktadır. Bileşenlerin oduna fiksasyonu sırasında kromun indirgenmesi sonucunda odunda çökelen krom arsenat (CrAsO_4) arseniğin kromla girdiği

reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Bu nedenle kromla arseniğin benzer oranlarda uzaklaştığı düşünülebilir.

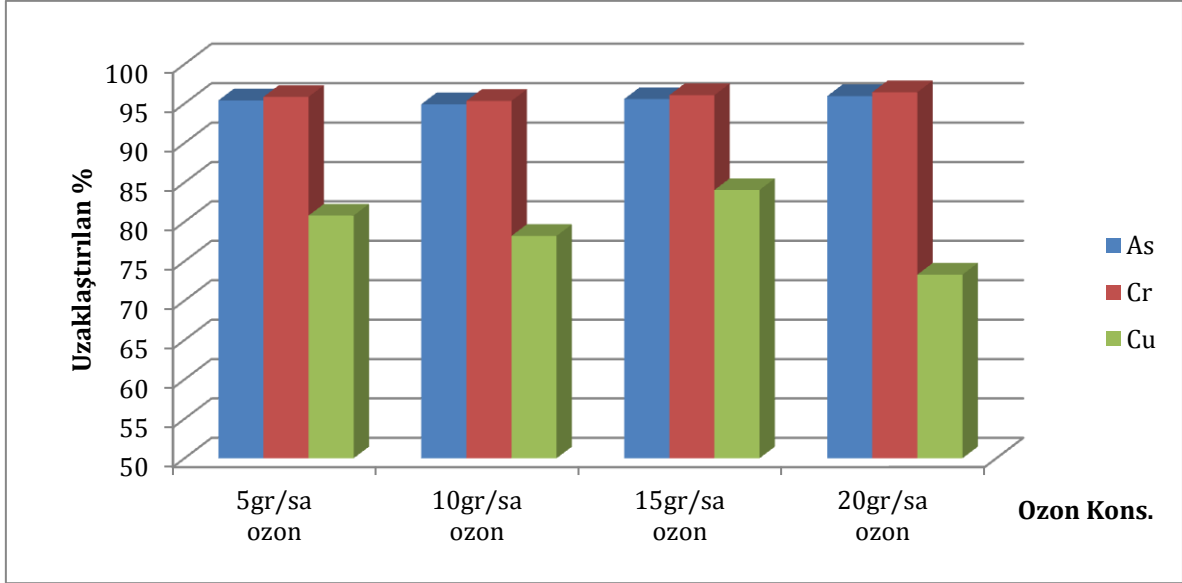
4.1.1.1. Çözücü Madde ile Birlikte Ozon Konsantrasyonunun Etkisi

CCA ile emprenyeli 40 mesh boyutundaki odun örneklerinin asetonla hazırlanan çözeltileri ile 40 mesh boyutundaki emprenyeli odun örnekleri ozonla remidasyona uğratılmıştır. Remidasyon işlemi sonrasında ozon konsantrasyonlarının (5gr/sa, 10gr/sa, 15gr/sa, 20gr/sa) örneklerden uzaklaştırdığı arsenik, krom ve bakır miktarları yüzde olarak Şekil 30-31’de verilmiştir.



Şekil 30. Ozon konsantrasyonunun çözücü olarak aseton kullanıldığında emprenyeli örneklerden uzaklaştırdığı arsenik, krom ve bakır miktarları

Şekil 30’da remidasyon işleminde aseton çözücü olarak kullanıldığında ozon konsantrasyonları içerisinde 10gr/sa, diğer ozon konsantrasyonlarına kıyasla bakırın uzaklaştırılmasında etkili bulunmuş ve emprenyeli örneklerden %84 oranında uzaklaştırılmıştır. Remidasyon etkinliği anlamında emprenyeli örneklerden krom ve arsenik benzer oranlarda uzaklaştırılmıştır.



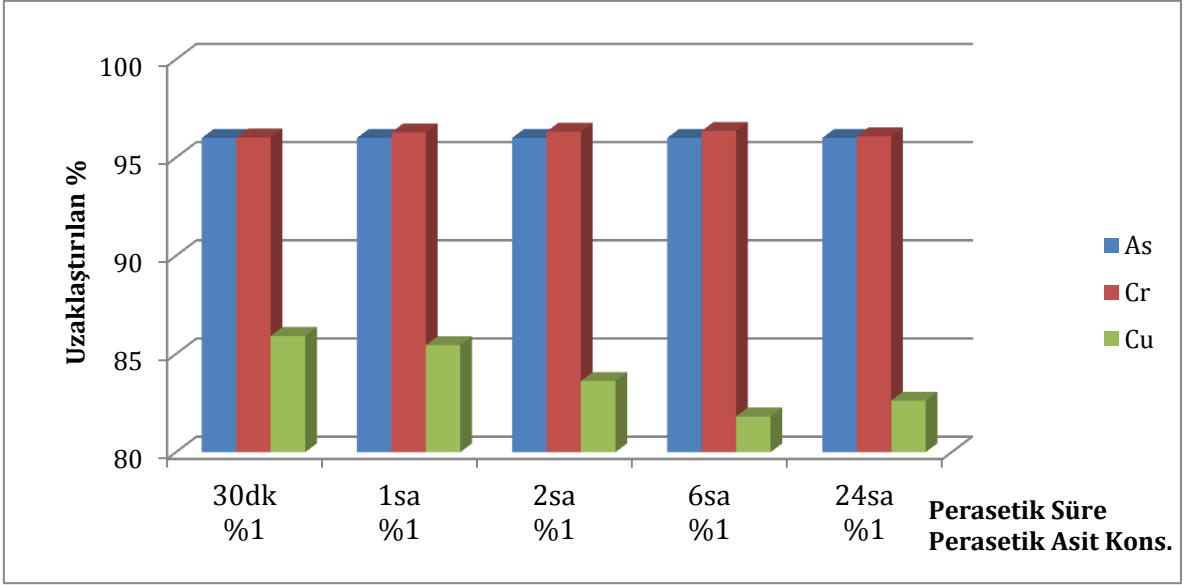
Şekil 31. Ozon konsantrasyonunun emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarlarına etkisi

Şekil 31’de CCA ile emprenyeli odun örneklerine uygulanan ozon konsantrasyonları içerisinde 15gr/sa diğer ozon konsantrasyonlarına kıyasla bakırın uzaklaştırılmasında daha etkili bulunmuştur. Bakırın en az uzaklaştırıldığı konsantrasyon 20 gr/sa ozona maruz kalan örneklerden elde edilmiş ve %73 oranında uzaklaştırma sağlanmıştır. Emprenyeli örneklerden arsenik ve krom hemen hemen aynı miktarlarda uzaklaştırılmıştır.

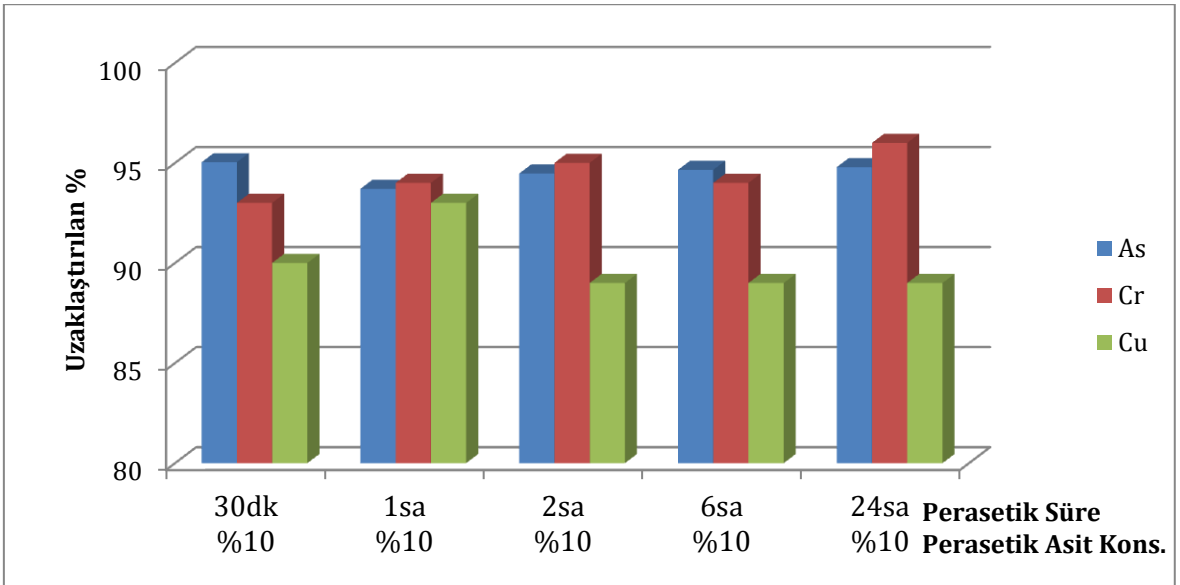
Ozon konsantrasyonu CCA ile emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik üzerinde etkili bulunmamıştır. Remedasyon sırasında çözücü olarak asetonun kullanılması da benzer şekilde remedasyonun etkinliği açısından çözücü olarak aseton kullanılmadan yapılan remedasyon sonuçlarıyla kıyaslandığında fazla bir fayda sağlamadığı saptanmıştır.

4.1.2. Perasetik Asitte Bekletilme Süresinin Etkisi

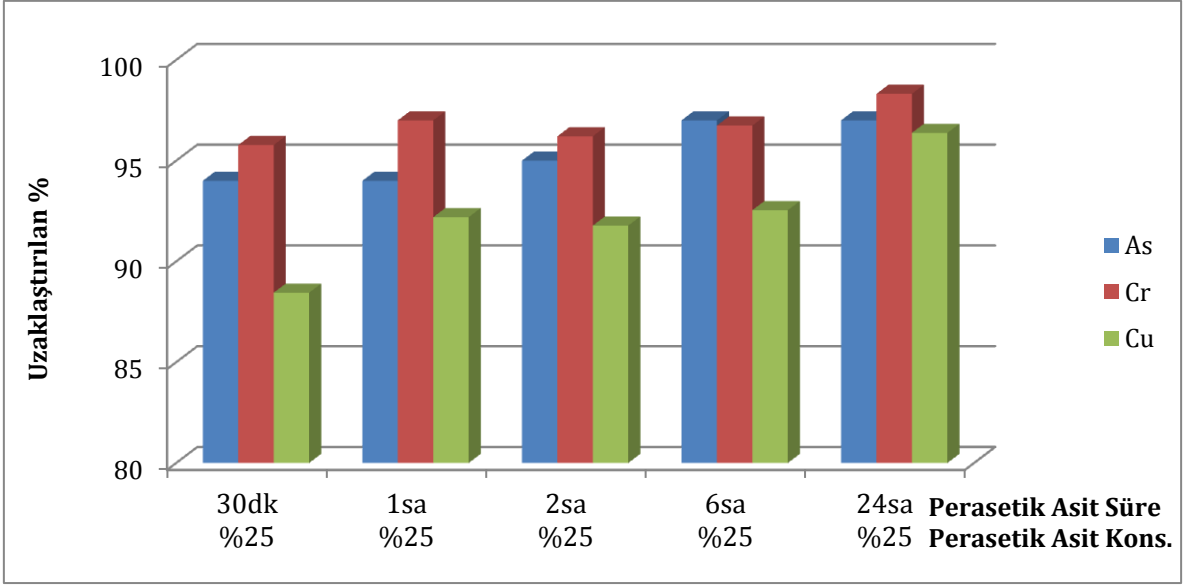
CCA ile emprenyeli 40 mesh boyutundaki örnekler belirlenen sürelerde (30dk, 1sa, 2sa, 6sa, 24sa), farklı perasetik asit konsantrasyonlarında (%1, %10, %25, %50, %100) remedasyona maruz bırakılmıştır. Bu işlemler sonucunda örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarları yüzde olarak Şekil 32-33-34-35-36’ da verilmiştir.



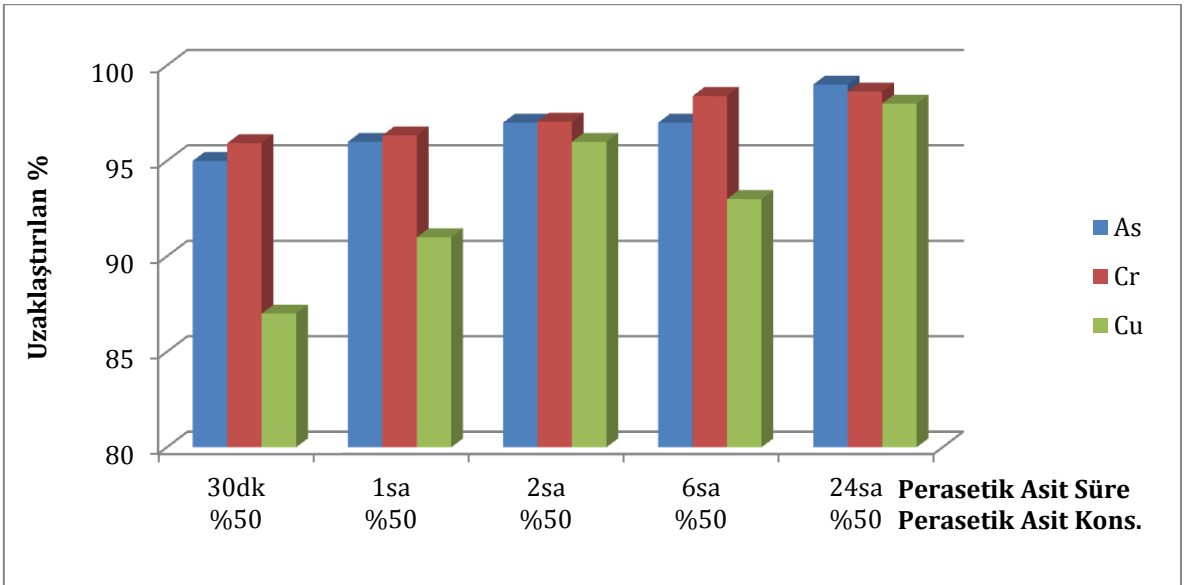
Şekil 32. Örneklerin %1'lik perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



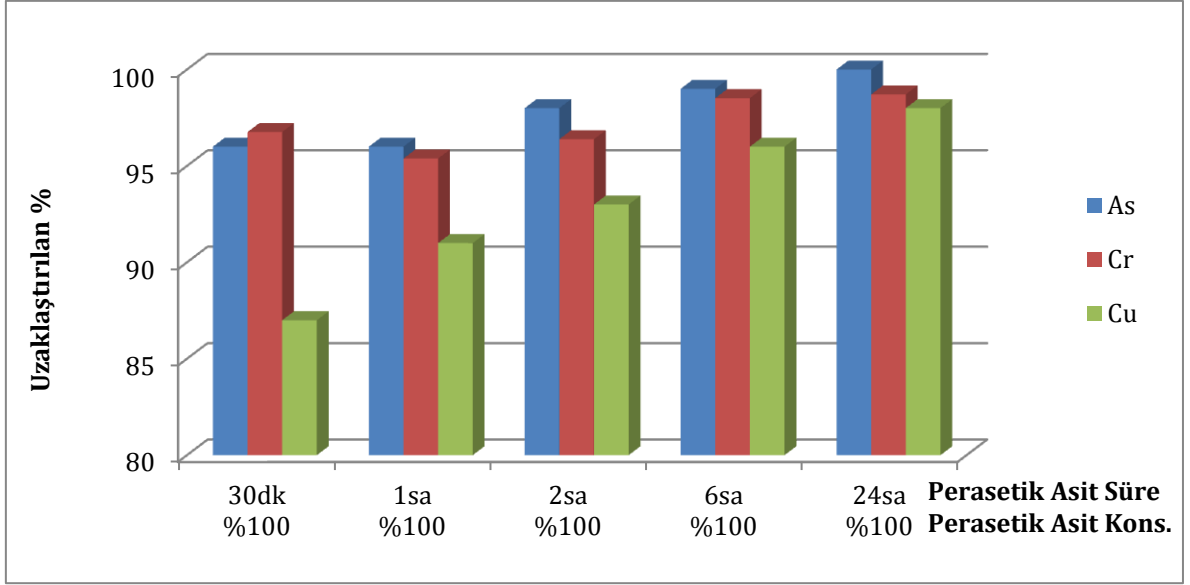
Şekil 33. Örneklerin %10'luk perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



Şekil 34. Örneklerin %25'lik perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



Şekil 35. Örneklerin %50'lik perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



Şekil 36. Örneklerin %100'lük perasetik asitte bekletilmesi sonucunda uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları

Şekil 32-36'da görüldüğü gibi örneklerin perasetik asitte bekletildikleri konsantrasyon arttıkça uzaklaştırılan bakır miktarı arsenik ve kroma kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Teorik olarak bakır selüloza, krom lignine bağlanmaktadır. CCA ile emprenyeli odunda bulunan bakır asidik ortamlarda odundan çözünerek uzaklaşmaktadır. Perasetik asidin hazırlanan %25 (pH 2.6), %50 (pH 2.3) ve %100'lük (pH 1.6) konsantrasyonlarında uzaklaştırılan arsenik ve krom miktarları %1'lik (pH 3.6) ve %10'luk (pH 2.9) konsantrasyonlarda uzaklaştırılan miktarlara göre daha iyi sonuç vermiştir. Varyasyon gruplarından perasetik asidin %25, %50 ve %100 konsantrasyonlarında, remidasyon sürelerinin artması sonucunda örnek gruplarından uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarlarında bir miktar artış olmuştur. Remidasyon etkinliği anlamında en iyi sonuçlar %50 (pH 2.3) ve %100 (pH 1.6) perasetik asit konsantrasyonlarında 24 saat boyunca bekletilen örnek gruplarından elde edilmiştir. Perasetik asidin %50 konsantrasyonunda 24 saat boyunca bekletilen örneklerden sırasıyla arseniğin % 99'u, krom ve bakırın %98'i uzaklaştırılmış %100 konsantrasyonda 24 saat boyunca bekletilen örneklerden arseniğin %100'ü, krom ve bakırın %98'i uzaklaştırılmıştır. Bakırın uzaklaştırılmasında diğerlerine kıyasla en düşük bulunan grubun %1 (pH 3.6) perasetik asit konsantrasyonunda remidasyona uğratılan örnek gruplarına ait olduğu tespit edilmiştir. Bakırın pH'ın düşük olduğu seviyelerde (yüksek çözelti konsantrasyonlarında) odundan daha fazla miktarda çözüldüğü düşünülmektedir. Perasetik asidin farklı konsantrasyonlarında bekletilen

örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarı çözeltinin pH'ına bağlı olarak uzaklaştırıldığı oranlar değişmiştir. Buna karşılık örneklerden uzaklaştırılan krom ve arsenik remidasyona uğratıldıkları çözelti konsantrasyonlarında benzer oranlarda uzaklaştırılmıştır. Bunun sebebi olarak hidrojen peroksitle kromun reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda Cr^{+6} 'ya yükseltgenerek suda çözünür hale gelmesi gösterilebilir. CCA'nın oduna fiksasyonunda arseniğin oduna krom arsenat ($CrAsO_4$) şeklinde bağlandığı bilinmekte remidasyon sırasında kromla arseniğin birbirine yakın değerlerde uzaklaşmasının bu duruma bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Remidasyon çözeltisinin asitliliğinin artması (pH'in düşmesi) ile oduna fiske olan CCA bileşenlerinin çözünürlüğü artmaktadır. CCA ile emprenyeli odun örneklerinin yıkanmaya maruz bırakıldığı ortamın pH'sının 3 den daha az olduğu durumda, odun degrade olmakta, bunun sonucunda yüksek miktarda bakır, krom, arsenik odundan yıkanarak uzaklaşmaktadır (Cooper, 1991 ; Kim ve Kim, 1993). %25 (pH 2.6), %50 (pH 2.3) ve %100 (pH 1.6) perasetik asit konsantrasyonlarında remidasyona uğratılan odun örneklerinde bakır, krom ve arsenik kayıplarının düşük konsantrasyonlarda remidasyona uğratılan örneklerden daha fazla olduğu görülmektedir.

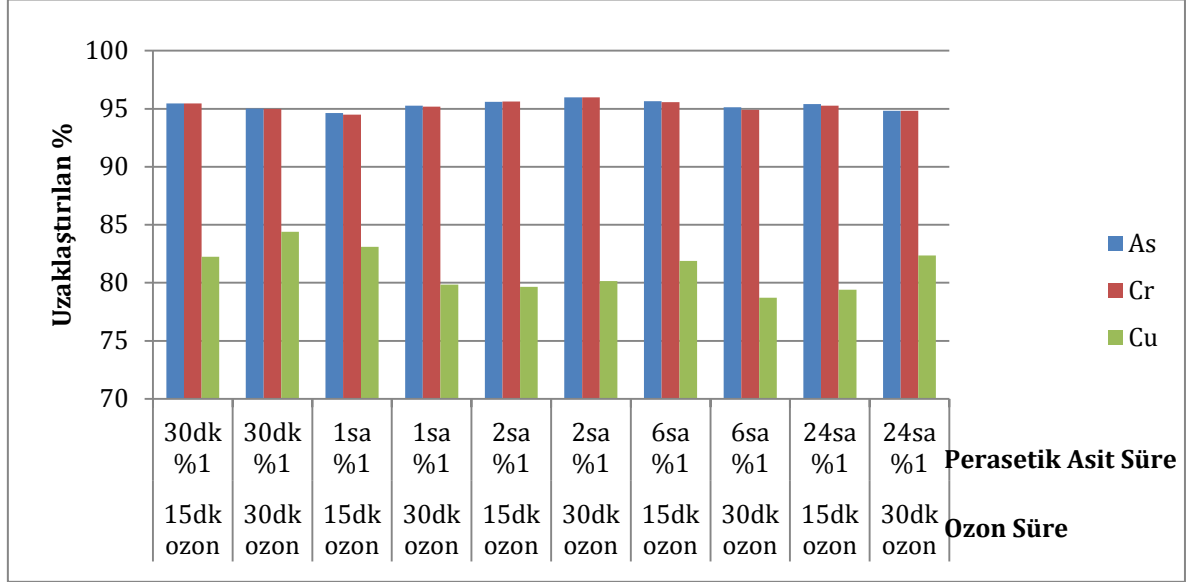
Literatürde yapılan çalışmalara baktığımızda Murphy ve Dickinson (1990) CCA ile emprenyeli çam odunu örneklerini remidasyona maruz bırakmış, pH'ın 3 olduğunda bakırın %40'ı uzaklaştırılmış, pH'ın 5.6 olduğu koşullarda yıkanan bakırın çok az miktarda olduğu saptanmıştır.

Gezer vd. (2005), farklı boyutlarda hazırladıkları emprenyeli odun örneklerinin, ekstraksiyon çözeltilerinin pH derecelerini 2-5 arasında ayarlanmış ve belirlenen günlerde (1, 3, 7, 14 gün) oleik asitle remidasyona maruz bırakılmışlardır. CCA ile emprenyeli odundan krom, bakır ve arseniğin remidasyonu üzerinde en etkili sonuç düşük pH (pH = 2.0-2.5) seviyelerinde elde edildiğini bununla birlikte yüksek pH (5) oranlarındaki oleik asit ile remidasyona tabii tutulan örneklerden uzaklaştırılan Cu, Cr ve As miktarının önemli derecede azaldığını tespit etmişlerdir.

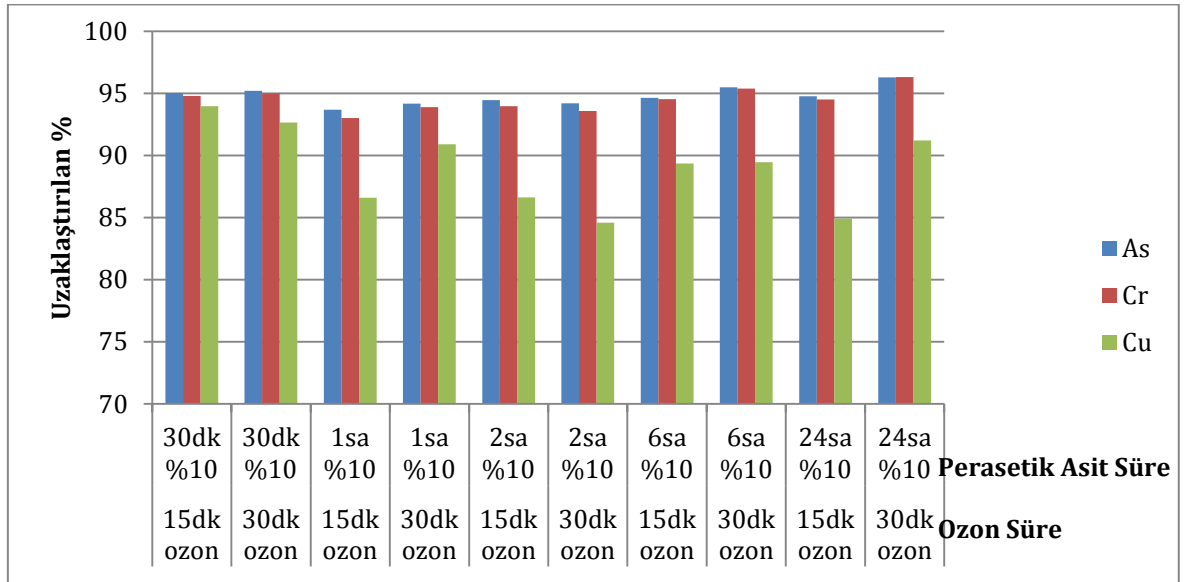
4.1.3. Perasetik Asitle Remidasyona Uğratılan Örneklerle Ozon Uygulanmasının Etkisi

Perasetik asitte belirlenen süre ve perasetik asit konsantrasyonlarında bekletilen 40 mesh'lik emprenyeli örneklere 15 ve 30 dk. süreyle 20gr/sa ozon uygulanmıştır.

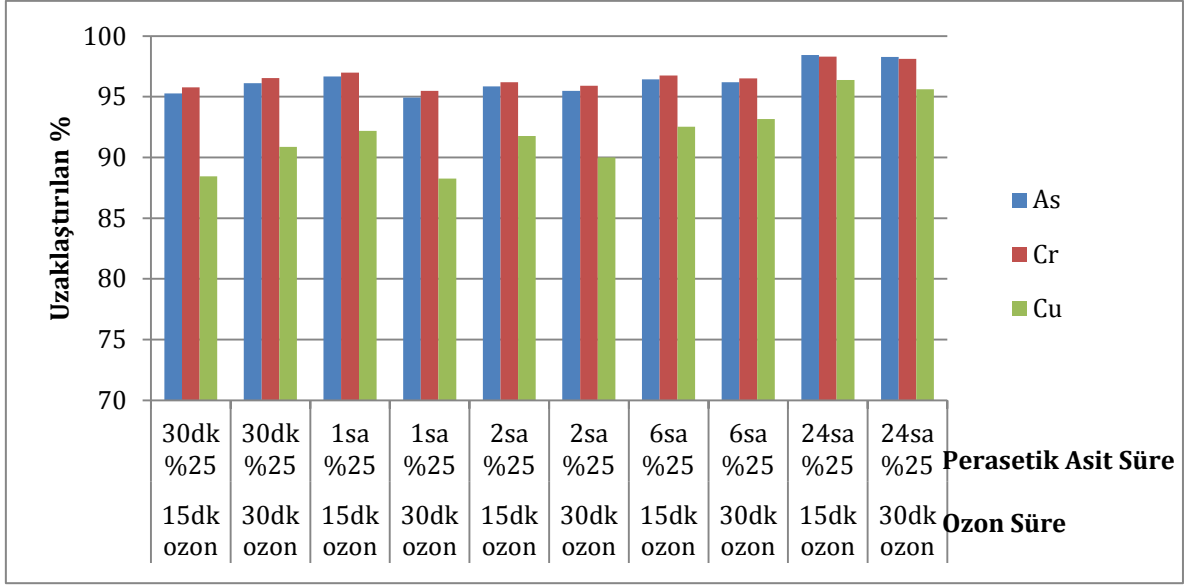
Remidasyon işlemi sonrasında emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarları yüzde olarak hesaplanmış ve Şekil 37-38-39-40-41’de verilmiştir.



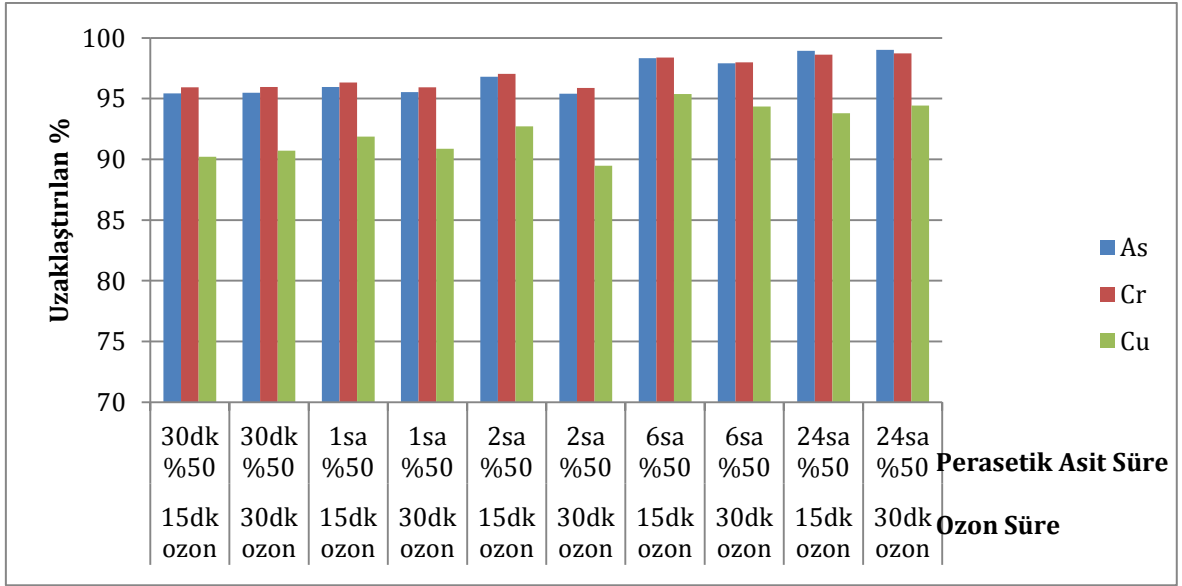
Şekil 37. %1’lik perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



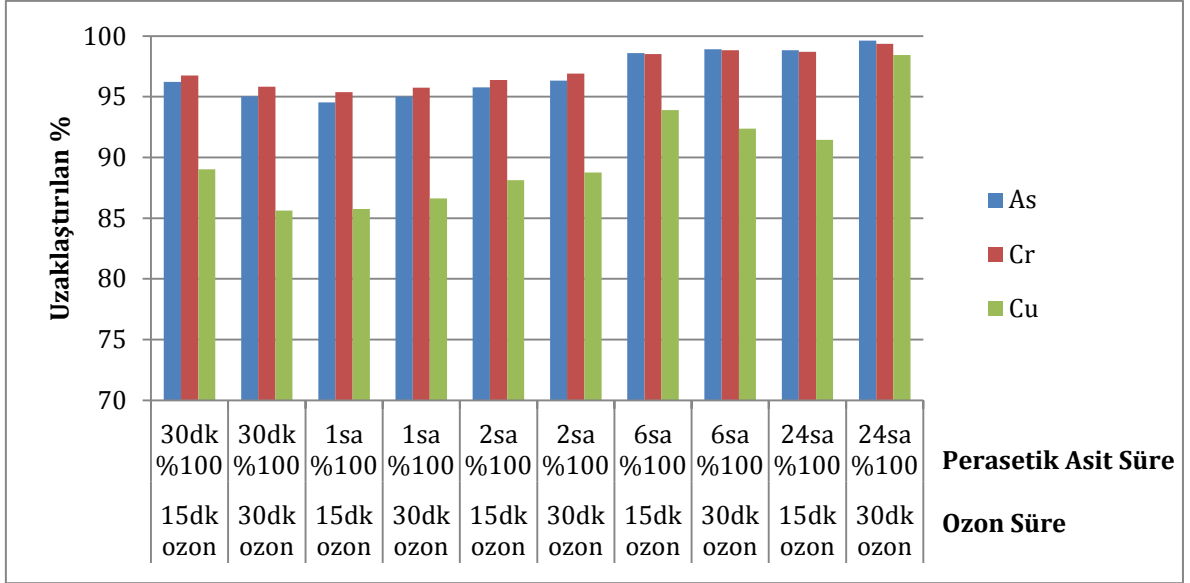
Şekil 38. %10’lük perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



Şekil 39. %25'lik perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



Şekil 40. %50'lik perasetik asitle remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları



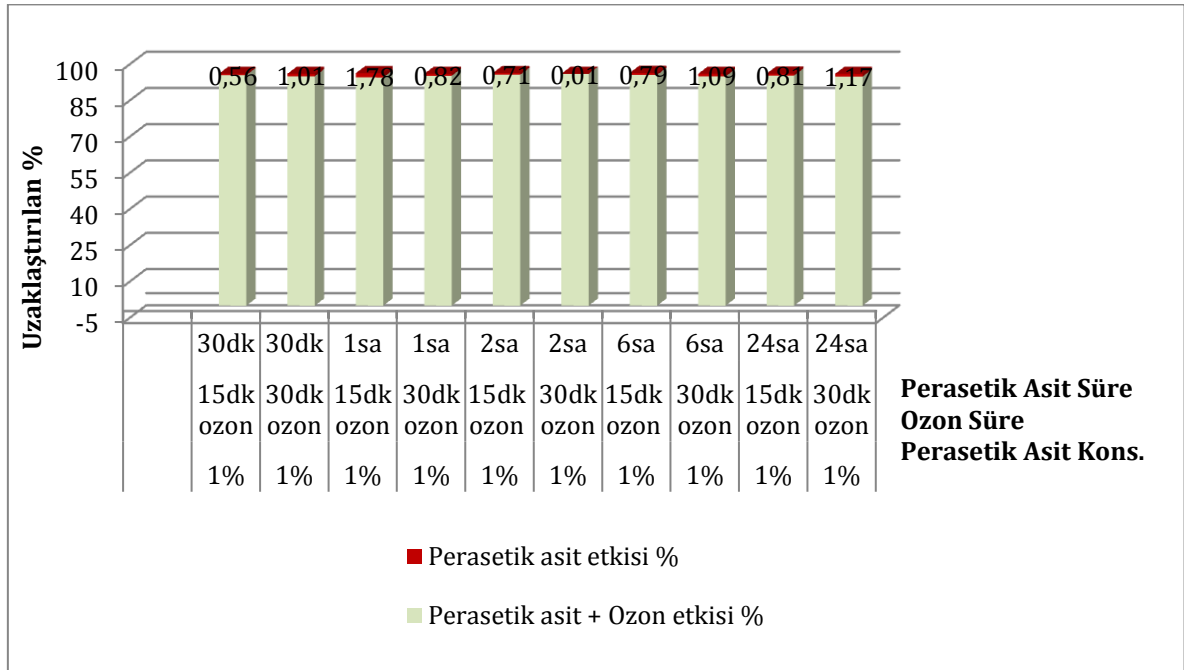
Şekil 41. %100'lük perasetik asitle remidasyona uğrattıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır yüzde oranları

Şekil 37-41'de perasetik asit konsantrasyonlarında (%1, %10, %25, %50, %100) farklı sürelerde (30dk, 1sa, 2sa, 6sa, 24sa) bekletildikten sonra 15 ve 30 dk ozon uygulanmıştır. Perasetik asitte bekletildikten sonra 15 ve 30dk boyunca uygulanan ozonun, arsenik, kromun ve bakır remidasyonunu önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. CCA ile emprenyeli odun örneklerinden arsenik ve krom aynı miktarlarda uzaklaştırılmıştır. Örneklerin perasetik asit konsantrasyonları ve örneklerin bekletildikleri süreler krom, bakır ve arseniğin uzaklaştırılmasında etkili bulunmuştur. %1 (pH 3.6) ve %10'luk (pH 2.9) perasetik asit konsantrasyonlarında remidasyona tabi tutulan emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarı diğer konsantrasyonlarda remidasyona tabi tutulan örneklere göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Düşük pH'ın olduğu ortamlar bakırın uzaklaştırılması üzerinde etkili iken yüksek pH'ın olduğu ortamlar kromun çözünmesini ve odundan yıkanmasını kolaylaştırır. Remidasyon etkinliği anlamında en iyi sonuç CCA ile emprenyeli örneklerin perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda 24 saat bekletilip ozon uygulandığında elde edilmiş, sırasıyla arseniğin %99'u, kromun %99'u ve bakırın %98'i uzaklaştırılmıştır. Remidasyona uğratılan örnekler 6 saat süreyle %25, %50 ve %100'lük perasetik asitte bekletildikten sonra ozona maruz bırakılmıştır. Araştırma kapsamında remidasyon süresinin 6 saate çıkarılması ile birlikte uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarı önemli ölçülerde artmıştır.

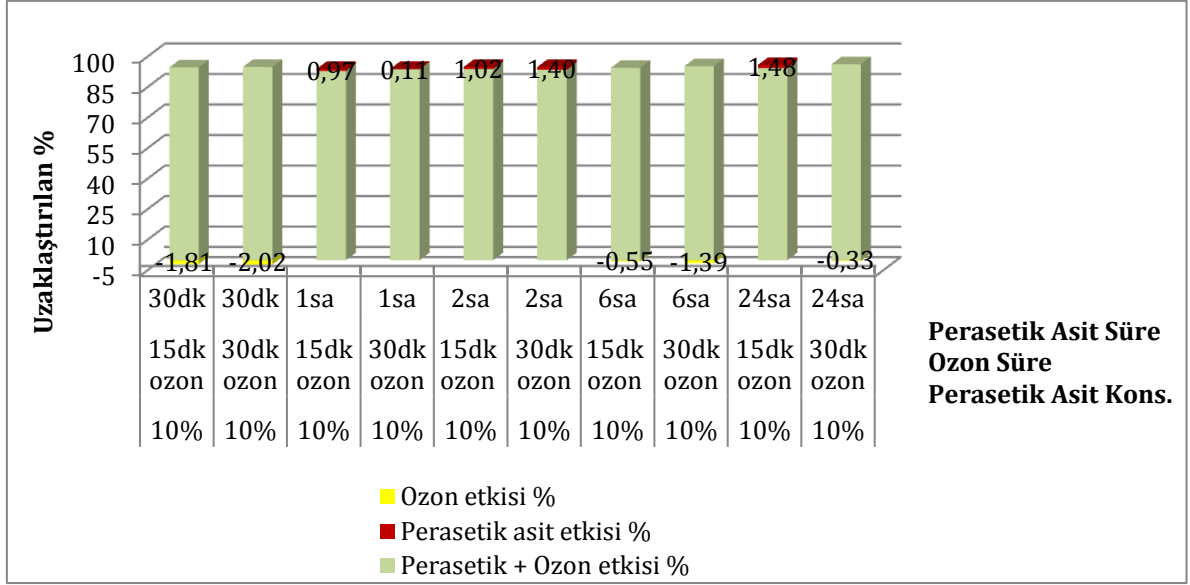
4.1.4. Toplam Uzaklaştırılan Krom, Bakır, Arsenik Miktarları Üzerinde Ozonun Etkisi

4.1.4.1. Toplam Uzaklaştırılan Krom Miktarı Üzerinde Ozonun Uzaklaştırıcı Etkisi

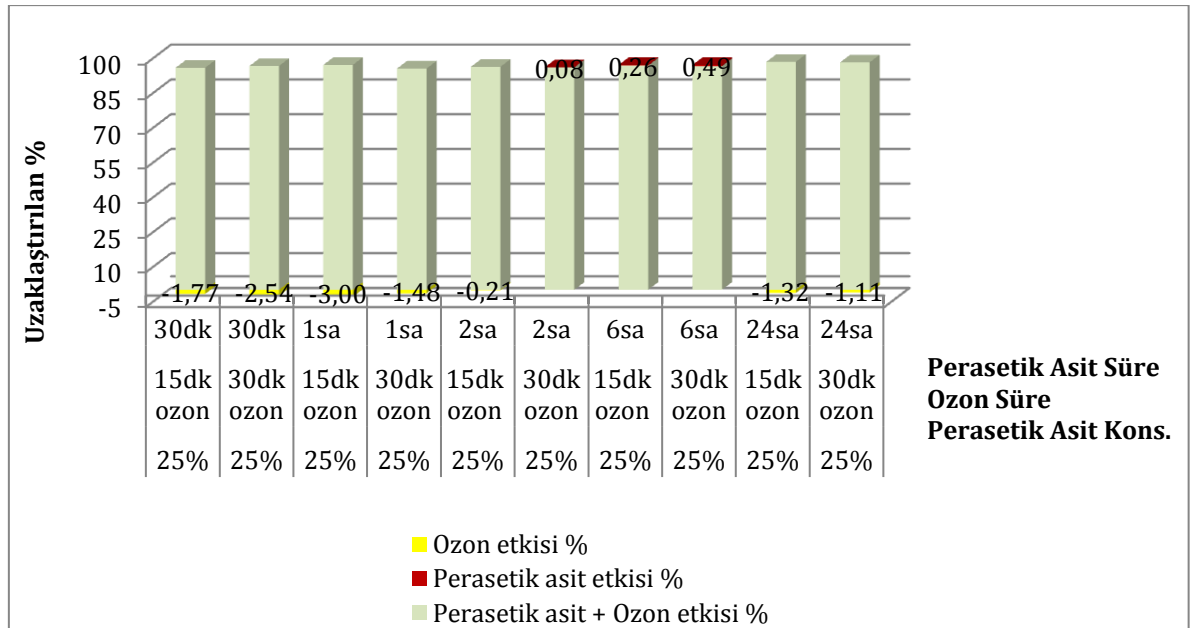
Perasetik asidin %1, %10, %25, %50, %100'lük konsantrasyonlarında bekletildikten sonra ozonla (20gr/sa) remidasyona uğratılan CCA ile emprenyeli örneklerden (40 mesh) toplamda uzaklaştırılan krom miktarı üzerinde ozonun etkisi Şekil 42-43-44-45-46'da verilmiştir.



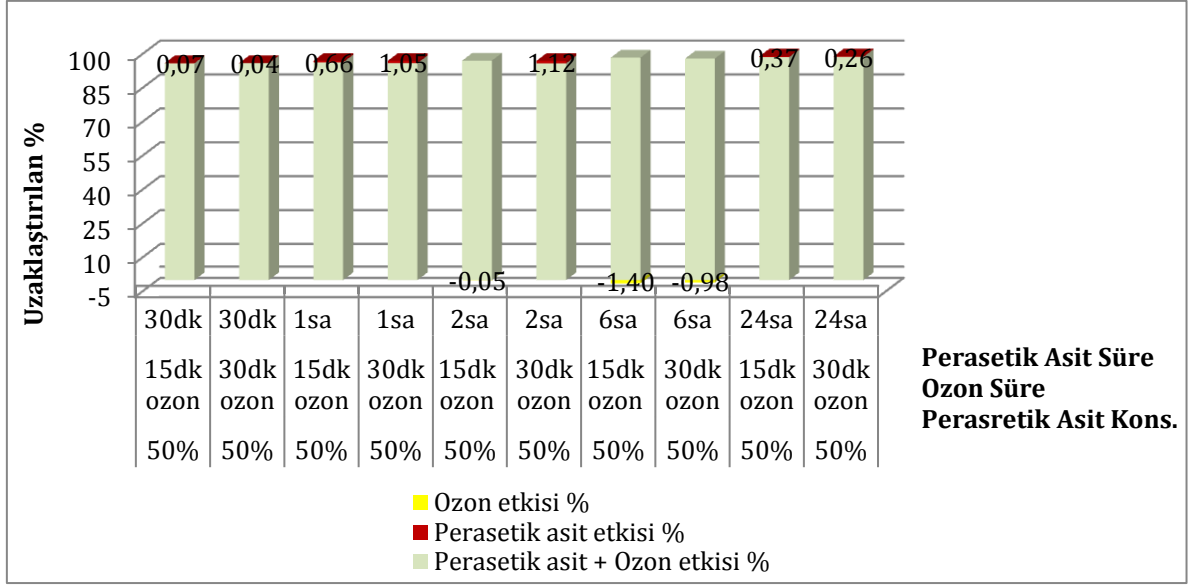
Şekil 42. Perasetik asidin %1'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom miktarları yüzde oranları



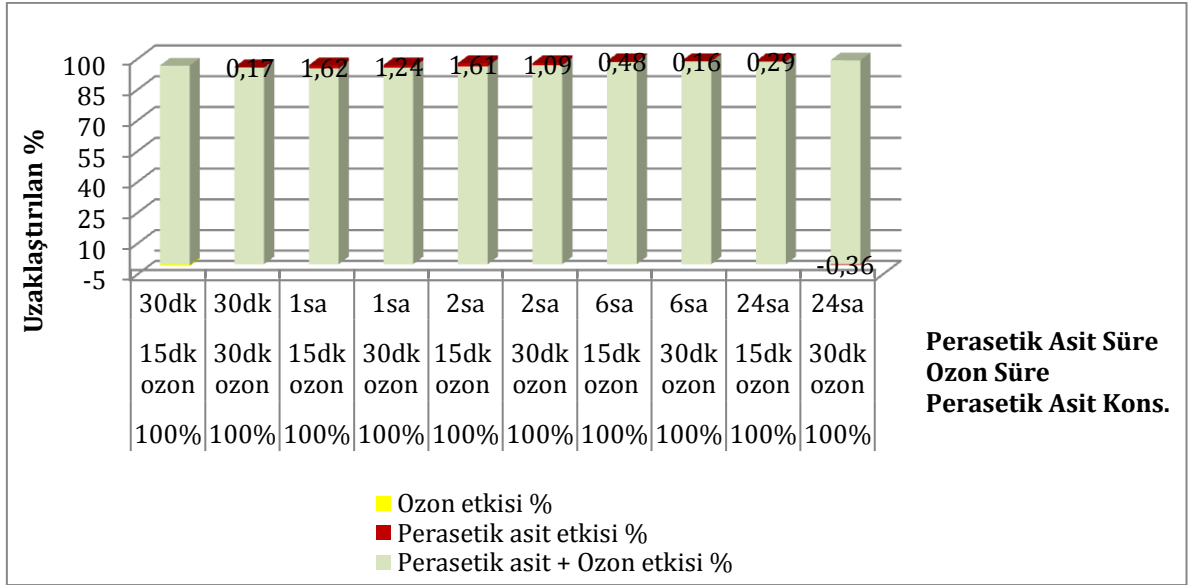
Şekil 43. Perasetik asidin %10'luk konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları



Şekil 44. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları



Şekil 45. Perasetik asidin %50'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları

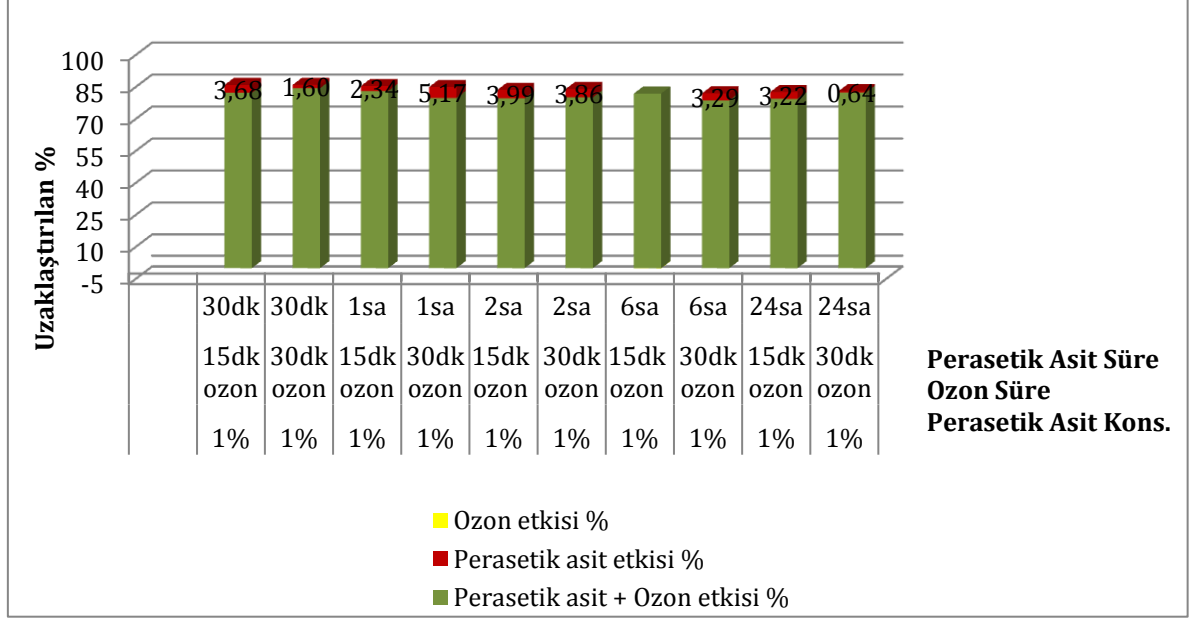


Şekil 46. Perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan krom yüzde oranları

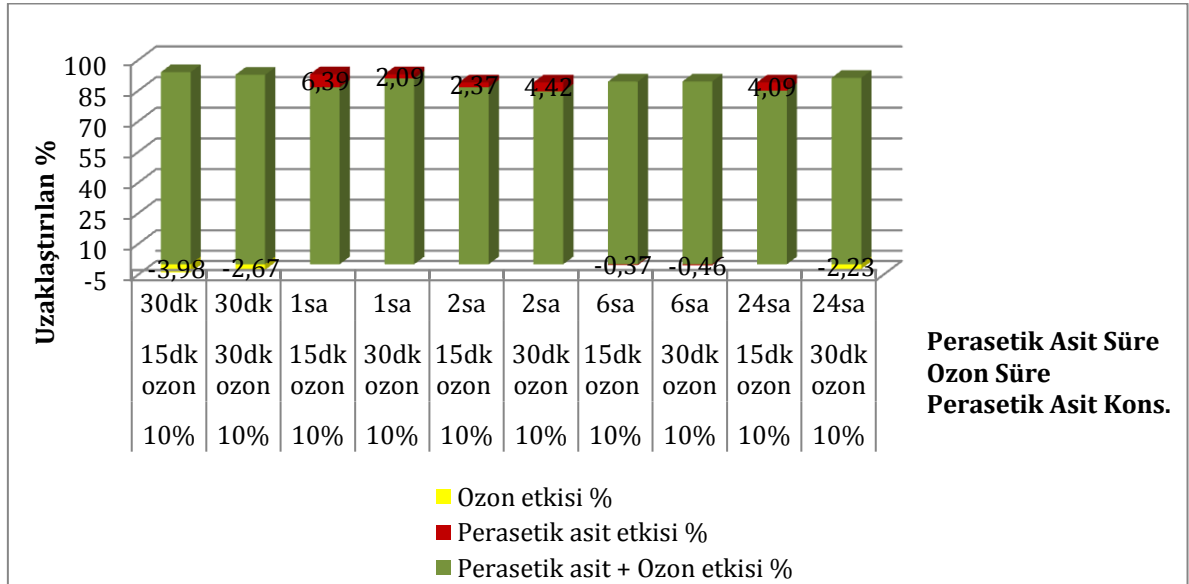
4.1.4.2. Toplam Uzaklaştırılan Bakır Miktarı Üzerinde Ozonun Uzaklaştırıcı Etkisi

Perasetik asidin %1, %10, %25, %50, %100'lük konsantrasyonlarında bekletildikten sonra ozonla (20gr/sa) remidasyona uğratılan CCA ile empenyeli örneklerden (40 mesh)

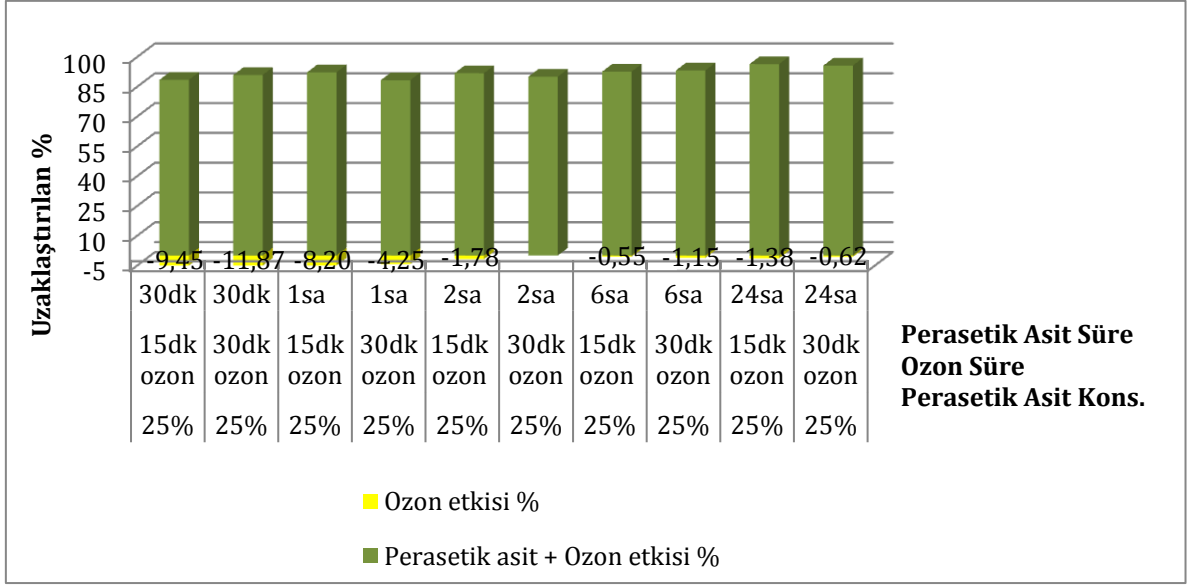
toplamda uzaklaştırılan bakır miktarı üzerinde ozonun etkisi Şekil 47-48-49-50-51'de verilmiştir.



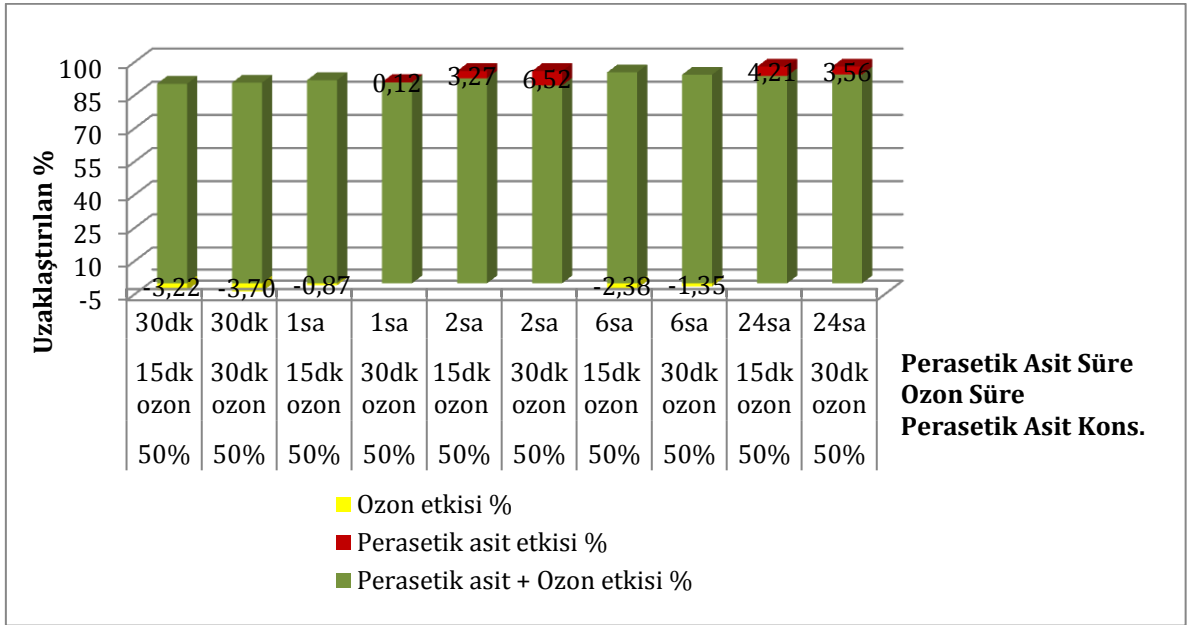
Şekil 47. Perasetik asidin % 1'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları



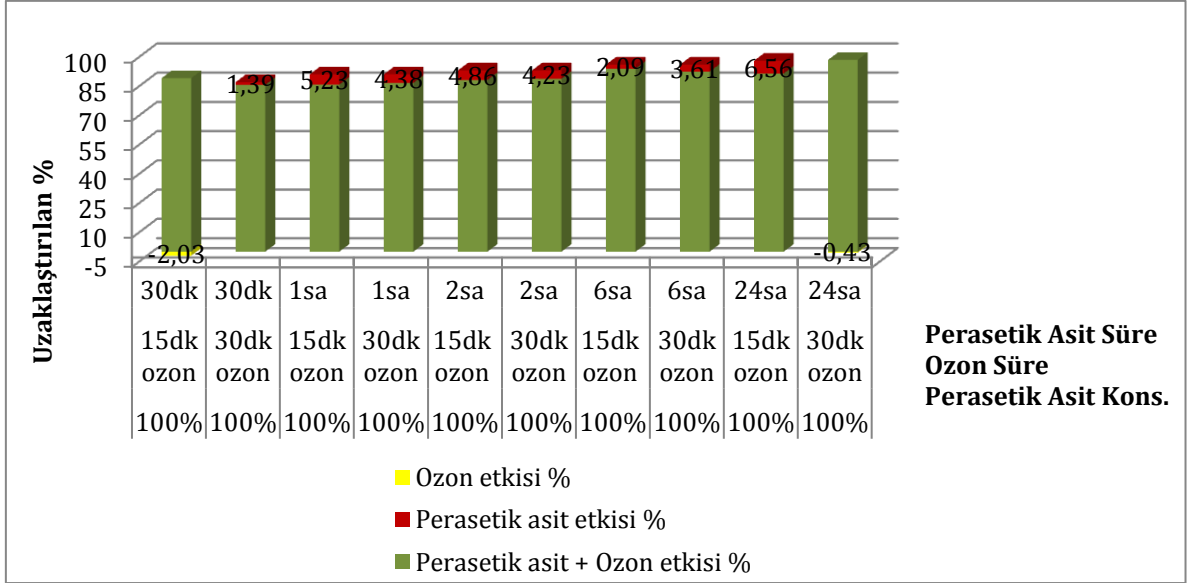
Şekil 48. Perasetik asidin %10'luk konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları



Şekil 49. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları



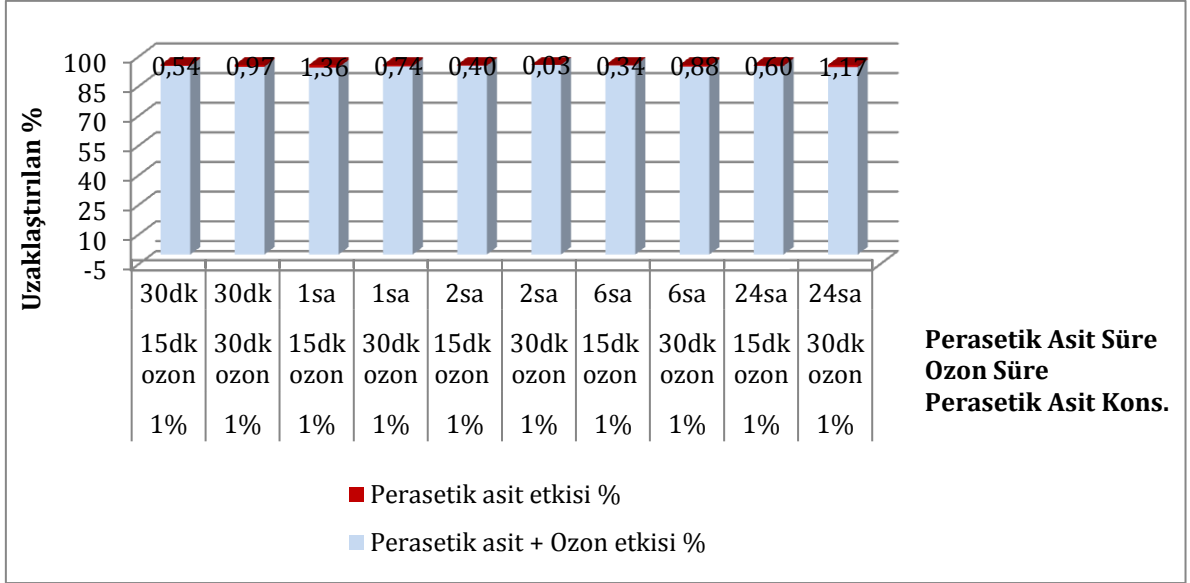
Şekil 50. Perasetik asidin %50'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları



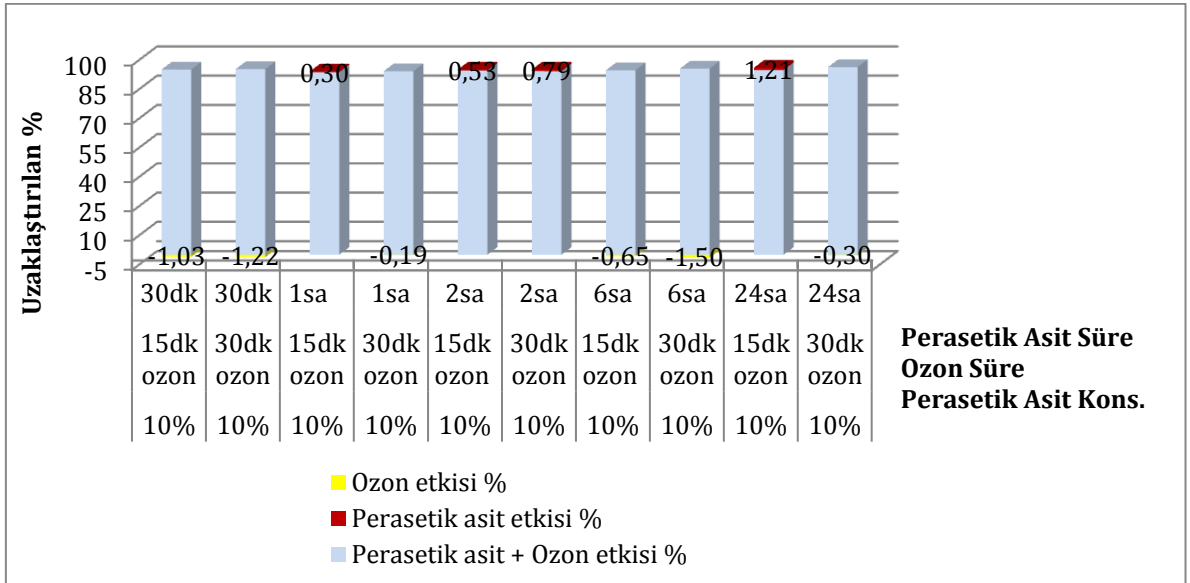
Şekil 51. Perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan bakır yüzde oranları

4.1.4.3. Toplam Uzaklaştırılan Arsenik Miktarı Üzerinde Ozonun Uzaklaştırıcı Etkisi

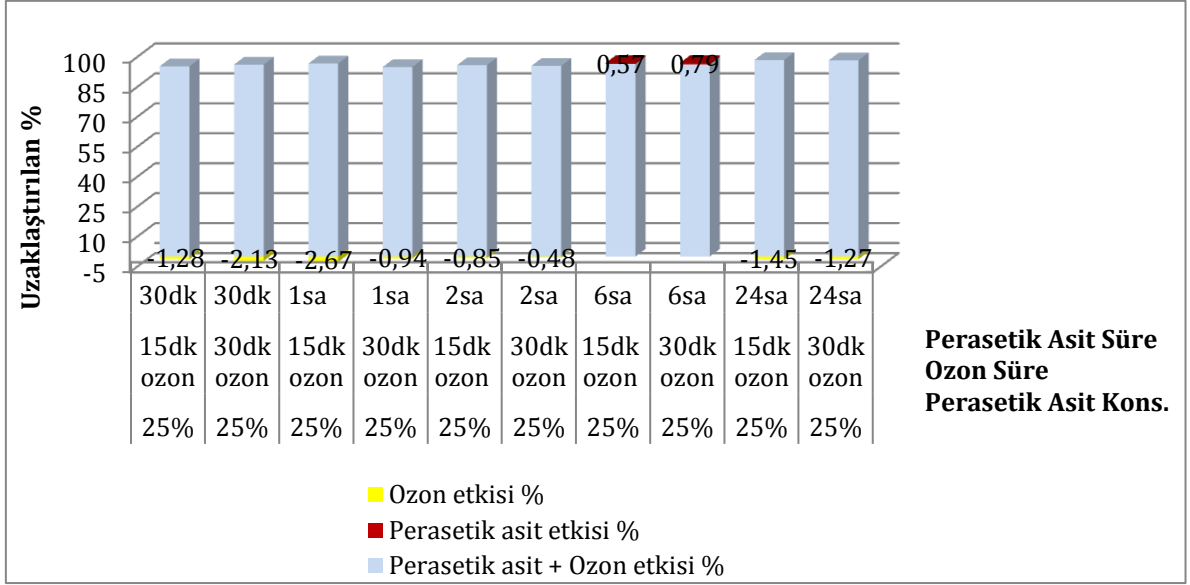
Perasetik asidin %1, %10, %25, %50, %100'lük konsantrasyonlarında bekletildikten sonra ozonla (20gr/sa) remidayona uğratılan CCA ile emprenyeli örneklerden (40 mesh) toplamda uzaklaştırılan arsenik miktarı üzerinde ozonun etkisi Şekil 52-53-54-55-56'da verilmiştir.



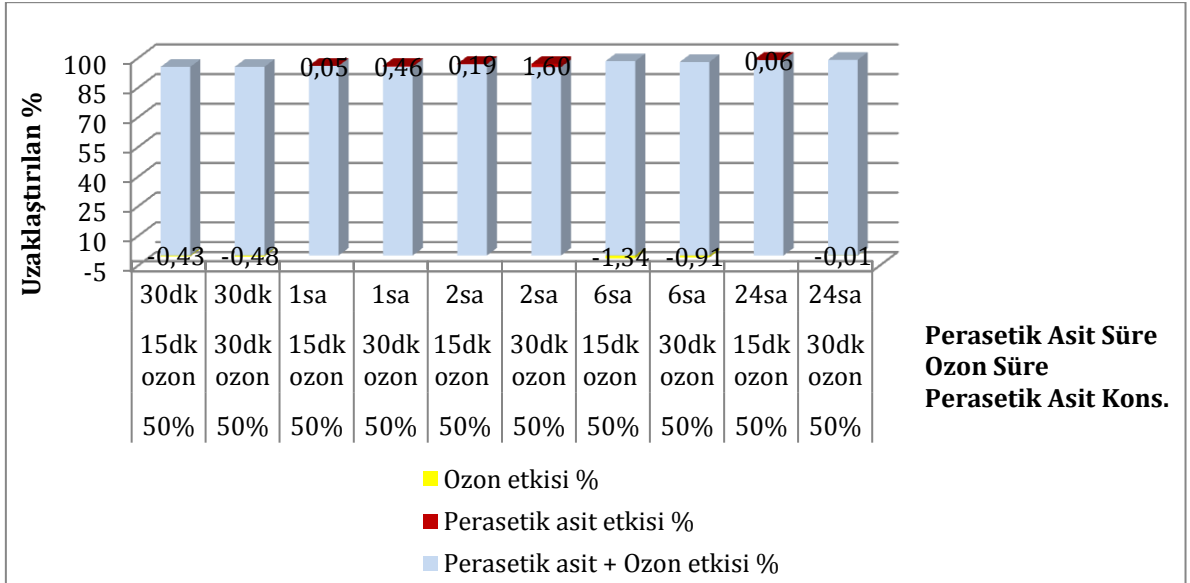
Şekil 52. Perasetik asidin % 1'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları



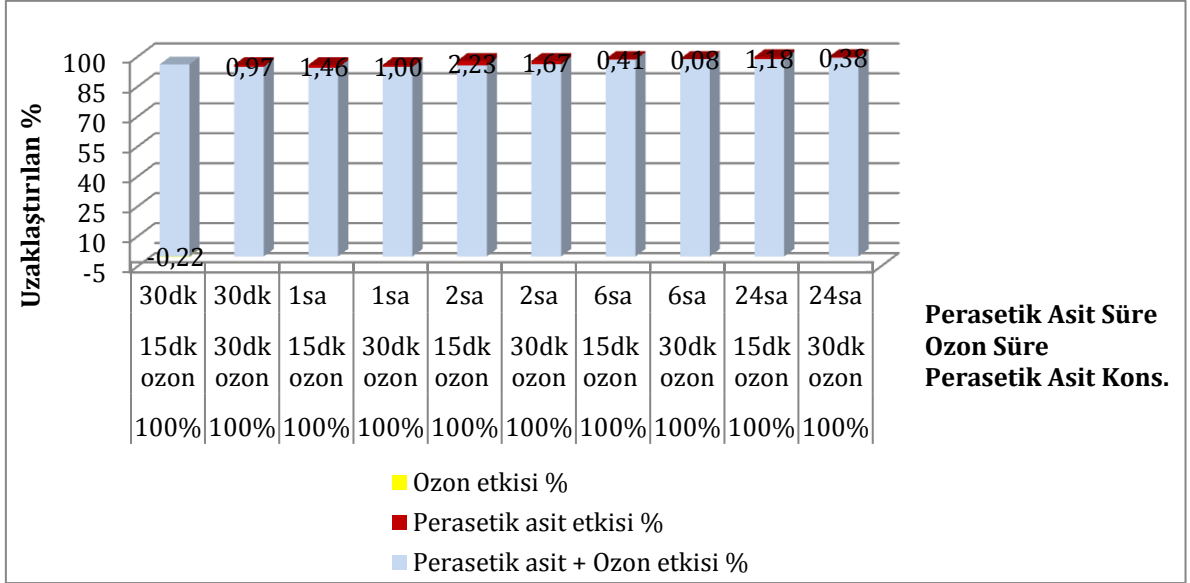
Şekil 53. Perasetik asidin %10'luk konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları



Şekil 54. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları



Şekil 55. Perasetik asidin %50'lik konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları

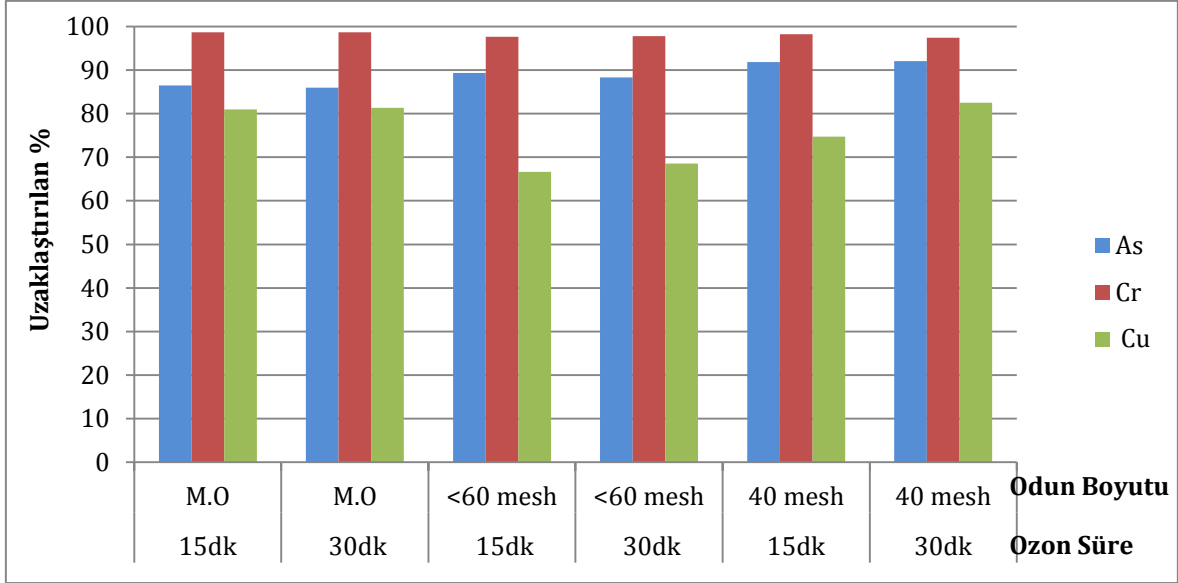


Şekil 56. Perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda bekletilen örneklerden uzaklaştırılan arsenik yüzde oranları

Bu bölümdeki tüm şekillerde negatif (-) değerler, perasetik asitle muamele edildikten sonra ozonla remidasyona uğratılan örneklerden remidasyon etkinliğini arttıran varyasyonları göstermektedir. Diğer taraftan, pozitif (+) değerler, örneklerin perasetik asitle muamele edildikten sonra uygulanan ozon işleminin remidasyon etkinliğini arttırmadığını aksine azalttığını göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, perasetik asit ile remidasyondan sonra ozonunla muamelenin etkili olmadığı tespit edilmiştir. CCA ile empenyeli örneklerin perasetik asitle remidasyonu sırasında krom, bakır ve arsenik fazla miktarlarda odundan uzaklaştırılmıştır. Bu nedenle remidasyona uğrayan örneklere ozon uygulanması bakır, krom, arseniğin uzaklaştırılması bakımından kayda değer sonuçlar sağlamadığı düşünülmüştür.

4.1.5. Odun Boyutunun Etkisi

CCA ile empenyeli masif odun (5x30x50mm) örnekleri, 60 mesh'ten küçük örnekler ve 40 mesh'lik örnekler 20gr/sa ozonla 15 veya 30dk boyunca remidasyona uğratılmıştır. Bunun sonucunda örneklerden uzaklaştırılan arsenik, krom ve bakır miktarları Şekil 57'de verilmiştir.



Şekil 57. Farklı örnek boyutlarının remidasyonu sonucunda uzaklaştırılan değerler

Şekil 57’de boyutları 5x30x50mm (masif odun), 60 mesh’ten küçük ve 40 mesh olan emprenyeli örnekler 15 ve 30dk boyunca ozona maruz bırakılmıştır. Sonucunda 40 mesh’e ait örnek gruplarından en fazla oranda arsenik, krom ve bakır uzaklaştırılmıştır. Remidasyon etkinliği bakımından bakırın uzaklaştırılmasında en kötü sonuç 60 mesh’ten küçük olan örnek gruplarından elde edilmiştir. Yıkanan CCA emprenye maddesi ile yıkılmaya maruz kalan ağaç malzemenin yüzeyi arasında ilişki vardır. Ağaç malzemenin yüzey alanının örnek hacmine oranı arttıkça yıkanan CCA miktarını arttırdığı bilinmektedir.

CCA ile emprenyeli odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik ve krom miktarları örnek boyutlarında benzer oranlarda uzaklaştırıldığı görülmüştür.

Kartal ve Lebow (2000), emprenyeli odun blokları ile normal odun parçalarının, bakır krom, arseniğin uzaklaştırılması üzerine etkisini araştırmışlardır. Yıkılmaya bırakılan örneklerden odun bloklarında 192-336 saatleri kromu uzaklaştırmada etkili bulunmuş, normal odun parçalarında ise 6 saat içinde yıkama gerçekleşmiştir. Örnek boyutunun remidasyon sürelerine bağlı olarak yıkanan krom miktarına etkisi bildirilmiştir.

Kartal (2002), çalışmasında, farklı boyutlardaki CCA ile emprenyeli odundan krom, bakır ve arseniğin uzaklaştırılmasını etilendiamintetraasetik asit (EDTA) kullanarak gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada odun yongaları ve 40 mesh’lik odun tozları kullanılmış iki tip örnek boyutu için farklı EDTA konsantrasyonları hazırlanmıştır.

Örneklerin değişik zamanlarda, oda sıcaklığında bekletilmesiyle deney gerçekleştirilmiştir. Örnek boyutları 40 mesh olan odun tozlarından, %1'lik EDTA çözeltisinde, 24 saat bekletilmesi remidasyon etkinliği bakımından en iyi sonucu vermiş, sırasıyla bakırın %93'ü, kromun % 36'sı ve arseniğin %38'i CCA ile emprenyeli odun tozlarından uzaklaştırılmış, odun yongalarından ise bakırın %60'ı, kromun %13'ü, arseniğin %38'i uzaklaştırılmıştır. Çalışmadan sağlanan sonuçlara göre örnek boyutundaki artışla yıkanma arasında ters orantı olduğu anlaşılmaktadır.

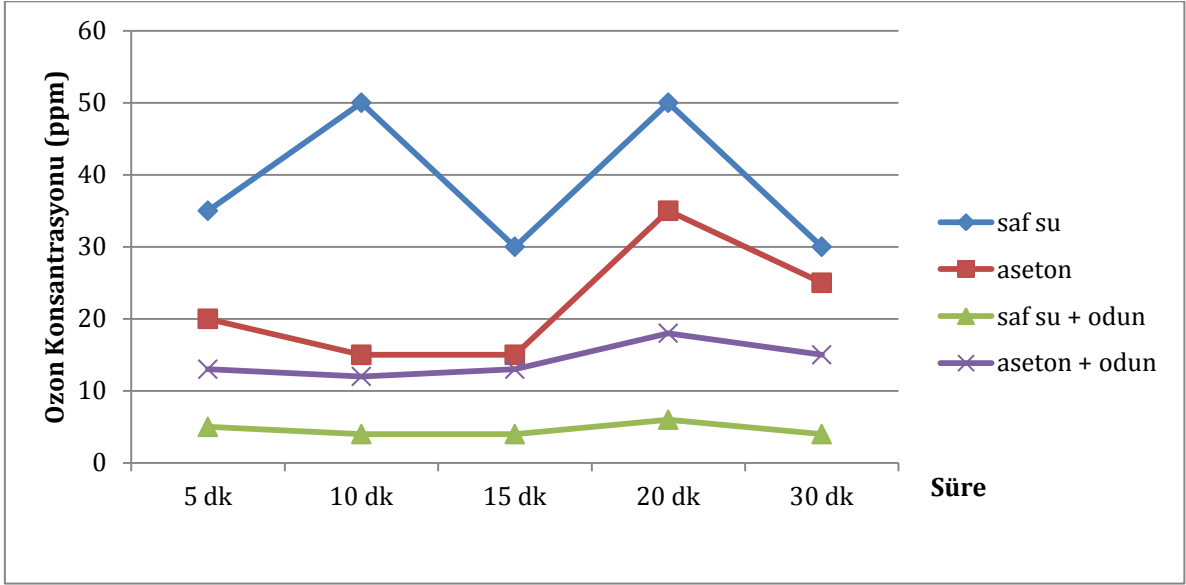
Kartal ve Köse (2003), CCA-C ile emprenye edilmiş odundaki bakır, krom, arseniğin uzaklaştırmasında yaygın şelat (chealate) oluşturan maddelerden olan EDTA (etilendiamintetraasetik asit) , NTA (nitrilotriasetik asit) ve OA (oksalik asit)'in etkisini incelemiştir. Tekrarlı yıkanma işleminde EDTA ve NTA ile birlikte OA kullanılarak emprenyeli odun yonga ve 40 mesh'lik talaşlardan metal oksitlerinin uzaklaştırılması toplu halde yıkanma deneyi ile gerçekleştirilmiştir. CCA-C bileşenlerini uzaklaştırmada, odun boyutunun etkisinin belirlenmesinde, 40 mesh'lik odun talaşından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çift (tekrarlı) remidasyon işlemindeki, EDTA/OA ve NTA/OA ekstraksiyonları sonucunda emprenyeli odun talaşından (40 mesh) bakırın ve arseniğin %100'ü, kromun %90'ı uzaklaştırılırken, odun yongalarından bakırın ve arseniğin %80'i ve kromun %70'i uzaklaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre örnek boyutu arttıkça uzaklaştırılan krom, bakır ve arsenik miktarının azaldığı söylenebilir.

Gezer vd. (2005), farklı boyutlarda (2x2x2cm, 5x5x5cm, 5x5x10cm) hazırladıkları emprenyeli odun örneklerinin, ekstraksiyon çözeltilerinin pH derecelerini 2-5 arasında olacak şekilde ayarlamış ve belirlenen günlerde (1, 3, 7, 14 gün) oleik asitle remidasyona maruz bırakmışlardır. CCA ile emprenyeli odundan krom, bakır ve arseniğin remidasyonu üzerinde örnek boyutlarından elde edilen en iyi sonuç 2x2x2 boyutlarındaki örneklerden sağlanmıştır. Bunun sebebi olarak, örnek yüzey alanının örnek hacmine oranının daha fazla olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

4.2. Remidasyon Çözeltilerinde Ozon Konsantrasyonunun Belirlenmesi

40 mesh'lik emprenyeli odun örnekleri kullanılarak veya kullanılmadan hazırlanan örneklere ozon uygulanmış, sıvılarda biriken ozon konsantrasyonları belirlenmiştir. CCA ile emprenyeli örneklerin aseton ve saf suyla hazırlanan çözeltileri 5dk, 10dk, 15dk ve 20dk ve 30dk süreyle ozonla (20gr/sa) remidasyona uğratılmıştır. Emprenyeli odun

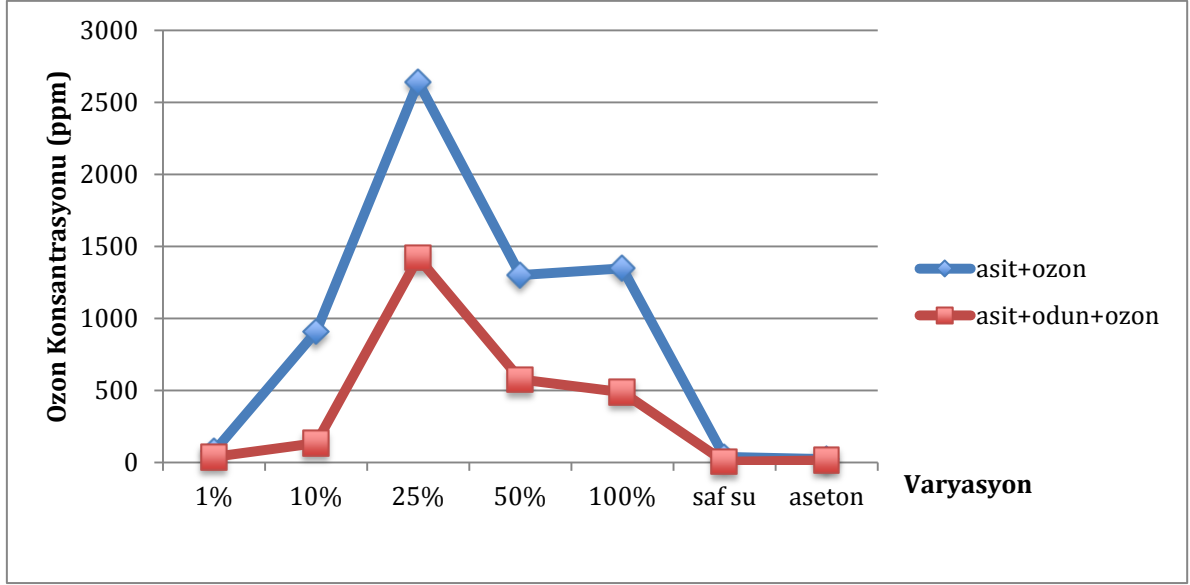
kullanılmadan aseton ve saf suya 5dk, 10dk, 15dk ve 20dk ve 30dk boyunca ozon (20gr/sa) uygulanmıştır. Remedasyon sonrasında her bir varyasyona ait remedasyon sıvısında bulunan ozon konsantrasyonu örneklerin ozonda bekletildikleri sürelerle göre ppm cinsinden Şekil 58’de verilmiştir.



Şekil 58. Remedasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun ozonda bekletildikleri süreye göre belirlenmesi

Şekil 58’de göre 40 mesh’lik emprenyeli odun örnekleri kullanılarak veya kullanılmadan ozonda bekletildikleri süreler sonucunda, ozonda bekletildikleri 20dk sonucunda remedasyon sıvılarından ölçülen ozon konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Ozonda 30dk bekletilen örnek gruplarındaki ozon konsantrasyonu, 20dk bekletilen örnek gruplarındaki ozon konsantrasyonundan elde edilen miktara göre azalmıştır. CCA ile emprenyeli örnekler kullanılmadan aseton ve saf su aynı sürelerde ozona maruz bırakılmış, elde edilen sonuca göre ölçülen ozon konsantrasyonunun, emprenyeli odun örnekleri kullanılarak yapılan remedasyon işlemi sonucunda ölçülen ozon miktarından daha fazla olduğu bulunmuştur.

Ozon ile remedasyona uğrayan örnek gruplarının ozonda bekletildikleri süreler sonunda remedasyon sıvılarından ölçülen ozon konsantrasyonlarının ortalamaları alınmış ve Şekil 59’da verilmiştir.

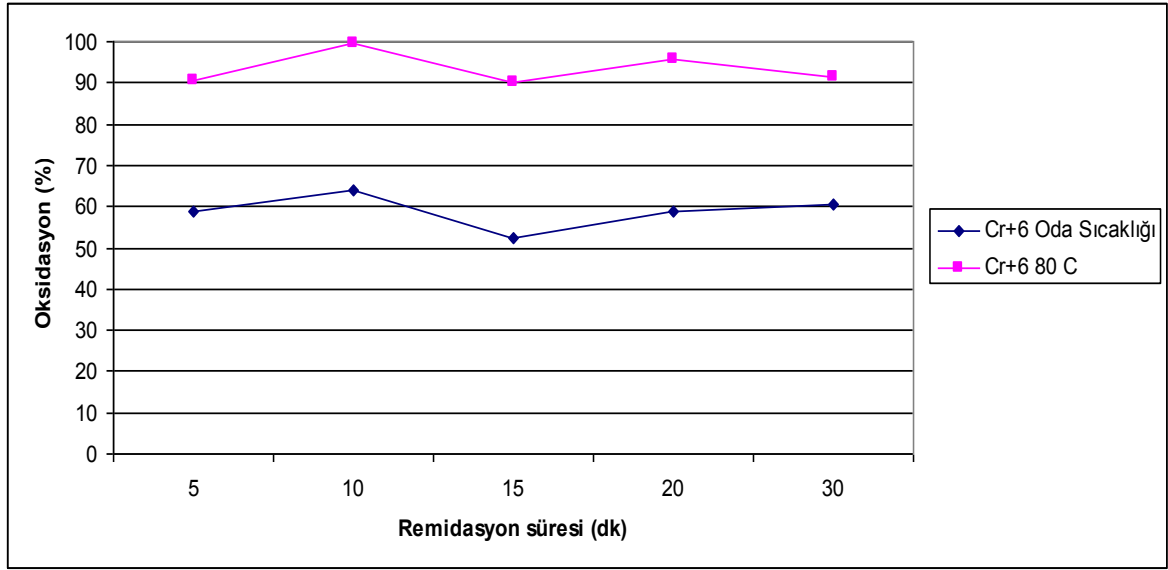


Şekil 59. Remedasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun örnek gruplarında belirlenmesi

40 mesh'lik empenyeli odun örnekleri kullanılmadan ozon uygulanması sonunda çözelti sıvılarındaki ozon konsantrasyonu, empenyeli odun örnekleri kullanılarak yapılan remedasyona göre daha fazla oranlarda belirlenmiştir. Empenyeli örnekler kullanılarak yapılan remedasyon işlemi sırasında ozonun odun örnekleriyle reaksiyona girmesi ve bu durumun remedasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun azalmasına neden olduğu söylenebilir. Ozon tüm konsantrasyonlar arasında en fazla %25'lik perasetik asitte çözülmüştür. %25'lik perasetik asidin, empenyeli örnekler kullanılarak ya da kullanılmadan yapılan ozona maruz kalması sonucunda sıvılarından belirlenen ozon miktarları sırasıyla 1421ppm, 2640 ppm olarak ölçülmüştür.

4.3. Cr⁺⁶ Tayini

Ozon ile remedasyona maruz bırakılan CCA ile empenyeli odun örneklerinden yıkanan toplam kromun ne kadarının +6 değerlikli krom olduğunu tespit edilmiş ve Şekil 60' ta verilmiştir.



Şekil 60. Remidasyon sonrasında emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan Cr^{+6} miktarları

Şekil 60'ta CCA ile emprenyeli odun örnekleri belirlenen sürelerde (5, 10, 15, 20, 30dk) 20gr/sa ozona maruz kalmıştır. Remidasyon çözeltileri seyreltilmiş ve pH'ı NaOH ile 10'a ayarlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 7 ml alınmış ve 3ml hidrojen peroksit ilave edilerek 10 ml lik tüplere doldurulmuş oda sıcaklığında çözeltideki Cr^{+6} miktarı ölçülmüştür. Oda sıcaklığında ölçülen $+6$ değerlikli Cr miktarı (%63), sıcaklık $80^{\circ}C$ 'ye (%99) arttırılıp ölçülen miktardan daha az sonuç vermiştir.

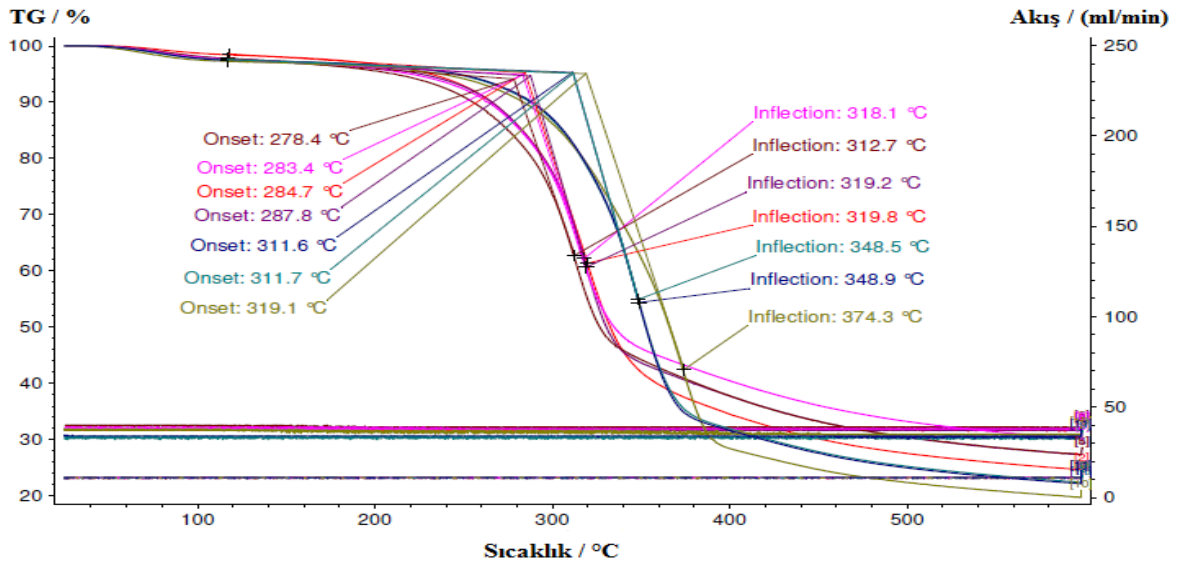
CCA ile emprenyeli odun örneklerindeki Cr^{+3} 'ün ozonla beraber yükseltgenip Cr^{+6} 'ya dönüştüğü ve bu sayede odundan uzaklaştığı düşünülmektedir. Cr^{+3} 'ün remidasyon sürecinde oksidasyonu CCA içeren remidasyon çözeltisinin yeniden kullanılabilme imkanı sunmaktadır (Kazi ve Cooper, 2006).

Gezer ve Cooper (2009), CCA ile emprenyeli 30gr odun tozunu 450 ml %5'lik NaOCl çözeltisinde 20, 40, 60, 80, 100 dk bekletmiştir. Oda sıcaklığında örneklerden yıkanan toplam krom ve oksidasyona uğrayan krom miktarlarını belirlemişlerdir. Cr^{+3} 'ün önemli miktarı 20dk sonra, muhtemelen çözünebilir sulukrom klorürün oluşumu sonucunda çözülmüş fakat az miktarda krom oksidasyonu meydana gelmiştir. 45 dk sonra oksidasyona uğrayan krom miktarı zamanla hemen hemen doğru orantılı olarak artmıştır. 120 dk sonunda toplam uzaklaştırılan kromun %75'inin Cr^{+6} 'ya yükseltgendiği bildirilmiştir.

Kazi ve Cooper (1999), CCA emprenyeli örnekleri %2,5'lük H₂O₂ (hidrojen peroksit) çözeltisinde 1 sa boyunca sırasıyla 30, 50, 70, 81, 90, 94, 96.5, 99, 100, 105, 108 ve 140°C'de bekletmiştir. Örneklerin bekletildiği sıcaklıkların Cr⁺³'ün oksidasyonu üzerinde etkisini karşılaştırmışlardır. 80°C'ye kadar kromun oksidasyonu önemsiz bulunmuş, 80°C'den sonra kromun oksidasyonunda artış gözlenmiştir. 140°C'de oksidasyon en yüksek değerine ulaşmış, Cr⁺³'ün %21'i Cr⁺⁶ 'ya yükseltgenmiştir.

4.4. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Remidasyona uğrayan ve uğramayan odun örneklerinin 2,5 K/dk. hızla 600 °C' ye kadar ısıtılması sonucunda, bazı örneklerin termal bozulma sıcaklıklarından elde edilen TG analizi sonuçları Şekil 61'de verilmiştir.



Şekil 61. TGA cihazından alınan örneklere ait grafik sonuçları

Şekil 61'de yer alan yeşil renkteki eğri, emprenyesiz odun örneklerini, açık mavi renkteki eğri 30dk. boyunca ozon uygulanan örnekleri, koyu mavi renkteki eğri emprenyeli odun örneğini, mor renkteki eğri, %25 konsantrasyonda perasetik asitte 2sa bekletildikten sonra ozon uygulanan odun örneğini, kırmızı renkteki eğri %100 konsantrasyonda perasetik asitte 2sa bekletilen odun örneğini, kahverengindeki renkteki eğri, %100 konsantrasyonda perasetik asitte 2sa bekletildikten sonra ozon uygulanan odun

örneğini, pembe renkteki eğri %25 konsantrasyonda perasetik asitte 2sa bekletilen odun örneğine ait TG eğrisini göstermektedir.

Termogravimetrik analiz sonuçlarına göre, perasetik asitte bekletilmeyen odun örneklerinin termal bozunmaya karşı asitle muamele edilen örneklere kıyasla daha dirençli olduğu görülmüştür. Perasetik asitle işlem gören emprenyeli odun örneklerinin termal bozunmaya karşı daha dayanıksız olduğu bulunmuş, asit konsantrasyonunun artmasıyla bozunma sıcaklığı düşüş göstermiştir. Emprenyeli örnek grubuyla, 30dk ozona maruz kalan emprenyeli örnek grubunun termal davranışı arasında fark olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak ozonun odun bileşenlerine (selüloz, hemiselüloz ve lignin) zarar vermediği gösterilebilir. Yüksek perasetik konsantrasyonlarında remidasyona uğratılan örneklerde odun bileşenlerinde madde kaybına yol açtığından direnç değerlerini etkilediği düşünülebilir.

Literatürde TG analizi ile ilgili elde edilen sonuçlara göre, selülozun kütle kayıpları yaklaşık 100°C’ de başlar, 100–300°C’ler arasında yavaş olarak seyreder. Fakat 300°C kütle kayıp oranı artış gösterir ve 400°C’ de başlangıçtaki kütlenin %80’inden fazlası uçucu bileşikler haline dönüşür (Tomak, 2011).

Odun örneğinin kimyasal yapısında 100°C’deki ısıtma işlem aşamasında değişim gözlenmemiştir. 150°C’ye kadar odundaki suya bağlı olarak %13-17 ağırlık kaybı meydana gelmiştir (Yunchu vd., 2000). 200°C’ye kadar meydana gelen bozunmaların az olduğu gözlenmiştir (Qingwen vd., 2006).

Odunun ısıtma bozunması sonucunda selüloz etkilenmektedir (Gao vd., 2006). 300°C’den 450°C’ye kadar meydana gelen ağırlık kayıpları karbonhidratların ve hemiselülozların 200°C ya da daha düşük sıcaklık derecelerinde bozunmasına bağlı olarak gözlenmiştir (Wang ve Cooper, 2007; Ustaömer, 2008).

5. SONUÇLAR

5.1. Remedasyona Ait Sonuçlar

Atıl haldeki CCA ile emprenyeli örneklerin remedasyonu için ozon ilk kez bu çalışma da kullanılmıştır. CCA ile emprenyeli 40 mesh'lik odun tozlarının ozon ile remedasyonu çözücü kullanılarak ya da kullanılmadan yapılmıştır. Örneklerin çözeltileri asetonla hazırlanıp farklı ozon konsantrasyonlarında hem çözücü olarak aseton kullanılan odun örnekleri hem de sadece emprenyeli odun örnekleri 3 farklı sürede ozonda bekletilmiş, asetonun remedasyona etkisi incelenmiştir. Remedasyon sırasında ilk 5 dk ozonun remedasyona etkisi açısından her iki durumda da önemli bulunmuş ve genel olarak ozonda bekletilme süresi arttıkça örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarında önemli bir etki sağlamamıştır. Örneklerden uzaklaştırılan krom ve arsenik her iki durumda gerçekleşen remedasyonda benzer sonuçlar vermiştir. Emprenyeli odun örneklerinin aseton kullanılarak 10gr/sa ozon ile remedasyona uğratılması ile aseton kullanılmayarak 15gr/sa ozon ile remedasyona uğratılması sonucunda uzaklaştırılan bakır miktarlarının çalışmadaki diğer ozon konsantrasyonlarıyla (çözücü kullanılarak veya kullanılmadan) remedasyona maruz bırakılan örneklerden uzaklaştırılan bakır miktarlarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çözücü olarak aseton kullanıldığında ozon ile uzaklaştırılan krom ve arsenik miktarlarında önemli ölçüde fark görülmemiş, buna karşılık aseton kullanıldığında uzaklaştırılan bakır miktarında bir miktar azalma görülmüştür.

Hidrojen peroksitle hazırlanan çözeltilerin, odunda çözünmez halde bulunan +3 değerlikli kromu, çözünebilen +6 değerlikli kroma dönüştürmede etkili olduğu bilinmektedir. Bu özelliği göz önüne alınarak hidrojen peroksitle hazırlanan perasetik asit çözeltisinin CCA ile emprenyeli odun örnekleri üzerindeki remedasyon etkisi ilk kez bu çalışmada araştırılmıştır.

CCA ile emprenyeli 40 mesh boyutlarındaki örnekler 30dk, 1sa, 2sa, 6sa, 24sa boyunca perasetik asidin %1 - 100'lük konsantrasyonlarıyla remedasyona maruz bırakılmıştır. Perasetik asidin konsantrasyonlarının ve bekletilme sürelerinin CCA ile emprenyeli örneklerden uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Perasetik asidin konsantrasyonu arttıkça remedasyona uğrayan örneklerden uzaklaşan bakır, krom ve arsenik oranları artış göstermiştir. Remedasyon etkinliği

bakımından asitte bekletilme sürelerindeki artış her konsantrasyonun kendi içerisinde uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarlarını olumlu yönde etkilemiştir. Perasetik asit konsantrasyonunu arttırdıkça, yani pH'ın düşmesiyle uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarında artış gözlenmiştir. pH'ın düşük olması bakırın uzaklaştırılması üzerinde daha etkili iken yüksek pH'ın olduğu ortamların kromun çözünmesini ve odundan yıkanmasını kolaylaştırdığı bilinmektedir. Elde edilen bulgulara göre pH'ın düşük olduğu ortamlarda CCA ile empenyeli odundan uzaklaştırılan bakır miktarının arttığı tespit edilmiştir. Yüksek pH'ın (alkali ortamlarda) olduğu ortamlarda lignine bağlanan kromun degradasyona uğradığı düşünülmektedir. Dolayısıyla +3 değerlikli krom +6 değerlikli kroma yükseltgenerek, sudan çözünür hale gelmekte ve odundan uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır.

Perasetik asidin %1 - 100'lük konsantrasyonlarında 30dk, 1sa, 2sa, 6sa, 24sa boyunca bekletilen 40 mesh'lik odun tozları 15 ve 30 dk. süreyle 20gr/sa ozon uygulanmıştır. Remidasyon işlemi sonrasında empenyeli örneklerden uzaklaştırılan bakır, krom, arsenik miktarı üzerinde ozonun etkisi araştırılmıştır. Perasetik asitle remidasyona uğrayan örneklerin ozonda 15 veya 30dk boyunca bekletilmesi remidasyon üzerinde önemli etkisi olmamıştır. Remidasyon etkinliği anlamında en iyi sonuç CCA ile empenyeli örneklerin perasetik asidin %100'lük konsantrasyonunda 24 saat bekletilip ozon uygulandığında elde edilmiş, sırasıyla arseniğin %99'u, kromun %99'u ve bakırın %98'i uzaklaştırılmıştır. Optimum remidasyon şartlarını %25 perasetik asitte 6 saat bekletildikten sonra ozon uygulanan örnekler sağlamıştır. pH 3'ten az olduğu durumlarda uzaklaştırılan bakır, krom, arsenik miktarında artış tespit edilmiştir. Perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda 6 saat remidasyona uğratıldıktan sonra ozon uygulanan örneklerden arsenik ve kromun %98'i, bakırın ise %96'sı uzaklaştırılmıştır. Genel olarak, CCA ile empenyeli örneklerin perasetik asitle remidasyonu sırasında krom, bakır ve arsenik fazla miktarlarda odundan uzaklaştırılmıştır. Bu nedenle remidasyona uğrayan örneklere ozon uygulanması sonucunda, bakır, krom, arseniğin uzaklaştırılması bakımından kayda değer sonuçlar elde edilememiştir.

CCA ile empenyeli 3 farklı boyutta, 5x30x50mm 60 mesh'ten küçük ve 40 mesh'lik, örnekler hazırlanıp 20gr/sa ozonla 15 ve 30dk boyunca remidasyona uğratılmıştır. Örnek boyutunun CCA ile empenyeli örneklerden uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarları üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre; 40 mesh'e ait örnek gruplarından en fazla oranda arsenik, krom ve bakır uzaklaştırılmıştır. Remidasyon

etkinliği bakımından bakırın uzaklaştırılmasında en kötü sonuç 60 mesh'ten küçük olan örnek gruplarından elde edilmiştir. CCA ile emprenyeli odun örneklerinden uzaklaştırılan arsenik ve krom miktarlarının genel olarak aynı oranlarda olduğu görülmüştür. Örnek yüzey alanının örnek yüzey hacmine oranı arttıkça örneklerden uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarlarında artış olduğu söylenebilir. Bir başka ifade ile örnek boyutu arttıkça uzaklaştırılan bakır, krom ve arsenik miktarları azalmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında ozonla remidasyona maruz bırakılan 60 mesh'ten küçük odun tozlarından uzaklaştırılan bakır, krom arsenik miktarları, daha büyük boyutlu örneklerden uzaklaştırılan miktarlara oranla daha düşük tespit edilmiştir. Bu nedenle, remidasyona maruz bırakılacak odun boyutlarının seçimi büyük önem arz ettiği ve optimum odun boyutun seçilmesi gerekliliği tespit edilmiştir.

5.2. Remidasyon Çözeltisindeki Ozon Konsantrasyonuna Ait Sonuçlar

CCA ile emprenyeli 40 mesh'lik emprenyeli odun örnekleri kullanılarak veya kullanılmadan ozonda 5 farklı sürede bekletilmiş ve sıvılardaki ozon konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre CCA ile emprenyeli örnekler kullanılmadan aseton ve saf suyla yapılan deneylerin sonucunda ölçülen ozon konsantrasyonunun, CCA ile emprenyeli örnekler kullanılarak yapılan remidasyon işlemi sonucunda ölçülen ozon miktarından daha fazla olduğu bulunmuştur. %1, %10, %25, %50, %100, saf su ve aseton çözeltileri, odun örnekleri kullanılarak ve kullanılmayarak ozonda 5 farklı sürede bekletilmiş ve sıvılardaki ozon konsantrasyonları belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre ozonun hazırlanan konsantrasyonlar içerisinde en iyi %25'lik perasetik asitte çözüdüğu belirlenmiştir. %25'lik perasetik asidin, emprenyeli örnekler kullanılarak ya da kullanılmadan ozona maruz kalması sonucunda sıvılarında belirlenen ozon miktarları sırasıyla 1421ppm, 2640ppm olarak ölçülmüştür. CCA ile emprenyeli örnekler kullanılarak yapılan remidasyon işlemi sırasında ozonun odun örnekleriyle reaksiyona girmesi ve bu durumun remidasyon sıvılarındaki ozon konsantrasyonunun azalmasına neden olduğu söylenebilir.

5.3. Cr⁺⁶ Tayinine Ait Sonuçlar

CCA ile emprenyeli odun örneklerinden uzaklaştırılan toplam kromun ne kadarının +6 değerlikli krom olduğunu belirlemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. CCA ile emprenyeli odun örnekleri %25 perasetik asit konsantrasyonunda 5, 10, 15, 20, 30dk boyunca 20gr/sa ozona maruz bırakılmıştır. Seyreltilen remidasyon zeltelerinin pH'ı NaOH ile 10'a ayarlanmıştır. Hazırlanan zeltiden 7 ml alınmış ve 3ml hidrojen peroksit ilave edilerek 10 ml lik tüplere doldurulmuş oda sıcaklığında çözeltideki Cr⁺⁶ miktarı llmüştür. Oda sıcaklığında ölçülen +6 değerlikli Cr miktarı, sıcaklık 80 C'ye arttırılıp llen Cr⁺⁶ krom miktarına göre daha düşük bulunmuştur. Oda sıcaklığında toplam kromdan elde edilen en fazla Cr⁺⁶ miktarı %63 iken, bu değer 80C'de %99'a kadar ulaşmıştır. Remidasyon sonrasında Cr⁺³'n oksidasyonu CCA içeren remidasyon çözeltisinin yeniden değerlendirilme olanağını etkilediği bilinmekte sonuç olarak remidasyon çözeltisinden elde edilen Cr⁺⁶ miktarının önemli olduğu düşünülebilir.

5.4. Termogravimetrik Analize Ait Sonuçlar

Bu alışma için seçilen örneklerin (40 mesh) yüksek sıcaklık altında termal dayanımı incelemiştir. Termogravimetrik analiz sonuçlarına göre, perasetik asitte bekletilmeyen odun örneklerinin termal bozunma karşısında asitle muamele edilen örneklerle kıyasla daha dirençli olduğu bulunmuştur. Perasetik asitle işlem gören emprenyeli odun örneklerinin termal bozunmaya karşı daha dayanıksız olduğu bulunmuş, asit konsantrasyonunun artmasıyla bozunma sıcaklığı düşüş göstermiştir. Bunun sebebi olarak asidin odun bileşenlerine (selüloz, hemiselüloz ve lignin) zarar vermesi gösterilebilir. Yüksek perasetik konsantrasyonlarında remidasyona uğratılan örneklerde odun bileşenlerinde madde kaybına yol açtığından direnç değerlerini etkilediği düşünülebilir.

5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Analize Ait Sonuçlar

Bu çalışmada incelenmek üzere seçilen örneklerin yüzeylerindeki mevcut krom, bakır, arseniğin dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenmiş ve

örneklerdeki metal konsantrasyon varlığı EDX (energy dispersive spectrometer) analiziyle belirlenmiştir.

Asitte bekletilmeden yalnızca ozon uygulanan örnek lümenlerinde metal birikimine azda olsa rastlanmıştır. CCA ile emprenyeli örneklerin perasetik asit konsantrasyonu yüksek olan çözeltide bekletilmesi sonucunda lümenlerindeki bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırdığı bununla beraber odunun anatomik yapısını tahrip ettiği tespit edilmiştir.

6. ÖNERİLER

CCA içerisindeki arseniğin yıkanmasının hem yeni emprenye edilmiş hem de uzun süre kullanımda kalmış ağaç malzemede gerçekleştiği bununla beraber çevreye olumsuz etkileri olduğu yapılan çalışmalar sonucunda belirtilmiştir. Çevreye ve sağlığa zararlarından dolayı ABD Ulusal Çevre Koruma Ajansının (Environmental Protection Agency, EPA) 12 Şubat 2002 tarihinde CCA'nın kullanımı ile ilgili almış olduğu kararla; park ve bahçe alanlarında, peyzaj çalışmalarında, çocuk oyun alanlarında ve evlerde kullanımına kısıtlamalar getirilmiştir. Buna karşılık CCA emprenye maddesi telefon direkleri, elektrik direkleri ve iskelelerin, demiryolu traverslerinin kullanımında CCA ile emprenye edildiğini gösteren etiket konulması uygun görülmüştür. CCA ile emprenyeli ağaç malzemelerin yukarıda bahsettiğimiz yerlerde kullanımı 31 Aralık 2003 tarihi itibarıyla tamamen yasaklanmıştır. Buna rağmen gelecekte kullanım ömrünü doldurup atıl hale gelecek emprenyeli ağaç malzeme hala mevcuttur.

Gelişmiş ülkelerde bir takım geri dönüşüm prosesleri uygulanıp çevresel tehdidi olabilen metal tuzları geri kazanıldıktan sonra ahşap malzeme çeşitli endüstri kollarında yakılarak değerlendirilmektedir. Ülkemizde ise atıl haldeki ahşap malzeme farklı kullanım yerlerinde değerlendirilme öncesinde, geri dönüşüm işlemleri yapılmadan, kullanım yerine sunulmaktadır. Hizmet ömrünü tamamlayan malzemelerden tekrar yararlanma yolları aranmalı ve emprenyeli odun atığının yönetimi için yerel ve ulusal düzenlemelerin yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Tekrar kullanım olanağı olan malzemelerin kullanım esnasında daha önceki kullanıma ait dokümanları içeren tüketici bilgi formu ve ürün kullanım kılavuzunun dikkate alınması önemlidir.

Ağaç malzemeyi korumaya yönelik kullanılan kimyasal maddelerin insan sağlığına ve çevreye olan etkileri nedeniyle sadece hedef organizmaya zarar verecek alternatif emprenye maddelerinin geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Hizmet ömrünü tamamlamış CCA ile emprenyeli ağaç malzeme içerisinde yüksek miktarda bakır, krom ve arsenik içermekte ve yok edilmesi sırasında yapılan uygulamalar problem teşkil etmektedir. Bunun sonucunda atıl haldeki CCA ile emprenyeli ağaç malzemenin içeriğinde bulunan ağır metallerin geri kazanılması önem kazanmaktadır. Bu sayede toksik kimyasallar ve ağır metaller içeren tuzlar ile emprenyeli ahşap malzemeler değerlendirilme imkanı bulabilecektir. Emprenyeli atıl odunun tekrar kullanılması veya

geri çevrimi sırasında çevresel önlemlerin alınması gerekmektedir. Yeniden değerlendirme metotları ekonomik ve uygulanabilir hale getirilmelidir.

Bu çalışmada, atıl haldeki CCA ile emprenyeli odundan bakır, krom, arseniğin ozon ve perasetik asitle odundan uzaklaştırılmasına çalışılmış ve atıl haldeki malzemenin yeniden değerlendirilme imkanı araştırılmıştır. CCA ile emprenyeli odun tozları (40 mesh), perasetik asidin 5 farklı konsantrasyonunda 5 farklı sürede remidasyona uğratıldıktan sonra 15 veya 30 dk ozon uygulanmıştır. Remidasyon için optimum süre ve perasetik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Ozon tek başına bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılmasında etkili bulunmuştur fakat perasetik asitle muamele edildikten sonra ozon uygulanan örneklerden önemli ölçüde bakır, krom, arsenik uzaklaştırılamamıştır. Bu nedenle ozon uygulanma öncesinde remidasyon etkisi düşük olan farklı kimyasal çözücülerle örnekler muamelesi denenebilir. CCA ile emprenyeli odun tozlarının ozona maruz bırakıldığı süre remidasyon etkisi açısından önemsiz bulunmuştur. Böylelikle örneklerin ozonda bekletildiği süre daha kısa tutulabilir.

Ozon en iyi çözüdüğü perasetik asidin %25'lik konsantrasyonunda çözülmüştür. Başka bir çalışmada CCA ile emprenyeli örneklerin %25'lik perasetik asitle çözültisi hazırlanıp aynı anda ozonla remidasyona tabi tutularak, ozonun örnekler üzerindeki remidasyon etkinliği araştırılabilir.

Cr^{+6} tayini için remidasyon çözültisinin pH'ı NaOH ile 10'a ayarlanmıştır. Başka bir araştırma için farklı kimyasallar kullanılarak ya da farklı pH seviyeleri ayarlanarak Cr^{+6} miktarı belirlenebilir.

7. KAYNAKLAR

- Abd El-Fatah, S., Goto, M., Kodama, A. ve Hirose, T., 2004. Supercritical Fluid Extraction of Hazardous Metals from CCA Wood, Journal. Supercritical Fluids, 28, 21.
- Alderman, D.R., JR. ve Smith, R.L., 2000. Solid Wood Received and Marketed by Virginia Landfill Facilities. Forest Products Journal, 50, 6, 39-44.
- Alemdağ, Ş., 1967. Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten.
- Alvarez, R.S., 2009. Removal of Copper, Chromium and Arsenic from Preservative-Treated Wood by Chemical Extraction-Fungal Biobleaching Waste Management, 29, 1885-1891.
- Anderson, D.G., 1990a. The Accelerated Fixation of Chromated Copper Preservative Treated Wood. in: Proceedings of the American Wood Preservers' Association 86, 129-151.
- Anderson, D.G., 1990b. The Accelerated Fixation of Chromated Copper Preservative Treated Wood, AWWA, 129-141.
- Anonim, 1994. Sarıçam, Ormancılık Araştırma Enstitüsü, El Kitapları Dizisi: 7, Muhtelif Yayınlar Serisi: 67, Sinem Ofset, Ankara.
- Anonymous, 1987. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. USDA, Forest Service. Agriculture Handbook, 72.
- Anonymous, 2008. Origen Biomedical, Arsenic and CCA Pressure-Treated Wood, 2525-Hartford, RD. Austin, Texas, USA.
- AWPA, 1999. Standard P5-97 Standards for Waterborne Preservatives[S], American Wood Preservers, Association Book of Standards. Granbury, TX: AWWA.
- Becker, G. ve Buchmann, C., 1966. Comparative Chemical Tests on the Leachability of Preservative Salts from Different Wood Species. Holzforschung, 20, 199-204.
- Blaine, R.L. ve Hahn, B.K., 1998. Obtaining Kinetic Parameters by Modulated Temperature Thermogravimetry. Journal of Thermal Analysis, 54, 695-704.
- Baysal, E., 1994. Çeşitli Borlu ve WR Bileşiklerinin Kızıldağ Odununun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi., K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Bozkurt, Y.A., Göker, Y. ve Erdin, N., 1993. Emprenye Tekniği. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No: 425.
- Bozkurt, Y.A. ve Erdin, N., 2000. Odun Anatomisi, İ.Ü Orman Fakültesi Yayınları, O.F. Yayın No. 466, ISBN 975-404-592-5, İstanbul.
- Catallo, W.J., Shupe, T.F. ve Gambrell, R.P., 2004. Hydrothermal Treatment of CCA and Penta-Treated Wood, Wood Fiber Science, 36, 152.
- Christensen, I.V, Pedersen, A.J., Ottosen, L.B ve Ribeiro, A.B., 2006. Electrodialytic Remediation of CCA-Treated Waste Wood in A 2 m³ Pilot Plant Science of The Total Environment, 364, 45–54.
- Clausen, C.A. ve Smith, R.L., 1998. Removal of CCA from Treated Wood by Oxalic Acid Extraction, Steam Explosion, and Bacterial Fermentation Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 20, 251–257.
- Clausen, C.A., 1999. Isolating Metal-Tolerant Bacteria Capable of Removing Copper, Chromium, and Arsenic from Treated Wood. Waste Management, 18, 264-268.
- Clausen, C.A., 2000. CCA Removal from Treated Wood Using a Dual Remediation Process[J]. Waste Management and Research, 18, 485–488.
- Clausen, C.A., 2003. Reusing Remediated CCA Treated Wood. Microbiologist, U.S. Department of Agriculture, Forest Service Forest Product Laboratory, Special Seminar, Madison, Wisconsin.
- Cockroft, R. ve Laidlaw, R.A., 1978. Factors Affecting Leaching of Preservatives in Practice. International Research Group on Wood Preservation 11th Annual Meeting, IRG/WP/3113.
- Conlon, P., 1992. Crosstie Disposal Problem or Opportunity? Proceedings of the Treated Wood Life-Cycle Management Workshop, American Wood Preservers Institute, Vienna, VA. P.18-26.
- Cooper, P.A. ve Ung, T., 1989. Moderate Temperature Fixation of CCA-C. The International Res. Group on Wood Preservation 30th Annual Meeting, Finland, IRG/WP 89-3522.
- Cooper, P.A., 1990. Leaching of CCA from Treated Wood. Canadian Wood Preservation Association. 11, 144-169.
- Cooper, P.A., 1991. Leaching of CCA from Treated Wood: pH Effects. Forest Products Journal, 41, 30-32.
- Cooper, P.A., 1993a. Disposal of Treated Wood Removed from Service: The Issues. in: Environmental Considerations in the Manufacture, Use and Disposal of Preservative Treated Wood. Proc. 7323. Forest Product Society, Madison, WI. 85-90.

- Cooper, P.A., Alexander D.L. ve Ung T., 1993b. What is Chemical Fixation? In: J. Winandy and M. Barnes (Eds). Chromium-Containing Waterborne Wood Preservatives: Fixation and Environmental Issues. Madison WI. Forest Products Society. 7-13.
- Cooper, P.A., 1994. Disposal of Treated Wood Removed from Service: The Issues. Environmental Considerations in the Manufacture, Use, and Disposal of Preservative-Treated Wood Proceedings. Forest Products Society, Wisconsin, USA. 85-90.
- Cserjesi, A.J., 1976. Permanence of Preservatives in Treated Experimental Shake Roofs. Forest Products Journal, 26, 34-39.
- Davis, P.H. 1965. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Volume I, Edinburg OGM, 2009. 2008 Yılı Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri Raporu, Ankara.
- Dobbs, A.J. ve Grant, C., 1978. The Volatilization of Arsenic on Burning Copper-Chrome Arsenic (CCA) Treated Wood, Holzforschung, 32, 32–35.
- Dollimore, D., 1978. The Use of Complementary Data in the Application of Thermal Analysis Techniques. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 13,3, 455-466.
- Dua, M., Singh, A. Sthunathan, N. ve Johri, A.K., 2002. Biotechnology and Bioremediation: Successes and Limitations. Microbiology and Biotechnology, 59, 143-152.
- Duguet, J.P., Brodard, E., Dussert, B. ve Mallevalle, J., 1985. Improvement in the Effectiveness of Ozonation of Drinking Water Through the Use of Hydrogen Peroxide, Ozone Science & Engineering: the Journal of the International Ozone Association.
- Eaton, R.A. ve Hale M.D.C., 1993. Wood: Decay, Pests and Protection. Chapman & Hall. New York, NY, USA.
- Evans, F.G., 1987. Leaching from CCA-Impregnated Wood to Food, Drinking Water and Silage. International Research Group on Wood Preservation 20th Annual Meeting. IRG-WP 87-3433.
- Felton, C.C. ve De Groot, R.C., 1996. The Recycling Potential of Preservative Treated Wood. Forest Product Journal, 46, 7-8, 37-46.
- Fu, O., Argyropoulos, D.S., David C. Tilotta, D.C. ve Lucia, L.A., 2008. Understanding the Pyrolysis of CCA-Treated Wood Part II. Effect of Phosphoric Acid J. Anal. Appl. Pyrolysis, 82, 140–144.

- Gezer, E.D., 2003, Kullanım Süresini Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Yeniden Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., F.B.E., Trabzon.
- Gezer, E.D., Yildiz, U.C., Yildiz, S.B, Dizman, E. ve Temiz, A., 2006. Removal Copper, Chromium and Arsenic from CCA-Treated Yellow Pine by Oleic Acid Building and Environment, 41, 380–385.
- Gezer, E.D. ve Cooper, P.A., 2009. Factors Affecting Sodium Hypochlorite Extraction of CCA from Treated Wood Waste Management, 29, 3009–3013.
- Glazer, A.N. ve Nikaido, H., 1995. Microbial Biotechnology, Fundamentals of Applied Microbiology. Freeman, New York.
- Goldstein, I.S., 1973. Degredation and Protection of Wood from Thermal Attack, in; Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments, Syracuse University Press, I, 307-339.
- Gray, S.M. 1993. Chromated Copper Preservative Systems – The Performance of Treated Wood. in: J. Winandy and M. Barnes (Eds). *Chromium-Containing Waterborne Wood Preservatives: Fixation and Environmental Issues*. Madison WI. Forest Products Society, 14-22.
- Hansen, O.C., Færgemann, H., Møller, S., Hansen, L.K. ve Poll, C., 1997. Træbeskyttelsesmidler og Imprægneret Træ. Arbejdsrapport Fra Miljøstyrelsen Nr. 57, Miljø- Og Energiministeriet, Miljøstyrelsen.
- Hata, T., Meier, D., Kajimoto, T., Kikuchi, H. ve Imamura, Y., 2001. Fate of Arsenic After Fast Pyrolysis of Chromium-Copper-Arsenate (CCA) Treated Wood. in: Bridgwater, A.V. (Ed.), *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackwell Science, Oxford, 1396–1404.
- Hata, T., Bronsveld, P.M., Vystavel, T., Kooi, B.J., De Hosson, J.T.M., Kakitani, T., Otono, A. ve Imamura, Y., 2003. Electron Microscopic Study on Pyrolysis of Chromated Copper Arsenate-Treated Wood, J. Anal. Appl. Pyrol, 68–69, 635–643.
- Helsen, L., Van den Bulck, E.M. ve Hery, J.S., 1998. Total Recycling of CCA Treated Wood Waste by Low-Temperature Pyrolysis. Waste Management, 18, 571-578.
- Helsen, L., Van den Bulck, E.M., Van Bael, M.K. ve Mullens, J., 2003. Arsenic Release During Pyrolysis of CCA-Treated Wood Waste: Current State of Knowledge, J. Anal. Appl. Pyrol, 68–69, 613–633.
- Helsen, L. ve Van den Bulck, E.M., 2004. Review of Thermochemical Conversion Processes As Disposal Technologies For Chromated Copper Arsenate (CCA) Treated Wood Waste. Conference Proceedings from Environmental Impacts of Wood Preservative Treated Wood, February, Florida, USA.

- Hingston, J.A., Collins, C.D., Murphy, R.J. ve Lester, J.N., 2001a. Environmental Pollution, 111, 53-66.
- Hingston, J.A., Collins, C.D., Murphy, R. J. and Lester, J. N., 2001b, "Leaching of Chromated Copper Arsenate Wood Preservatives: A Review", Environmental Pollution, 111, 53-66.
- Homan, W.J., Militz H. ve Lewis, D.A., 1993. Applications of The Shower Test: Part A. Results from CCA Type C Treated Wood: Influence of Fixation Process. International Research Group On Wood Preservation 26th Annual Meeting.
- Honda, A., Kanjo, Y., Kimono, A., Kimono, K., Cosí, K. ve Kashiwazaki, S., 1991. Recovery of Copper, Chromium and Arsenic Compounds from Waste Preservative Treated Wood, Publication IRG/WP/365, International Research Group On Wood Preservation, Stockholm, Sweden.
- Huang, C. ve Cooper, P.A., 2000. Cement-Bonded Particleboards Using CCA-Treated Wood Removed from Service. Forest Products Journal, 50, 6, 49-56.
- Humar, M., Pohleven, F. ve Sentjurc, M., 2004. Effect of Oxalic, Acetic Acid, and Ammonia on Leaching of Cr and Cu from Preserved Wood. Wood Science Technology, 37, 463-473.
- Humphrey, D.G., 2002. The Chemistry of Chromated Copper Arsenate Wood Preservatives. Reviews in Inorganic Chemistry 22, 1, 1-40.
- Illman, B.L. ve Yang, V.W., 2010 Bioremediation and Degradation of CCA-Treated Wood Waste USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA.
- Janin, A., Coudert, L., Riche, P., Mercier, G., Cooper, P.A., Fran, J. ve Ois Blais B., 2011. Application of A CCA-Treated Wood Waste Decontamination Process to Other Copper-Based Preservative-Treated Wood After Disposal Journal of Hazardous Materials, 186, 1880-1887
- Jiang, H. ve Kamdem, P.D., 2007. Differential Scanning Calorimetry Characterization of the Cure of Phenol-Formaldehyde Adhesive in The Presence of Copper-Based Preservative Treated Wood, Wood Science Technology, 41, 637-644
- Jorge, F.S., Santos, T.M., Jesus, J.P. ve Banks, W.B., 1999. Reactions Between Cr (VI) and Wood and Its Model Compounds Part U. Wood Science and Technology, 33, 501-517.
- Kanjo, Y., Kimoto, A. ve Honda, A., 1994. Extraction of Chrome, Copper, and Arsenic Compounds from Waste Preservatives-Treated Wood, Haikibustugakkaironbunshi, 5, 185-192.
- Kakitani, T., Hata, T., Kajimoto, T. ve Imamura, Y., 2004. Effect of Pyrolysis on Solventextractability of Toxic Metals from Chromated Copper Arsenate (CCA)-Treated Wood, Journal of Hazardous Materials, 109, 53.

- Kartal, S.N. ve Lebow, S.T., 2001. Effect of Compression Wood on Leaching and Fixation of CCA-C Treated Red Pine. Wood and Fiber Science, 33, 2, 182–192.
- Kartal, S.N. ve Clausen, C.A., 2001. Leachability and Decay Resistance of Particleboard Made from Acid Extracted and Bioremediated CCA-Treated Wood International Biodeterioration & Biodegradation, 47, 183–191.
- Kartal, S.N., 2002. Effect of EDTA on Removal of CCA from Treated Wood. IRG/WP 02-50182. International Research Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.
- Kartal, S.N. ve Köse, C., 2003. “Remediation of CCA-C Treated Wood Using Chelating Agents”, Holz Als Roh- Und Werkstoff, 61, 382-387.
- Kartal, S.N., Hwang, W.J. ve Imamura Y., 2005. Effects of Hard Water, Sea Water and Humic Acid on the Release of CCA Components from Treated Wood. International Research Group on Wood Protection, 36th Annual Meeting, Kyoto. IRG/WP 05-50229.
- Kartal, S.N., Munir, E., Kakitani, T. ve Imamura, Y., 2004. Bioremediation of CCA-Treated Wood by Brown-Rot Fungi *Fomitopsis Palustris*, *Coniophora Puteana*, and *Laetiporus Sulphureus* The Japan Wood Research Society 2004, Journal Wood Science, 50, 182–188.
- Kartal, S.N. ve Imamura, Y., 2004 Removal of Copper, Chromium, and Arsenic from CCA-Treated Wood onto Chitin and Chitosan, Bioresource Technology, 96, 389–392.
- Kazi, K.M.F. ve Cooper, P.A., 1998. Solvent Extraction of CCA-C from Out-of-Service Wood. The International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 98-50107.
- Kazi, K.M.F. ve Cooper, P.A, 1999. Recovery and Reuse of Chromated Copper Arsenate (CCA) Wood Preservative from CCA Treated Wastes. Presented at 20th Annual Canadian Wood Preservation Association Conference, Oct. 25-26, Vancouver BC.
- Kazi, K.M.F. ve Cooper, P.A., 2004. Method to Recover and Reuse Chromated Copper Arsenate Wood Preservative from Spent Treated Wood Waste Management, 26, 182–188
- Kempton, C.C., 1992. Life Cycle Management of Treated Wood Products: Issues & Answers. Proceedings of The Treated Wood Life-Cycle Management Workshop, American Wood Preservers Institute, Vienna, 54-105.
- Kişisel Görüşme, 2012. TEDAŞ Genel Müdürlüğü, Türk Telekom A.Ş. Genel Müdürlüğü.

- Kılıç, A., 2001. "Effect of Sample Dimensions on Leachability of CCA", Study, Conservation and Utilisation of Forest Resources, Third Balkan Scientific Conference, 348-352, Sofia.
- Kim, J. ve Kim, G., 1993. Leaching of CCA Components from Treated Wood Under Acidic Conditions, International Research Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.
- Ko, C.A, Pin-Jui Chen A., Shu-Hui Chen B., Fang-Chih Chang B., Far-Ching Lin A. ve Ke-Kung Chen C., 2010. Extraction of Chromium, Copper, and Arsenic from CCA-Treated Wood Using Biodegradable Chelating Agents Bioresource Technology, 101, 1528–1531.
- Kotalainen, R., 2000. Chemical Changes in Wood During Heating at 150-260°C, Department of Chemistry, Academic Disertation for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Jyväskylä, Research Report No:80.
- Kristensen, O., 2002. Gasification of CCA Impregnated Wood. Presented at The Symposium Handling of Impregnated Waste Wood, Silkeborg, Denmark.
- Lebow, S.T., 1996. Leaching of Wood Preservative Components and Their Mobility in The Environment, Summary of Pertinent Literature, Gen. Tech. Rep., FPL-GTR-93.U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Lebow, S.T., 1999. Foster, D.O. ve Lebow, P.K. Release of Copper, Chromium and Arsenic from Treated Southern Pine Exposed in Seawater and Freshwater. Forest Products Journal, 49, 7/8, 80-89.
- Lebow, S.T., Foster, D.O. ve Lebow, P.K., 2004. Rate of CCA Leaching from Commercially Treated Decking, For. Prod. J., 54, 81.
- Lee, A.W.C, Grafton HI, J.C ve Tainter, F.H., 1993. Effect of Rapid Redrying Shortly After Treatment on Leachability of CCA Treated Southern Pine. Forest Products Journal, 43, 2, 37-40.
- Lin, L., Yoshioka, M., Yao, Y. and Shiraishi, N., 1997. Liquefaction Mechanism of Lignin in The Presence of Phenol at Elevated Temperature without Catalysts, Part I, Structural Characterization of The Reaction Products, Holzforschung, 51, 316.
- Lin, L., Yao, Y. ve Shiraishi, N., 2001. Liquefaction Mechanism of -O-4 Lignin Model Compound in The Presence of Phenol Under Acid Catalysis, Part 2, Reaction Behavior and Pathways, Holzforschung, 55, 625.
- Lin, L. ve Hse, C.Y., 2002. *Removal of CCA from Spent CCA-Treated Wood*, Publication IRG/WP 02-50192, International Research Group on Wood Preservation, Stockholm, Sweden.

- Lin, L., Hse, C.Y. ve Shupe, T.F., 2003. A Process for Detoxification of CCA-Treated Wood and Recycling of The Chromated Copper Arsenate and The Detoxified Wood, U.S.
- Lin, L., ve Hse, C.Y., 2005. Liquefaction of CCA-Treated Wood and Elimination Of Metals from the Solvent by Precipitation, Holzforschung, 59, 285.
- Linda, F., Lorenz, L.F. ve Frihart, C., 2005. Adhesive Bonding of Wood Treated with ACQ and Copper Azole Preservatives Article No. 10058. Forest Products Society Member. Forest Products Society 2006. Forest Prod. J. 56, 9, 90-93.
- Lindroos, L., 2002. Balance of Arsenic and Recycling. Presented at The 33rd Annual IRG Meeting, Cardiff, Wales, UK.
- Malecki, R.L., 1994. Treated Wood Disposal: The Electric Utility Perspective. Environmental Considerations in The Manufacture, Use, and Disposal of Preservative-Treated Wood Proceedings. Forest Products Society, Wisconsin, USA. 91-95.
- McMahon, C.K., Bush, P.B. ve Woolson, A.E., 1986. How Much Arsenic is Released When CCA Treated Wood is Burned? Forest Product Journal, 36, 11, 45-50.
- McNamara, W.S., 1989. CCA Fixation Experiments-Part I. The International Res. Group On Wood Preservation 30th Annual Meeting, Finland.
- McQueen, J. ve Stevens, J., 1998. Disposal of CCA-Treated Wood. Forest Products Journal, 48, 11-12, 86-90.
- Moghaddam, A.H. ve Mulligan C.N., 2008. Leaching of Heavy Metals from Chromated Copper Arsenate (CCA) Treated Wood After Disposal Waste Management, 28, 628-637.
- Moreira, E.E., Ribeiro, A.B., Mateus, E.P., Mexia, J.T. ve Ottosen, L.M., 2005. Regressional Modeling of Electrodialytic Removal of Cu, Cr and As from CCA Treated Timber Waste: Application to Sawdust Wood Science Technology, 39, 291-309.
- Morrell, J.J., 1999. Pole Disposal in The Pacific Northwest, Proceedings Utility Pole Structures Conference and Trade Show, Reno, NV, October , 53-59.
- Morrell, J.J. ve Lopath, S., 2000. Treated Wood Waste in the Recycling Stream. Proceedings American Wood Preservers' Association 96, 44-47.
- Morrell, J., 2004. Environmental Impacts of Preservative – Treated Wood, Orlando, FL, USA Disposal of Treated Wood Jeffrey J. Morrell Oregon State University, Corvallis, Oregon 97331.

- Murphy, R.J. ve Dickinson, D.J., 1990. The Effect of Acid Rain on CCA Treated Timber. International Research Group on Wood Preservation 21st Annual Meeting, IRG/WP 90-3579.
- Qingwen, W., Jian, L. ve Shujun, L., 2006. Fire-Retardant Mechanism of Fire-Retardant FRW by FTIR, Frontiers of Forestry, China, 4, 438-444.
- Ostmeyer, J.G., Elder, T.J. ve Winandy, J.E., 1989. Spectroscopic Analysis of Shouthern Pine Treated with Chromated Copper Arsenate. U. Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (DRIFT). Journal of Wood Chemistry and Technology, 9, 1, 105-122.
- Ottosen, L.M., Hansen, H.K., Laursen, S. ve Villumsen, A., 1997. Electrodialytic Remediation of Soil Polluted with Copper from Wood Preservation Industry. Environmental Science and Technology, 31, 1711 – 1715.
- Örs, Y. ve Keskin, H., 2001. Ağaç Malzeme Teknolojisi. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Pedersen, A.J., Kristensen, I.B., Ottosen, L.M., Ribeiro, A.B. ve Villumsen, A., 2005. Electrodialytic Remediation of CCA-Treated Waste Wood in Pilot Scale Engineering Geology, 77, 331–338.
- Petric, M., Murphy, R.J. ve Morris, I., 2000. Microdistribution of Some Copper and Zinc Containing Waterborne and Organic Solvent Wood Preservatives in Spruce Wood Cell Walls. Holzforshung, 54, 23-26.
- Pizzi, A., 1982. The Chemistry and Kinetic Behavior of Cu–Cr–As/B Wood Preservatives. IV. Fixation of CCA to Wood. Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Edition 20, 739–764.
- Pizzi, A., 1983. A New Approach to The Formulation and Application of CCA Preservatives. Wood Science and Technology, 17, 303-319.
- Pizzi, A., 1983. Practical Consequences of the Clarification of the Chemical Mechanism of CCA Fixation to Wood, International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP3220, Stockholm, Sweden
- Pizzi, A. 1990a. Chromium Interactions in CCA/CCB Wood Preservatives. Part I. Holzforshung, 44, 5, 373-380.
- Pizzi, A. 1990b. Chromium Interactions in CCA/CCB Wood Preservatives. Part II. Holzforshung, 44, 8, 419-424.
- Prado, J. ve Esplugas, S., 1995. “Comparison of Different Advanced Oxidation Process Volving Ozone to Eliminate Atrazine,” Ozone Sci. & Eng. 17, 183-194.
- Rak, J.R. ve Clarke, M.R., 1974. Leachability of New Water-Borne Preservative Systems for Treated Wood Products. Proc. Amer. Wood. Preserv. Assoc. 70, 27-32.

- Ribeiro, A.B., Mateus, E.P., Ottosen, L.M. ve Bech-Nielsen, G., 2000. Electrodialytic Removal of Cu, Cr, And As from Chromated Copper Arsenate-Treated Timber Waste. Environmental Science & Technology, 34, 784–788.
- Rowell, R.M. 2001. Performance Driven Composites from Lignocellulosic Resources, International Conference on Science and Technology of Composite Materials, 29-32.
- Richardson, B.A., 1993. Wood Preservation. Second Edition. Chapter 1. Preservation Technology. Chapman & Hall Press, NY, USA.
- Ruddick, J.N.R., Yamamoto, K. ve Herring, F.G., 1994. The Influence of Accelerated Fixation on the Stability of Chromium (VI) in CCA-Treated Wood. Holzforschung, 48, 3.
- Sabo, R., Clausen, C.A. ve Winandy, J.E., 2008. Thermochemical Remediation of Preservative Treated Wood. IRG/WP 08-50254, Stockholm, Sweden.
- Schert, J., 2002. Phase Out of CCA in United States. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 02-50194, 1-10.
- Schroeder, H.A., 2008. Scientists Endorse CCA Treated Wood as Environmentally Responsible, Dartmouth Medical School, Canada.
- Shiraishi, N., 1989. Cellulosics Utilization, Research and Rewards in Cellulosics, Elsevier Applied Science, London.
- Shiraishi, N. ve Hse, C.Y., 2001. Liquefaction of Preservative-Treated Wood and Its Application in Wood Adhesives, South Lake Tahoe, Nevada. Forest Products Society, Madison, WI, 259.
- Shiau, R.J., Smith, R.L. ve Avelllar, B., 2000. Effects of Steam Explosion Processing and Organic Acids on CCA Removal from Treated Wood Waste. Wood Science and Technology, 34, 377-388.
- Solo-Gabriele, M.H., Townsend, T., Penha, J., Tolaymat, T., ve Calitu, V. 1999. Disposal and Management of CCA Treated Wood. Proceedings American Wood Preservers' Association 95, 65-74.
- Solo-Gabriele, M.H., Townsend, T.G., Messick, B. ve Calitu, V., 2002. Characteristics of Chromated–Copper–Arsenate-Treated Wood Ash, Journal Hazard Material, 89, 213–232.
- Solo-Gabriele, M.H., Townsend, T.G. ve Schert, J., 2003. Environmental Impacts of CCA Treated Wood: A Summary from Seven Years of Study Focusing on The US Florida Environment. Presented at The 34th Annual IRG Meeting, Brisbane, Australia.

- Syrjanen, T., ve Kangas, E., 2001. Recycling of Pressure Impregnated Timber and Preservatives – Incineration Techniques. Presented at the IRG Symposium Environment and Wood Preservation, Cannes- Mandelieu, France.
- Şen, S. ve Hafizoğlu, H., 2001. Ahşap Korumada Kullanılan Bazı Kimyasalların Çevreye Etkileri. Ulusal Sanayi Çevre Sempozyumu. 753-759. Mersin.
- Şen, S. ve Yalçın, K., 2009. Hizmet Ömrünü Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemenin Çevresel Tehditleri ve Geri Dönüşüm Prosesleri. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 5, 91-106.
- Takehita, Y., Sato, Y. ve Nishi, S., 1999. Supercritical Fluid Extraction of Toxic Metals from Woods Containing Preservatives, in Proceedings of The First International Symposium on Environmentally Conscious Design, Tokyo, Japan, Feb., IEEE Computer Society, Piscataway, NJ, 906.
- Taşcıoğlu, C. ve Tufan M., 2011. Hizmet Ömrünü Doldurmuş Emprenyeli Ağaç Malzemenin Geri Dönüşüm Yöntemleri Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. 12, 1, 86-91.
- Teichman, T. ve Monkman, J.L., 1966. An Investigation of Inorganic Wood Preservatives: I. The Stability to Extraction of Arsenic Impregnated Hardwood, Holzforschung, 20, 125-127.
- Tomak, E.D., 2011. Masif Odundan Bor Bileşiklerinin Yıkanmasını Önlemede Yağlı Isıl İşlemin Ve Emülsiyon Teknikleri İle Emprenye İşleminin Etkisi, Doktora Tezi, K.T.Ü., F.B.E., Trabzon
- URL-1, <http://web.ogm.gov.tr/bilgiservisleri/agacturleri/agac1.htm>. 10 Mart 2012.
- URL-2, <http://www.asit.com.tr/asetik-asit.html>. 5 Mart 2012.
- URL-3, <http://rehber.ihya.org/yenirehber/hidrojen-peroksit.html>. 25 Şubat 2012.
- URL-4, <http://ansiklopedi.blogspot.com/2005/01/perasetik-asit.html>. 5 Mart 2012.
- URL-5, <http://www.teknolojishow.com/forum/31-enstrumantel-analiz/189-termal-analiz-yontemleri-tga-dtg-dta-dsc-tma-dma.html>. 28 Şubat, 2012.
- URL-6, <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm>. 12 mart 2012.
- URL-7, <http://www.airozon.com>. 10 Mart 2012.
- Ustaömer, D., 2008. Çeşitli Yanmayı Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Velizarova, E., Ribeiro, A.B. ve Ottosen, L.M., 2002. A Comparative Study on Cu, Cr and As Removal from CAA-Treated Wood Waste by Dialytic and Electrodiatic Processes. Journal of Hazardous Materials, 28, 7, 1-14.
- Velizarova, E., Ribeiro, A.B, Mateus, E., Ottosen L.M., 2004. Effect of Different Extracting Solutions On The Electrodiatic Remediation of CCA-Treated Wood Waste Part I. Behaviour of Cu and Cr Journal of Hazardous Materials 107, 103–113
- Van Rooij ve A.M.L., 2003. Open Brief Aan Voorzitter R. Prodi Van de Commissie Van de Europese Gemeenschap. <http://www.Sdnl.Nl/Prodi-5.htm>.
- Vick, C.B. ve Kuster T.A., 1992. Mechanical Interlocking of Adhesive Bonds to CCA Treated Southern Pine A Scanning Electron Microscopic Study. Wood and Fiber Science, 24, 1, 36-46.
- Vick, C.B. ve Christiansen, A.W., 1993. Cure of PRF Adhesive in The Presence of CCA-Treated Wood by Differential Scanning Calorimetry. Wood and Fiber Science, 25, 77-86.
- Vick, C.B., Geimer, R.L. ve J.E. Wood, 1996. Flakeboards from Recycled CCA-Treated Southern Pine Lumber. Forest Product Journal, 46, 11-12, 89-91.
- Vick, C.B., 1997. Enhanced Adhesion of Melamine-Urea and Melamine Adhesives to CCA-Treated Southern Pine Lumber. Forest Products Journal, 47, 7-8, 83-87.
- Virkutyte, J., Velizarova E., Ribeiro, A.B. ve Sillanp, M., 2005. "Copper and Chromium Electrodiatic Migration in CCA-Treated Timberwaste Water, Air, and Soil Pollution 160, 27–39.
- Vural, T. ve Çelen, E., 2005. Sıvı Dezenfektan Olarak Hidrojen Peroksit, Perasetik Asit ve Türevi Alet Dezenfektanlarının Kullanım İlkeleri. Kombinasyonlarının Kıyaslanması, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Akdeniz Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Antalya.
- Wai, C.M., Wang, S., 1997. Supercritical Fluid Extraction: Metals Ascomplexes, J. Chrom. A. 785, 369–383.
- Webb, D.A. ve Davis, D.E., 1992. Spent Creosote-Treated Railroad Crossties – Alternatives and Their Reuse. Proceedings of the Treated Wood Life-Cycle Management Workshop, American Wood Preservers Institute, Vienna. 109-138.
- Yalınkılıç, M.K., 1993. Ağaç Malzemelerin Yanma, Higroskopitite ve Boyutsal Stabilitte Özelliklerinde Çeşitli Emprenye Maddelerinin Neden Olduğu Değişiklikler ve Bu Maddelerin Odundan Yıkınabilirlikleri, Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon.

- Yamamoto, K., Motegi, S. ve Inai, A., 2000. Leaching Amount of Wood Preservatives, 31st Annual Meeting, Hawaii, USA, IRG Document No. 00-50160.
- Yang, V.W. ve Illman, B.L., 1999. Optimum Growth Conditions for the Metal-Tolerant Wood Decay Fungus, *Meruliporia Incrassata* TFFH 294. The International Res. Group on Wood Preservation 30th Annual Meeting, Rosenheim, Germany. IRG/WP 99-50142.
- Warner, J.L. ve Solomon. K.R., 1990. Acidity as a Factor in Leaching of Copper, Chromium and Arsenic from CCA Treated Dimension Lumber. Environmental Toxicology Chemistry, 9, 1331-1337.
- Wang, J. ve Cooper, P.A, 2007. Fire, Flame Resistance and Thermal Properties of Oil Thermallytreated Wood, 38. IRG Annual Meeting, May, Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA, IRG-WP 07-40361.
- Wilkinson, J.G., 1979. Industrial Timber Preservation. Associated Business Press. London, England, UK.

8. EKLER

Ek Tablo 1. Perasetik asitle remidasyona uğratan örneklerden bakırmın uzaklaştırılmasında asitte bekletilme süresinin etkisi

Perasetik Asit Konst. (%) + Süre	HG*										
%50 / 24 sa	A										
%100 /24sa	A										
%100/6sa	A	AB									
%50/2sa	A	AB									
%25 /24sa	A	AB	ABC								
%50 /6sa	A	AB	ABC	ABCD							
%100/2sa	A	AB	ABC	ABCD	ABCDE						
%10/1sa	A	AB	ABC	ABCD	ABCDE						
%25/6sa	A	AB	ABC	ABCD	ABCDE	ABCDEF					
%100/1sa	A	AB	ABC	ABCD	ABCDE	ABCDEF					
%50/1 sa	A	AB	ABC	ABCD	ABCDE	ABCDEF					
%25/2sa		B	BC	BCD	BCDE	BCDEF	BCDEFG				
%10/ 30dk		B	BC	BCD	BCDE	BCDEF	BCDEFG				
%10 /6sa			C	CD	CDE	CDEF	BCDEFG	BCDEFGH			
%10 /24 sa			C	CD	CDE	CDEF	CDEFG	CDEFGH			
%10 /2sa			C	CD	CDE	CDEF	CDEFG	CDEFGH	CDEFGHI		
%50 /30dk				D	DE	DEF	DEFG	DEFGH	DEFGHI		
%100 /30dk				D	DE	DEF	DEFG	DEFGH	DEFGHI		
%1 / 30dk				E	E	EF	EFG	EFGH	EFGHI	EFGHIJ	
%1/ 1 sa					F	F	FG	FGH	FGHI	FGHIJ	
%1/2sa						G	G	GH	GHI	GHIJ	
%25 /1sa						G	G	GH	GHI	GHIJ	
%1/24sa							H	H	HI	HIJ	
%1/6sa									I	IJ	
%25/30dk										J	

* Duncan testi sonuçlarına göre benzer harfler arasında istatistiksel anlamda fark yoktur.

Ek Tablo 2'nin devamı

1	2sa	30	G	GH	GHI	GHIJ	GHJK		
50	30dk	30		H	HI	HIJ	HIJK		
50	1sa	30		H	HI	HIJ	HIJK		
50	30dk	15		H	HI	HIJ	HIJK		
25	2sa	30		H	HI	HIJ	HIJK		
50	2sa	30		H	HI	HIJ	HIJK		
100	30dk	30		H	HI	HIJ	HIJK		
25	30dk	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
100	1sa	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
1	2sa	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
1	6sa	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
25	1sa	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
1	30dk	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
10	6sa	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
100	1sa	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
1	24sa	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	
1	1sa	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	HIJKLM
10	30dk	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	HIJKLM
1	30dk	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	HIJKLM
1	6sa	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	HIJKLM
1	24sa	30		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	HIJKLM
10	30dk	15		H	HI	HIJ	HIJK	HIJKL	HIJKLM

Ek Tablo 2'nin devamı

10	6sa	15											I	IJ	IJK	IJKL	IJKLM
10	24sa	15											I	IJ	IJK	IJKL	IJKLM
1	1sa	15											I	IJ	IJK	IJKL	IJKLM
10	2sa	15												J	JK	JKL	JKLM
10	1sa	30													K	KL	KLM
10	2sa	30														L	LM
10	1sa	15															M

* Duncan testi sonuçlarına göre benzer harfler arasında istatistiksel anlamda fark yoktur.

ÖZGEÇMİŞ

21.08.1985 tarihinde Trabzon'da doğdu. Lise öğrenimini 2003 yılında Trabzon Lisesi Süper Bölümde tamamladı. 2004 yılında İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2008 yılında mezun oldu. 2009 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2010-2011 akademik yılında Erasmus bursuyla Avusturya, Viyana Bodenkultur Üniversitesi'nde bir dönemlik öğrenim görmeye hak kazandı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.