

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARTVİN YÖRESİNDEKİ TEL DİREKLERİNDE KUSUR VE HASARLARIN
TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Davut BAKIR

HAZİRAN 2012

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARTVİN YÖRESİNDEKİ TEL DİREKLERİNDE KUSUR VE HASARLARIN
TESPİTİ**

Davut BAKIR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28/05/2012
Tezin Savunma Tarihi : 15/06/2012**

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

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Davut BAKIR tarafından hazırlanan

ARTVİN YÖRESİNDEKİ TEL DİREKLERİNDE KUSUR VE HASARLARIN
TESPİTİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun. 29/05/2012 gün ve 1453/3 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç.Dr. Turan YÜKSEK

Üye : Doç.Dr. Ali TEMİZ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Engin Derya GEZER

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Artvin yöresindeki tel direklerinde kusur ve hasarların tespiti” adlı bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans danışmanlığımı üstlenerek, her türlü çalışmanın yürütülmesi esnasında yardım ve desteklerini esirgemeyen gerek mesleki gerekse de kişilik açısından daima örnek alacağım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER’e şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın yürütülmesi aşamasında, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Hüseyin PEKER’e, Doç. Dr. Sami İMAMOĞLU’na, Yrd. Doç. Dr. Bülent TURGUT’a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öğrenim gördüğüm Karadeniz Teknik Üniversitesi başta olmak üzere, laboratuvar imkânlarını hizmetime açan Artvin Çoruh Üniversitesi’ne ve Elazığ Fırat Üniversitesi’ne, teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada TÜBİTAK, Proje No:108O414 numaralı projeden faydalanılmıştır.

Tez yazım aşamasında büyük desteklerini gördüğüm Arş. Gör. Mehmet KÜÇÜK’e, Arş. Gör. Selçuk AKBAŞ’a, Arş. Gör. Mehmet ÖZCAN’a, Arş. Gör. Nadir ERSEN’e ve Karadeniz Teknik Üniversitesi ile Artvin Çoruh Üniversitesi’nde bulunan tüm hoca ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmamda maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Davut BAKIR

Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Artvin Yöresindeki Tel Direklerinde Kusur ve Hasarların Tespiti” 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

Davut BAKIR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	XII
SUMMARY	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
TABLolar DİZİNİ.....	XIX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Ülkemizde Kullanılan Tel Direkleri	4
1.2.1. Ağaç Direkler	5
1.2.2. Beton (Betonarme) Direkler	5
1.2.3. Demir Direkler	6
1.3. Ağaç Tel Direklerinin Hazırlanması	8
1.3.1. Soyma	9
1.3.2. Kurutma	10
1.3.2.1. Buharla Kurutma.....	10
1.3.2.2. Açık Havada Kurutma	10
1.3.2.3. Fırında Kurutma.....	11
1.3.3. Tel Direğine Son Şeklini Verme- Boyutlandırma (Pole- Framing).....	11
1.3.4. Oyma ve Radyal Yönde Delme (Incising).....	11
1.3.5. Çentik Açma (Kerfing)	12
1.3.6. Emprenye İşlemine Tabi Tutma.....	12
1.4. CCA (Bakır, Krom, Arsenik).....	12
1.4.1. CCA'nın Üretilmesi	14
1.4.2. Tel Direklerinde CCA'nın Fiksasyonu	14
1.4.3. CCA'nın Yıkanması.....	15
1.5. CCA (Cu, Cr, As) Elementlerinin Topraktaki Hareketleri (Mobilitesi)	17
1.5.1. CCA'nın (Cu, Cr, As) Zehirlilik Etkisi (Toksitesitesi).....	17
1.5.1.1. Bakır (Cu)	20
1.5.1.2. Krom (Cr).....	20

1.5.1.3.	Arsenik (As).....	21
1.5.2.	Toprak Özellikleri.....	21
1.5.2.1.	Metal Retensiyonunun Kimyası.....	24
1.5.2.1.1.	Adsorpsiyon (Yüzeye Tutunma) Reaksiyon Mekanizması	24
1.5.2.1.1.1.	Katyon Değişim Kapasitesi- KDK (Cation Exchange Capacity)	25
1.5.2.1.1.2.	Ligand (Merkezi Atoma Bağlı Atom, Molekül veya İyon) Değişim Reaksiyonu (Ligand Exchange Reaction)	30
1.5.2.1.2.	Presipitasyon (Çökme) Reaksiyon Mekanizması	30
1.6.	CCA Emprenye Maddesinin Çevre ve İnsanlar Üzerindeki Zararlı Etkileri	31
1.6.1	CCA'ya Maruz Kalma Sorunları	31
1.6.2.	CCA'ya Maruz Kalınan Ortamlar.....	31
1.6.2.1.	İş Yerinde Arseniğe Maruz Kalma	32
1.6.2.2	Mesleki Olmayan Ortamlarda Arseniğe Maruz Kalma	32
1.6.2.3.	Çevrede Arseniğe Maruz Kalma.....	32
1.6.3.	Arseniğin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri	33
1.6.3.1.	Doz ve Etkilenme Şekilleri	35
1.6.3.2.	Vücuttaki Arsenik Seviyesinin Ölçülmesi (Biyo- Deneyle).....	35
1.7.	Ağaç Tel Direklerinde Görülen Tahribatlar	36
1.7.1.	Mantarların Neden Olduğu Çürüklükler	36
1.7.2.	Böceklerin (Termitler, Odun karıncaları vb.) Oluşturduğu Hasarlar ...	38
1.7.3.	Vertebrel (Omurgalı) Organizmaların Oluşturduğu Hasarlar	38
1.7.4.	Mekaniksel Hasarlar	38
1.7.5.	Çevresel Faktörler	39
1.7.5.1.	Topraktaki Nem İçeriği.....	39
1.7.5.2.	Toprak pH Değeri	40
1.7.5.3.	Kimyasal Kompozisyon.....	40
1.7.5.4.	Tuzluluk	40
1.7.5.5.	Elektriksel İletkenlik.....	40
1.8.	Tel Direklerindeki Tahribatların Hasarsız (Non- destructive) Test Yöntemleriyle Tespiti	41
1.8.1.	Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleri (NDE)	41
1.8.2.	Tel Direklerindeki Tahribatların Tespitinde Kullanılan Geleneksel Yöntemler	42

1.8.2.1.	Gözle Görülebilir İnceleme.....	43
1.8.2.2.	Ses Çıkarmak ve Delik Açmak	43
1.8.2.3.	Kazma (Ekskavasyon)	44
1.8.2.4.	Çürümemiş Odun Kalınlığı Ölçer (Shell Thickness İndikatör)	45
1.8.2.5.	Artım Burgusu ile Örnek Alma.....	46
1.8.3.	Tel Direklerindeki Tahribatların Tespitinde Kullanılan Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleri.....	47
1.8.3.1.	Shigometer	47
1.8.3.2.	Durum Ölçer (The Condition Meter).....	48
1.8.3.3.	Mekaniksel Delme	48
1.8.3.4.	Çürüklük Tespit Uçları	48
1.8.3.4.1.	Rezistograf	49
1.8.3.5.	Akustik İnceleme	51
1.8.3.5.1.	Sonik Cihazlar.....	52
1.8.3.6.	X Işını Tomografisi.....	59
1.8.3.7.	Rutubet Ölçer	60
1.9.	Tel Direklerinde Yerde Bakım Teknikleri.....	61
1.9.1.	Zararlılara Karşı Koruma Bandajı (The Bioguard Bandage).....	63
1.9.2.	Odun İçerisine Koruyucu Madde Sokma İşlemi- Oyma Delik Yöntemi	64
1.9.2.1.	Vapam Uygulaması (The Vapam Treatment).....	64
1.9.3.	Kobra Yöntemi.....	64
1.9.4.	Mekaniksel Olarak Eski Haline Getirme- Yenileme	65
1.9.4.1.	Çelik Destek Sistemi.....	65
1.9.4.2.	Fibre Glass Sistemi	65
1.9.4.3.	Quick Deuar Pole Yenileme (Eski Haline Getirme) Sistemi.....	66
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	67
2.1.	Arazi Çalışmaları	67
2.1.1.	Çalışma Alanlarının Belirlenmesi ve Haritalaştırılması	67
2.1.2.	Çalışma Alanında İncelenecek Tel Direklerinin Belirlenmesi ve Etiketlenmesi.....	68
2.1.3.	Toprak Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması	71
2.1.3.1.	Deneme Alanlarında Toprak Neminin Ölçülmesi	73
2.1.3.2.	Kontrol Toprak Örneklerinin Alınması	73

2.1.4.	Tel Direkleri Üzerinde Yapılan Çalışmalar	74
2.1.4.1.	Tel Direkleri Üzerinde Yapılan Görsel İncelemeler (Tel Direğinin Yüzeyindeki Kusurlar).....	75
2.1.4.2.	Tel Direklerinden Artım Burgusu ile Örnek Alma	75
2.1.4.3.	Hizmet Alanında Bulunan Tel Direklerinin Rutubet Değerlerinin Belirlenmesi	76
2.1.5.	Tel Direği İç Kısımlarındaki Tahribatların Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleriyle Tespit Edilmesi	76
2.1.5.1.	Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazı	77
2.1.5.2.	Rezistograf Cihazı.....	78
2.1.5.3.	Mikroçekiç	79
2.1.6.	Trabzon Arsin Deposu ve Artvin ÇEDAŞ Deposundaki Tel Direklerinin İncelenmesi	80
2.2.	Laboratuvar Çalışmaları	81
2.2.1.	Alınan Toprak Örneklerinin Laboratuvara Getirilmesi	81
2.2.2.	Toprak pH'sının Belirlenmesi	81
2.2.3.	Toprak Tekstürünün Belirlenmesi	82
2.2.4.	Organik Madde Tayini	83
2.2.5.	Toprak Örneklerinin Yakılması	84
2.2.6.	Toprak Örneklerinde Elementel Analiz (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) (ICP-OES)	85
2.2.7.	Toprakta Bulunan Metal ve Ağır Metal Konsantrasyonları	85
2.2.8.	Artım Burgusu Örneklerinden Yararlanarak Laboratuvarda Tel Direği Rutubetinin ve Koruyucu Penetrasyonunun Ölçülmesi	86
2.2.9.	Tel Direklerindeki CCA (Bakır, Krom, Arsenik) Seviyelerinin XRF (X-Ray Floresans Spektrometresi) Cihazıyla Tespit Edilmesi	86
2.2.10.	Meteoroloji Verileri	87
2.2.11.	İstatistiksel Yöntemler	87
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	88
3.1.	Artvin İli ve Hopa İlçesi İklim Sonuçlarına Ait Bulgular	88
3.2.	Toprak Nemi ve Tel Direği Rutubet Değerlerine Ait Bulgular	90
3.2.1.	Lokasyonların Tel Direği Rutubet Değerleri Bakımından Değerlendirilmesi	91
3.2.2.	Kullanılan Emprenye Maddeleriyle Tel Direği Rutubet Değerleri Arasındaki İlişki.....	93
3.3.	Farklı Lokasyonlarda Yapılan Tel Direklerine İlişkin Bulgular.....	94

3.3.1.	Artvin-Ardanuç, Artvin-Borçka ve Artvin-Hopa Yöresindeki Tel Direklerinde Kullanılan Emprenye Maddeleri ve Hizmet Yıllarına Ait Bulgular	94
3.4.	Tel Direklerindeki Tahribatlara İlişkin Görsel Olarak Elde Edilen Bulgular	95
3.4.1	Görsel Olarak Elde Edilen Tel Direklerindeki Tahribatların Lokasyonlar Arası Farklılıklarının Belirlenmesi	98
3.4.1.1.	Ki-kare (Chi-Square) Görsel Kalite Analizi (Lokasyonlar arası farklılık)	98
3.4.2.	Tel Direklerindeki Tahribatlara Ait Görsel Tespitlerin Uygulanan Emprenye Maddesi Tipine Bağlı Olarak Farklılıklarının Belirlenmesi	99
3.5.	Tel Direklerindeki Tahribatlara İlişkin Bulgular	100
3.6.	Gerek Kullanımda Bulunan Gerekse Atıl Haldeki CCA, CCB ve Kreozot ile Emprenyeli Tel Direklerinde Tespit Edilen Diğer Tahribat ve Kusurlar	106
3.6.1.	Böcek Tahribatı	106
3.6.2.	Yakılma	107
3.6.3.	Tel Direklerinde Derin Çatlak ve Yarıklar	108
3.6.4.	Tel Direklerinde Gerçekleştirilen İşlemler	110
3.6.5.	Emprenye Maddesinin Nüfuz Derinliği	110
3.6.5.1.	Penetrasyon Değerleri Bakımından Lokasyonlar Arasındaki Farklılığın Belirlenmesi	111
3.6.5.2.	Lokasyonların Tel Direk Çapları Bakımından Değerlendirilmesi	113
3.7.	Tel Direklerinin İç Kısımlarındaki Tahribatların Tespiti.....	114
3.7.1.	Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Bulgular.....	114
3.7.1.1.	Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Çürümüş Bölgelerin Alanlarına Bağlı Olarak Lokasyonlar Arası Hasar Farklılığının Belirlenmesi	117
3.7.1.2.	Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Hız Ölçümlerine Bağlı Olarak Lokasyonlar Arasındaki Hasar Farklılığının Belirlenmesi	119
3.7.1.3.	Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Hız Ölçümlerinin Uygulanan Emprenye Maddesi Tipine Bağlı Olarak Değişiminin Belirlenmesi	120
3.7.2.	Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulgular	126
3.7.2.1.	Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulgulara Ait Varyans Analiz Sonuçları	129

3.7.2.1.1.	Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulguların Kullanılan Emprenye Maddesi Türüne Göre Değişiminin Belirlenmesi	132
3.7.2.1.2.	Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Direklerin Toprakla Temas Ettikleri Kısımlarının Ortalama Kalite Puanları ile Göğüs Seviyesine Bağlı Ortalama Kalite Puanlarının Karşılaştırılması	132
3.7.2.2.	Depolardaki Tel Direklerinden Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulgular	134
3.7.3.	Mikrohammer Cihazıyla Elde Edilen Bulgular	139
3.7.3.1.	Mikroçekiç Cihazıyla Elde Edilen Velocity (Hız) Ölçümleri Bakımından Lokasyonlar Arası Tel Direği Tahribatlarının Değerlendirilmesi	144
3.8.	Tel Direği Bünyesinde Yer Alan Cu, Cr ve As Değerlendirmesi	146
3.8.1.	Krom	147
3.8.2.	Bakır.....	147
3.8.3.	Arsenik	148
3.9.	Korelasyon Analizi	149
3.10.	Çalışma Yapılan Alanlardaki Toprak Özellikleri ve pH Değerlerine Ait Bulgular	150
3.10.1.	Toprak pH'sı	150
3.10.2.	Toprak Tekstürü ve Organik Madde.....	154
3.10.2.1.	Toprak pH'sı, Toprak Tekstürü ve Organik Madde Miktarıyla İlgili İstatistiksel Analizler.....	158
3.11.	Ağır Metal Değerlendirme	165
3.11.1.	CCA ile Emprenyeli Tel Direklerinden Yıkanan Cu, Cr ve As.....	165
3.11.1.1.	Arsenik	166
3.11.1.2.	Krom	169
3.11.1.3.	Bakır.....	171
3.11.2.	CCA ile Emprenyeli Tel Direklerinden Toprağa Yıkanan Cu, Cr ve As'in Çevre ve Canlılar Üzerindeki Etkileri.....	174
3.11.3.	CCB ile Emprenyeli Tel Direklerinden Yıkanan Cu, Cr ve B.....	178
3.11.3.1.	Bor.....	178
3.11.3.2.	Krom	181
3.11.3.3.	Bakır.....	182
3.11.4.	CCB ile Emprenyeli Tel Direklerinden Yıkanan Cu, Cr ve B'un Çevresel Etkileri	185
3.12.	Toprakta Bulunan Metal ve Ağır Metal Katyonları.....	189

3.12.1.	Bütün Bölgelere (Kontrol ve Çalışma Alanı) Ait Katyonlar	189
3.12.2.	Sadece Kontrol Gruplarına Ait Katyonlar	206
3.13.	TEDAŞ ve Telekom Kurumlarının Emprenyeli Tel Direk Alımında Uygulanması Tavsiye Edilen İhale Şartlarının Belirlenmesi	213
4.	SONUÇLAR	218
4.1.	İklim Özelliklerinin Tel Direk Hasarları Üzerine Etkisi	218
4.2.	Toprak Özellikleri ile Tel Direk Hasarları Arasındaki Etkileşim.....	219
4.3.	Çalışma Alanı ve Depolarda Bulunan Tel Direklerdeki Görsel İncelemeler	221
4.4.	Çalışma Alanı ve Depolarda Bulunan Tel Direklerdeki Kusurların Hasarsız Test Yöntemleriyle Tespiti	222
5.	ÖNERİLER	224
6.	KAYNAKLAR	227
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

ARTVİN YÖRESİNDEKİ TEL DİREKLERİNDE KUSUR VE HASARLARIN TESPİTİ

Davut BAKIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER

2012, 235 Sayfa

Bu tez çalışmasında, Artvin ve yöresindeki farklı iklim ve toprak özelliklerine sahip 3 farklı çalışma alanındaki (Hopa, Borçka ve Ardanuç) tel direklerinde görülen hasar ve çürüklükler tespit edilerek, iklim ve bazı toprak özelliklerinin bu oluşan hasar ve çürüklükler üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma alanları belirlenirken çok nemli iklimi temsilen Hopa ilçesi, nemli iklimi temsilen Borçka ilçesi ve yarıkurak iklimi temsilen Ardanuç ilçesi belirlenmiştir. Artvin ili sınırları içerisinde yer alan Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçelerinde genellikle aynı yıllarda hizmete sunulan toplam 150 adet tel direği belirlenmiş ve bu tel direklerinin konumları GPS cihazıyla tespit edilerek yerleri haritalandırılmıştır. Çalışma alanlarındaki tel direklerinde mevcut olan kusur ve tahribatlar, hem görsel yapılan incelemelerle hem de hasarsız (non-destructive) test cihazlarıyla yapılan incelemeler sonucunda tespit edilmiştir. Bu tespit çalışmalarında hasarsız test cihazlarından olan Rezistograf, Mikrohammer ve Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazlarından faydalanılmıştır. Bu incelemeler sonucunda genellikle en fazla hasar ve çürüklüğün bulunduğu tel direkleri sırasıyla; Hopa, Borçka ve Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Tel direklerinin (kreozotla empenyeli olanlar hariç) dip kısmındaki topraktan düşey yönde (0-5 cm ve 20-30 cm) derinlik kademelerinden ve yatay yönde (0-50 cm ve 50-100 cm) uzaklık mesafelerinden toplam 317 adet alınarak içerisindeki Cu, Cr, As ve B miktarları ICP-OES cihazı yardımıyla tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, tel direklerinin dip kısımlarından alınan toprak örneklerinde arsenik, krom ve bor konsantrasyonları en fazla Hopa ilçesinde, bakır konsantrasyonu ise en fazla Borçka ilçesinde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tel Direkleri, Yıkanma, Görsel ve Hasarsız Yöntemler, CCA, CCB

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF DEFECTS AND DAMAGES IN WOOD POLES IN
ARTVİN REGION IN TURKEY

Davut BAKIR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Engin Derya GEZER
2012, 235 Pages

In this thesis, it was aimed to determine defects and damages in wood poles in three different areas of study (Hopa, Borçka ve Ardanuç) which have different climate and soil properties in Artvin and its region and the effects of climate and some soil properties on the damage and deterioration. While determining areas of study, Hopa on behalf of heavily humid climate, Borçka on behalf of middle humid climate and Ardanuç behalf of semiarid climate were determined. Total 150 wood utility poles which served in the same years in Hopa, Borçka and Ardanuç located in the province of Artvin were determined and the locations of these wood poles were determined and mapped by means of GPS. The current damages and destruction of wood poles in areas of study were identified as a result of the investigation carried out by means of both visually examination and non-destructive test devices. In these determining studies, Resistograph, Microhammer and Fakopp 3D Acoustic Tomography were used as non-destructive test devices. As a result of these investigations, the poles which generally had the most damages and rots were identified respectively in Hopa, Borçka and Ardanuç. Total 317 soil pieces obtained adjacent to wood poles from the lateral depths (0-5 cm ve 20-30 cm) and vertical distances (0-50 cm ve 50-100 cm) of wood poles (except from the ones impregnated with creosote) were taken as samples. In these samples, the amounts of Cu, Cr, As and B were determined by ICP-OES. According to results of tests, in the soil samples obtained adjacent to wood utility poles, the most As, Cr and B concentration were determined in Hopa and Cu concentration were determined in Borçka.

Key Words: Wood poles, Leaching, Visual and non-destructive tests, CCA, CCB

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Orman Genel Müdürlüğü'nün yıllara göre tel direği üretimi ve satışı	2
Şekil 2. Trabzon TEDAŞ Arsin deposunda kullanım dışı kalan beton tel direkleri.....	6
Şekil 3. Borçka ilçesinde bulunan dış hava koşullarından ve korozyondan etkilenen bir demir tel direği (sağda) ve yeni hizmete sunulmuş bir demir tel direğinin karşılaştırılması (solda).....	7
Şekil 4. Shell Thickness Indicator	45
Şekil 5. Ardanuç ilçesindeki bir tel direğinde (A-40 Toprak zonu) rezistograf cihazıyla elde edilen aşırı yüksek pikler (drilling depth: 10-13 cm).....	51
Şekil 6. Hopa ilçesinden Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla alınan bir tel direğine (H-20) ait 2 boyutlu görüntü	57
Şekil 7. Hopa ilçesinden Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla alınan bir tel direğine (H-20) ait 3 boyutlu görüntü	58
Şekil 8. Düzenli bakımı yapılmamış bir tel direğinin insanların güvenliğini tehdit etmesi (Arhavi Ortacalar mahallesi).....	62
Şekil 9. Bir iletişim ağı hava hattında yer alan kusurlu bir direğin dayanıksız olmasından dolayı yıkılarak kendinden önceki ve sonraki direk hatlarını da (domino etkisiyle) yıkması (Borçka Karagöl yolu).....	63
Şekil 10. Belirlenen alanlar ve tel direklerinin yerlerinin (koordinat ve rakım) GPS (MAGELLAN) ile tespiti.....	67
Şekil 11. Ardanuç ilçesinde incelenen tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi	69
Şekil 12. Hopa ilçesinde incelenen tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi	69
Şekil 13. Borçka ilçesinde incelenen tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi	70
Şekil 14. Artvin ÇEDAŞ deposundaki tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi (D-1)	70
Şekil 15. Trabzon Arsin deposundaki tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi (S-1).....	71
Şekil 16. Tel Direğinin Dibindeki Topraktan Yatay Uzaklık (50 cm-100 cm) Mesafelerinden ve Düşey Derinlik (5 cm- 30 cm) Kademelerinden Toprak Örneklerinin Alınması	72
Şekil 17. Toprak örneklerinin alınması ve toprak neminin ölçülmesi	73
Şekil 18. Tel direkleri üzerinde direğe ait bilgilerin yer aldığı a) bozuk para şeklindeki tanıtım pulu ya da b) tanıtım pulundaki bilgilerin tel direğine damgalanmış hali	74
Şekil 19. Çalışma alanında ve depolarda bulunan tel direklerinden artım burgusu örneği alma	75
Şekil 20. Odun rutubet ölçme cihazı ile tel direklerindeki nemin arazide ölçülmesi	76

Şekil 21.	Hasarsız test teknik cihazları	77
Şekil 22.	Çalışma alanındaki (görsel olarak tel direği kullanıma uygun değil) ve ÇEDAŞ deposundaki (solda) tel direklerinden Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla ölçüm yapılması	78
Şekil 23.	Resistograph cihazı ile tel direklerinin iç kısımlarındaki çürüklük ve boşluk alanlarının belirlenmesi	79
Şekil 24.	Rezistograf cihazıyla tel direklerinin göğüs seviyesinin ve toprakla temas eden kısımlarının (cihaza ait 45° lik açı aparatı yardımıyla) incelenmesi	79
Şekil 25.	Artvin ÇEDAŞ deposu ve çalışma alanında Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümler	80
Şekil 26.	Trabzon Arsin deposundaki (a) ve Artvin ÇEDAŞ deposundaki (b) tel direkleri	81
Şekil 27.	Toprak örneklerinin yakılması	85
Şekil 28.	Hopa ilçesine ait uzun yıllar iklim verileri	88
Şekil 29.	Artvin iline ait uzun yıllar iklim verileri	89
Şekil 30.	Duncan testine göre tel direk rutubetleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	92
Şekil 31.	Kullanılan emprenye maddeleriyle tel direği rutubet değerleri arasındaki ilişki	93
Şekil 32.	İncelenen tel direklerinin lokasyonlara ve uygulanan emprenye maddesi çeşidine göre dağılımı (adet olarak)	94
Şekil 33.	Ki-kare görsel kalite analizi (Lokasyonlar arası farklılık)	99
Şekil 34.	Görsel incelemeler sonucu elde edilen bulguların uygulanan emprenye maddesi türüne bağlı olarak değişimi	100
Şekil 35.	TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda CCA ile emprenyeli tamamen misellerle sarılmış bir tel direği ve başka bir tel direğinde tespit edilen beyaz çürüklük	101
Şekil 36.	Artvin ÇEDAŞ ve Trabzon TEDAŞ Arsin Deposunda atıl halde bulunan CCA ile emprenyeli sarıçam tel direklerinin toprak zonunda tespit edilen esmer çürüklükler	103
Şekil 37.	TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda atıl haldeki tel direklerinde görülen yumuşak çürüklük (Esmer ve Beyaz Çürüklükle bir arada oluşmuş)	104
Şekil 38.	a) Yüzeysel çürüklük b) Borçka ve c) Ardanuç ilçesinde Tel direklerinde tespit edilen yüzeysel çürüklük tipi	105
Şekil 39.	Tel direklerinde tespit edilen küçük çürüklük zonları	105
Şekil 40.	a) Tel direklerinde tespit edilen büyük çürüklük zonları b) Trabzon Arsin deposunda tespit edilen büyük çürüklük zonları	106

Şekil 41.	a) Oyuk tipi çürüklük b) Arsin deposunda bulunan tel direklerinde tespit edilen oyuk tipi çürüklük.....	106
Şekil 42.	Artvin-Borçka yöresinde ve ÇEDAŞ deposunda yoğun bir şekilde böcek tahribatına uğramış tel direği	107
Şekil 43.	Trabzon Arsin deposunda atıl haldeki tel direklerinde görülen böcek hasarları	107
Şekil 44.	Yakılan ateş sonucu tel direklerinin toprak zonunda ve daha üst kısımlarında meydana gelen yanmalar	108
Şekil 45.	Artvin-Ardanuç yöresindeki tel direklerinde tespit edilen çatlak ve yarıklar .	108
Şekil 46.	Artvin-Borçka ve Ardanuç yöresindeki tel direklerinde tespit edilen insanların neden olduğu kusurlar	109
Şekil 47.	Artvin-Merkez, Borçka ve Ardanuç yöresindeki tel direklerinde tespit edilen insanların neden olduğu kusurlar (saçma sıkılmış bir tel direği ve kişisel amaçlar için kullanılan tel direkleri)	109
Şekil 48.	Trabzon TEDAŞ Arsin Deposunda henüz kullanılmaya başlanmamış tel direklerindeki elektrik aksamlarının takılması için gerekli olan deliklerin açılmadığının tespit edilmesi.....	110
Şekil 49.	Tel direklerinde ortalama penetrasyon değerleri.....	111
Şekil 50.	Duncan testine göre lokasyonlar arası penetrasyon değerleri	112
Şekil 51.	Duncan testine göre tel direk çapları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	114
Şekil 52.	Duncan testine göre tomografi cihazıyla elde edilen çürümüş bölgelerin alanlarına bağlı olarak elde edilen lokasyonlar arası hasar farklılığı sonuçları	118
Şekil 53.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	120
Şekil 54.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümlerinin uygulanan emprenye maddesi tipine bağlı olarak değişimi	121
Şekil 55.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait 2 boyutlu görüntü.....	122
Şekil 56.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait sensörler arasındaki (2 nolu sensörden→5 nolu sensöre) ultrasonik hız (725 m/s).....	122
Şekil 57.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait 3 boyutlu hareket ettirilebilir görüntü	123
Şekil 58.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait hasar durum değerlendirmesi.....	123
Şekil 59.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait 2 boyutlu görüntü	124

Şekil 60.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait sensörler arasındaki (2 nolu sensörden→5 nolu sensöre) ultrasonik hız (1161 m/s).....	124
Şekil 61.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait 3 boyutlu hareket ettirilebilir görüntü	125
Şekil 62.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait hasar durum değerlendirmesi.....	125
Şekil 63.	Rezistograf cihazıyla elde edilen bulgulara ait lokasyonlar arası varyans analiz sonuçları	131
Şekil 64.	Rezistograf cihazıyla elde edilen bulguların kullanılan empenye maddesi türüne göre yapılan Duncan testi.....	132
Şekil 65.	Uygulanan Duncan testi sonucuna göre direklerin toprakla temas ettikleri kısımlarının ortalama kalite puanları ile göğüs seviyesine bağlı ortalama kalite puanlarının karşılaştırılması	133
Şekil 66.	Hopa lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (H-15 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı.....	135
Şekil 67.	Hopa lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (H-15 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı	136
Şekil 68.	Borçka lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (B-3 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı	136
Şekil 69.	Borçka lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (B-3 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı.....	137
Şekil 70.	Ardanuç lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (A-5 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı.....	137
Şekil 71.	Ardanuç lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (A-5 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı	138
Şekil 72.	Her 3 lokasyon arasındaki mevcut en sağlam tel direğinin (A-36 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı	138
Şekil 73.	Her 3 lokasyon arasındaki mevcut en sağlam tel direğinin (A-36 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı.....	139
Şekil 74.	Tel direklerinin hava kurusu haldeki (% 12) iletim zamanını tespit etmede kullanılan kalibrasyon eğrisi	141
Şekil 75.	Mikroçekiç cihazıyla elde edilen Velocity (Hız) ölçümleri bakımından lokasyonlar arası farklılık.....	144
Şekil 76.	Lokasyonlar arasında tel direği bünyesinde yer alan Cu, Cr, As değerlendirme	146
Şekil 77.	Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında elde edilen Sodyum (Na) ve Potasyum (K) değerlerinin ppm'e çevrilme eğrisi (Sırasıyla; absorbans: 20, 40, 60, 80, 100→ ppm: 1, 2, 3, 4, 5).....	190

Şekil 78. Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında ölçülen Potasyum (K) değerlerinin ppm'e çevrilme diyagramı (Sırasıyla; absorbans: 4, 8, 16, 32, 64→ ppm: 1, 2, 3, 4, 5) 193

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. TEDAŞ 2009 yılı direk cins ve sayıları.....	5
Tablo 2. Alçak ve orta gerilim şebekelerinde kullanılan demir, beton ve ağaç direk tipleri ve mukayeseleri	7
Tablo 3. Ağaç tel direkleri, beton tel direkleri ve demir tel direklerinin avantaj ve dezavantajları	8
Tablo 4. AWWA Standartlarına göre CCA'nın 3 tipinin bileşimi	13
Tablo 5. Suda çözünen empenye maddelerinden CCB'nin 2 tipinin bileşimi	14
Tablo 6. Kirletilmemiş toprak örneklerinde ve kayalarda bakır, krom ve arsenik miktarları (ppm)	19
Tablo 7. Üç ilçede Kullanılan Emprenye Maddesine Göre İncelenen Tel Direk Sayıları	68
Tablo 8. Her 3 lokasyonda ölçülen toprak ve tel direği rutubet değerlerine ait saptamalar	90
Tablo 9. Tel direklerinden alınan artım burgusu örneklerinden yararlanılarak elde edilen rutubet değerleri ile nem ölçme cihazıyla elde edilen rutubet değerlerinin karşılaştırılması	90
Tablo 10. Tel direk rutubetleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	91
Tablo 11. Kullanılan empenye maddeleriyle tel direği rutubet değerleri arasındaki ilişki	93
Tablo 12. Her 3 lokasyonda CCA ile empenyeli tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucu elde edilen bulgular	95
Tablo 13. Her 3 lokasyonda ve depolarda CCB ile empenyeli tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucu elde edilen bulgular	96
Tablo 14. Her 3 lokasyonda Kreozot ile empenyeli tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucu elde edilen bulgular.....	97
Tablo 15. Ki-kare lokasyonlar arası görsel kalite analiz testi.....	98
Tablo 16. Ki-kare uygulanan empenye maddesi tipine bağlı görsel kalite analiz testi	100
Tablo 17. Her 3 lokasyonda incelenen tel direklerinin hangi yılda ve ne tür empenye maddesiyle işleme tabi tutulduğuna ait bulgular	102
Tablo 18. Her 3 lokasyondaki tel direklerinin penetrasyon, çap ve rakım değerlerine ait ortalama ve standart sapma değerleri	111
Tablo 19. Penetrasyon değerleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	112
Tablo 20. Tel direk çapları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	113

Tablo 21.	CCA ile empenyeli tel direklerinden alınan Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı ölçümlerinin lokasyonlara bağlı değişimi	115
Tablo 22.	CCB ile empenyeli tel direklerinden alınan Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı ölçümlerinin lokasyonlara bağlı değişimi	116
Tablo 23.	Kreozot ile empenyeli tel direklerinden alınan Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı ölçümlerinin lokasyonlara bağlı değişimi	116
Tablo 24.	Tomografi ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	118
Tablo 25.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	119
Tablo 26.	Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümlerinin uygulanan empenye maddesi tipine bağlı olarak değişimi.....	121
Tablo 27.	CCA ile empenyeli tel direklerinden göğüs seviyesi ve toprak zonu bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerinin lokasyonlara göre değişimi.....	127
Tablo 28.	CCB ile empenyeli tel direklerinden göğüs seviyesi ve toprak zonu bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerinin lokasyonlara göre değişimi	127
Tablo 29.	Kreozot ile empenyeli tel direklerinden göğüs seviyesi ve toprak zonu bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerinin lokasyonlara göre değişimi	128
Tablo 30.	Direklerin kalite derecelendirme puanları bakımından lokasyonlar, empenye maddeleri ve zonlar (toprak ve göğüs) arasındaki farklılık	130
Tablo 31.	Artvin ÇEDAŞ deposu (D-1, D-2, D-3,D-4, D-5) ve Trabzon Arsin deposu tel direklerinden göğüs ve toprak bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümleri	134
Tablo 32.	Her 3 lokasyona ait ortalama Mikrohammer ultrasonik hız ölçümleri	140
Tablo 33.	CCA ile empenyeli tel direklerinde ölçülen Mikrohammer cihazına ait ölçümlerin lokasyonlara göre değişimi	142
Tablo 34.	CCB ile empenyeli tel direklerinde ölçülen Mikrohammer cihazına ait ölçümlerin lokasyonlara göre değişimi	142
Tablo 35.	Kreozot ile empenyeli tel direklerinde ölçülen Mikrohammer cihazına ait ölçümlerin lokasyonlara göre değişimi	143
Tablo 36.	Velocity değerleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	144
Tablo 37.	Her 3 lokasyondaki CCA ile empenyeli tel direklerinin bünyesinde bulunan bakır, krom ve arsenik seviyeleri.....	146
Tablo 38.	Tel direkleri bünyesinde tespit edilen krom miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	147
Tablo 39.	Tel direkleri bünyesinde tespit edilen bakır miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	148

Tablo 40.	Tel direkleri bünyesinde tespit edilen arsenik miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık	148
Tablo 41.	Her 3 lokasyondan alınan tel direğine bitişik toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde farklı derinlikteki toprak pH'sına ait ölçümler	150
Tablo 42.	Yapılan varyans analizinde toprakta ölçülen pH değerleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık	151
Tablo 43.	Lokasyonlara göre yağış miktarındaki artışa bağlı olarak tel direğine bitişik toprak pH'sı ve kontrol toprak pH'sı arasındaki fark artışı	151
Tablo 44.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki tel direğine bitişik toprak ve kontrol toprak pH'sına ait değişimlerin belirlenmesi	153
Tablo 45.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kum içerikleri	155
Tablo 46.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerindeki kil değerlerinin değişimi	156
Tablo 47.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin toz değerlerinin değişimi	156
Tablo 48.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin organik madde değerlerinin değişimi	157
Tablo 49.	Her 3 lokasyondan alınan kontrol toprak örneklerine ait pH değerleri	158
Tablo 50.	Yapılan varyans analizinde toprakların Kum, Kil, Toz ve Organik madde bakımından örnekleme noktaları arasındaki değişim	159
Tablo 51.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kum içeriklerindeki değişimin belirlenmesi	160
Tablo 52.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kil içeriklerindeki değişimin belirlenmesi	161
Tablo 53.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikten alınan kontrol toprak örneklerinin toz içeriklerindeki değişimin belirlenmesi	162
Tablo 54.	Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin organik madde içeriklerindeki değişimin belirlenmesi	163
Tablo 55.	Her 3 lokasyondan farklı derinlikten alınan kontrol toprak örneklerindeki pH değişimin belirlenmesi	164
Tablo 56.	Yapılan varyans analizinde toprakta biriken As, Cr ve Cu bakımından örnekleme noktaları arasındaki değişim	166
Tablo 57.	CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki As miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	168

Tablo 58.	CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cr miktarlarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi.....	170
Tablo 59.	CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi.....	172
Tablo 60.	CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen As miktarlarının değişimi	174
Tablo 61.	CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik topraktaki ve kontrol toprak örneklerindeki Cr miktarlarının değişimi	175
Tablo 62.	CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarlarının değişimi	177
Tablo 63.	Yapılan varyans analizinde toprakta tespit edilen Cu, Cr ve B (Bor) bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık	178
Tablo 64.	Duncan testine göre toprakta biriken B miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	180
Tablo 65.	Duncan testine göre toprakta tespit edilen Cr miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	182
Tablo 66.	Duncan testine göre toprakta tespit edilen Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	184
Tablo 67.	CCB ile emprenyeli tel direklerinin bitişliğinden alınan toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen B miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	185
Tablo 68.	CCB ile emprenyeli tel direklerinin bitişliğinden alınan toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cr miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	187
Tablo 69.	CCB ile emprenyeli tel direklerinin bitişliğinden alınan toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	188
Tablo 70.	Yapılan varyans analizinde toprakların Na, K, Mn ve Co içerikleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık	189
Tablo 71.	Toprakta tespit edilen Sodyum (Na) miktarları (ppm).....	191
Tablo 72.	Duncan testine göre toprakların Na içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi.....	192
Tablo 73.	Toprakta tespit edilen Potasyum (K) miktarları (ppm).....	194
Tablo 74.	Duncan testine göre Toprakların K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	195
Tablo 75.	Toprakta tespit edilen Çinko (Zn) miktarları (ppm).....	196

Tablo 76.	Duncan testine göre toprakların Zn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	197
Tablo 77.	Toprakta tespit edilen Manganez (Mn) miktarları (ppm).....	199
Tablo 78.	Duncan testine göre toprakların Mn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	200
Tablo 79.	Toprakta tespit edilen Kobalt (Co) miktarları (ppm).....	201
Tablo 80.	Duncan testine göre toprakların Co içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	202
Tablo 81.	Toprakta tespit edilen Nikel (Ni) miktarları (ppm)	204
Tablo 82.	Duncan testine göre Toprakların Ni içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	205
Tablo 83.	Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Sodyum (Na) miktarları (ppm).....	206
Tablo 84.	Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Manganez (Mn) miktarları (ppm).....	207
Tablo 85.	Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Kobalt (Co) miktarları (ppm)	208
Tablo 86.	Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Nikel (Ni) miktarları (ppm).....	208
Tablo 87.	Yapılan varyans analizinde kontrol toprak örneklerinde Na, Mn, Co ve Ni içerikleri bakımından katyon miktarlarının değişimi.....	209
Tablo 88.	Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Potasyum (K) miktarlarının (ppm).....	210
Tablo 89.	Duncan testine göre toprakların K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	211
Tablo 90.	Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Çinko (Zn) miktarları (ppm).....	212
Tablo 91.	Duncan testine göre toprakların Zn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi	212

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş¹

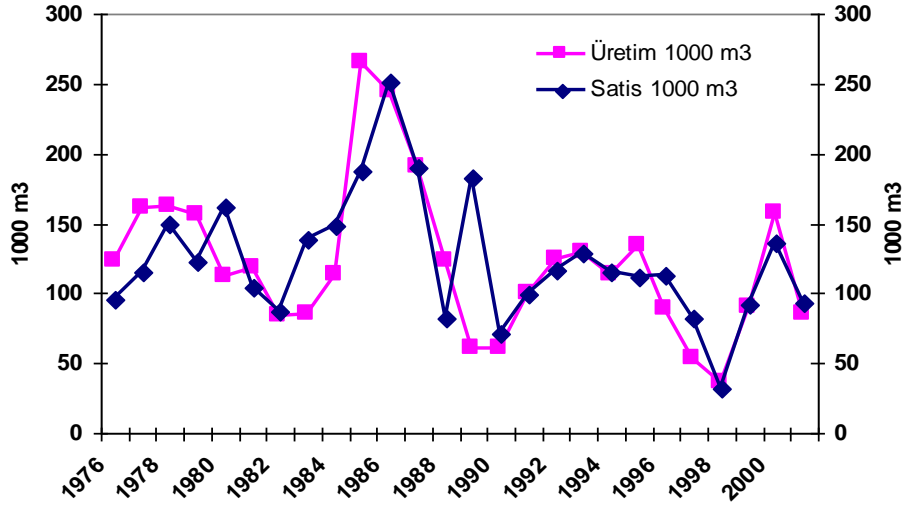
Günümüz endüstriyel üretim anlayışında maliyet, verimlilik ve kalite üç önemli faktördür. Bu faktörler devamlı birbirleri ile ilişki içerisinde. Üretimde kalitenin sağlanması maliyeti ve verimliliği pozitif yönde etkiler. Her yapı ve kullanım materyalinde olduğu gibi orman endüstrisinde de odunun yapısı ve kalitesi önemlidir. Çeşitli çatlak, kusur, rutubet miktarı ve özgül ağırlık gibi özelliklere sahip olan odun ham maddesinin bu özellikleri, ağaç malzemenin kalitesini, dayanıklılığını ve kullanım ömrünü etkilemektedir. Bu yüzden de üretimde kalitenin kontrolü için kullanılan hasarsız (non-destructive) test yöntemlerinin kullanımı ve önemi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde hasarsız test metotları ormancılıkta, ağaç ve ağaç malzemelerdeki kusurların ve mekanik özelliklerin tespitinde (Craighead vd., 2001; Lin vd., 2008) uygulanmasının yanında, inşaatçılıkta beton basınç dayanımının bulunmasında (Okuyan, 2007), havacılıkta uçakların yapısında kullanılan sandviç kompozit yapıların durumu hakkında bilgi edinilmesi (Kafalı, 2004) gibi birçok farklı alanda uygulanmaktadır.

Ağaç malzemeler alternatif diğer kullanım materyallerine göre ucuz olması, kolay işlenebilir olması, yenilenebilir olması, ağırlığına oranla yüksek dirence sahip olması gibi üstün özelliklerinden dolayı çok çeşitli alanlarda kullanılabilir (Hingston vd., 2001). Fakat odun organik bir materyal olmasından ötürü bazı biyotik (mantarlar, böcekler, termitler ve deniz zararlıları gibi) ve abiyotik (sıcaklık, nem, UV ışınları gibi) faktörlerden etkilenerek bozulmakta bu yüzden de kullanım ömrü azalabilmektedir. Bunun neticesinde de ham madde kaybı, işçilik ve nakliyeden kaynaklanan ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır, bu da odunun çeşitli kimyasallarla (emprenye maddeleriyle) işleme tabi tutulmasını zorunlu hale getirmektedir. Tel direkleri tarih boyunca çürümeyi kontrol altına alarak minimize etmek, dayanıklılığını devam ettirmek ve hizmet ömrünü daha da uzatmak için farklı yöntemlerle (Dolu Hücre Yöntemi, Boş Hücre Yöntemi ve Besi Suyu Çıkarma Yöntemi) ile koruyucu işleme tabi tutulmuşlardır. Fakat bu koruyucuların direkt

¹ Bu tez çalışmasının bir bölümü TÜBİTAK TOVAG 108O414 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

yıkanarak uzaklaşması (leaching) ve çevreye karışması sağlık ve ekonomi açısından endişeleri artırmıştır. Kreozot ve Pentaklorfenol gibi pestisitler tel direği etrafındaki topraklarda çeşitli miktarlarda bulunarak toprakta ve yüzey suyunda kirlenme potansiyeli yaratmaktadır (Gargiulo, 2000).

TEDAŞ Genel Müdürlüğünün 2009 yılına ait istatistik verilerine göre ülkemizde alçak ve orta gerilim hatlarında 15.977.377 adet tel direği bulunmakta ve bunların yaklaşık 7.673.356 adeti ağaç tel direklerinden oluşmaktadır. TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğünün verilerine göre (2002), sadece Trabzon ilinde 208.000, Rize ilinde 180.000 ve Artvin ilinde 121.000 adet dikili tel direği bulunduğu ve bu üç ilde ortalama her yıl CCA (bakır/krom/arsenik) ile empenye edilmiş 17.000 adet tel direği kullanıldığı belirtilmektedir. Orman Genel Müdürlüğü tarafından üretilen ve satılan tel direklerinin yıllara göre dağılımı Şekil 1’de verilmiştir (Gezer, 2003).



Şekil 1. Orman Genel Müdürlüğü'nün yıllara göre tel direği üretimi ve satışı

Günümüzde kullanımda bulunan ağaç tel direklerinin çoğu CCA (Bakır-Krom-Arsenik) ile empenyeliyken bazı eski direkler kreozotla empenyelidir. CCA ile empenyeli tel direklerinin ortalama kullanım ömrü 35-40 yıl olmasına rağmen, Karadeniz Bölgesi'nin özellikle sahil kesimlerinde tel direklerinin ömrü, bağıl nem miktarının yüksek olması ve mantar degradasyonunun fazlalığından dolayı sadece 10-15 yıl kadardır (Gezer, 2003). CCA (Bakır-Krom-Arsenik) ile empenye edilmiş odundaki, CCA empenye

maddeleri çeşitli seviyelerde yıkanarak toprağa geçer, bu seviyelerin bazıları ulusal çevre standartlarının oldukça altındadır (Inglis, 2001). Cooper (1994) araştırmasında CCA'nın yıkanma miktarıyla, CCA ile emprenye sırasındaki fiksasyon (bağlanma) kalitesi arasında direk bir ilişki olduğunu çok açık bir şekilde vurgulamıştır. CCA ile emprenyeli tel direklerinden CCA'nın yıkanmasındaki krom (+6) oksidasyon hali bir kanserojen, As(+5) ve As(+3) oksidasyon hali başka bir kanserojendir. Ayrıca, bakırın belirli seviyelerde zehirli olması sebebiyle toprak suyuna karışması halinde ciddi tehlikelerin ortaya çıkabileceği bildirilmektedir (Massara vd., 2004).

Tel direklerindeki bozulma işleminde etkili olan çevresel faktörler; toprak durumu (tekstürü, pH vb.), iklim koşulları (yağış, bağıl nem, sıcaklık, rüzgar vb.), ıslanma ve kuruma döngüsüdür. Hizmette kullanılan 5-8 yıllık bir direk, iletişim hatlarına ve kabloları destek görevinden dolayı üzerine uygulanan yüklerin etkisi altında zayıflamakta ve daha sonra çevresel değişimler ile ıslanma ve kuruma döngülerinden dolayı çatlamaktadır. Bunun haricinde kurutma ve yüksek basınç altında emprenye işlemine tabi tutma gibi uygulamalar sonucunda da çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu ve bunun gibi çatlaklardan içeri giren zararlılar odunu ayrıştırarak tel direklerinin biyolojik direncini ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca yıkanmanın etkisiyle uzaklaşan koruyucular da bu duruma olanak sağlamaktadır. Bu yüzden iletişim ve elektrik hatlarında yer alan direklerdeki çürüklükler erken aşamalarda tespit edilerek gerekli bakım faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir (Rahman, 2003).

Odun bileşenlerinin direnç karakteristiklerini belirlemede kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlar geleneksel testler ve hasarsız (non-destructive) testler olmak üzere 2 sınıfa ayrılmaktadır. Gözle görülebilir inceleme, bir çekiçle vurarak ses çıkarma, ekskavasyon (kazma) ve delme teknikleri geleneksel tekniklerdir. Bu testlerin nicel olarak değerlendirilememesinden dolayı elde edilen bilgiler de sınırlıdır ve yanıltıcı sonuçlar elde edilmektedir. Bu geleneksel tekniklerle kusurların belirlenebilmesi, uygulamacının tecrübesine ve sağduyusuna bağlıdır. Hasarsız teknikler (sonik cihazlar, ultrasonik cihazlar, shigometer vb.) ticari olarak başarılı tekniklerdir ve hizmet alanında herhangi bir rahatsızlık (aşırı gürültü, taşımada ağırlık vb.) vermeden kusurlu alanların yerini saptayabilmektedirler. Ayrıca hasarsız teknikler, bu kusurlu alanlar daha tehlikeli hale gelmeden önce gerekli bakım-onarım işlemlerinin yapılmasına olanak sağlamalarının yanında, direklerin kalan direncinin de tahmin edilmesine imkan sağlamaktadır (Rahman, 2003).

Doğu Karadeniz Bölgesinde tel direkleri emprenyeli olmalarına rağmen normal hizmet ömrünün yarısı kadar bir süre (10-15 yıl) içerisinde atıl hale gelmektedirler. Bu tez çalışması kapsamında, Artvin yöresinde kullanılan tel direklerindeki kusur ve tahribatlar gerek görsel gerekse hasarsız test yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, CCA ve CCB ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan bakır, krom, arsenik ve bor konsantrasyonları direk diplerinden alınan toprak örneklerinde tespit edilmiştir. Çünkü tel direklerinde hizmet ömrünü etkileyen faktörlerin tespit edilmesine yönelik araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu tez çalışması kapsamlı bir bilimsel çalışma olmanın yanı sıra bundan sonra yapılacak benzer çalışmalara da temel teşkil edecek olması açısından önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının amaçları;

- Tel direklerindeki tahribat ve kusurların görsel, küçük hasarlı (semi-destructive) ve hasarsız (non-destructive) yöntemlerle belirlenmesi,
- CCA ve CCB ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan bakır, krom, arsenik veya borun toprak örneklerindeki konsantrasyonlarının belirlenerek toprak özellikleriyle ilişkilerinin tespit edilmesi,
- Ülkemizdeki en büyük tel direk alıcısı olan TEDAŞ ve Telekom gibi kurumlarının emprenyeli tel direk alımında uygulanması tavsiye edilen ihale şartlarının belirlenmesine katkı sağlanması olarak sıralanmıştır.

1.2. Ülkemizde Kullanılan Tel Direkleri

Tel direkleri, telefon, telgraf gibi telekomünikasyon amaçlarında kullanılmakla birlikte, ayrıca elektrik hatlarını taşıyan materyal olup (Bozkurt ve Göker, 1986) yaklaşık yüzyıl önce kullanılmaya başlanmıştır (Tsang ve Chan, 2008; Sandoz vd., 2011). Tel direkleri ağaç, beton ve demirden yapılabilmektedir. Çeşitli özellikleri bakımından bu maksatla en fazla ağaç direkler kullanılmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1986). Tablo 1’ de TEDAŞ 2009 yılı, ülkemizde kullanılan tel direkleri sayısı verilmektedir. Ancak malzeme niteliğine göre tel direği fiyatları farklılık arz etmektedir (Tablo 2). Kullanıldıkları amaçlar ve yapıldıkları malzemelere göre çeşitli özelliklerde direkler vardır. Yapıldıkları malzemeye göre direk çeşitlerini 3 grupta toplayabiliriz:

- 1- Ağaç direkler,
- 2- Beton (Betonarme) direkler,

3- Demir direkler,

Tablo 1. TEDAŞ 2009 yılı direk cins ve sayıları

Gerilim Çeşidi	Direk Sayıları (adet)			
	Demir direk	Beton direk	Ağaç direk	Toplam(adet)
Orta Gerilim	1.594.735	1.269.178	1.046.910	3.910.823
Alçak Gerilim	2.697.857	2.742.251	6.626.446	12.066.554
Toplam	4.292.592	4.011.429	7.673.356	15.977.377

1.2.1. Ağaç Direkler

Bu direkler göknar, ardıç, ladin, karaçam, sarıçam gibi ağaçlardan yapılır. Mekanik zorlamalara karşı dayanımları azdır. Genellikle ağaç tel direkleri çeşitli şekillerde ve çeşitli emprenye maddeleri ile muamele edildikten sonra kullanılmalı, emprenye işlemine tabi tutulmamış ağaç tel direklerinin kullanımı söz konusu olduğu takdirde kestane gibi doğal dayanıklı ağaç türleri tercih edilmelidir (Bozkurt ve Göker, 1986). Ağaç direkler 30kV'a kadar gerilimlerde 15 m boylarında yapılmaktadır. Yani alçak ve orta gerilim hatlarında kullanılırlar. Demir ve beton direklerdeki gibi temellerine beton dökülmez. Çünkü ankastre (tel direğinin toprağa gömülü kısmının başladığı nokta) noktasında temel betonu, ağaç direği kesmeye çalışarak kırılmasına neden olmaktadır.

1.2.2. Beton (Betonarme) Direkler

Demir, çimento, su ve öteki katkı maddeleri ile yapılırlar. Santrifüj (SBA) ve Vibre (VBA, titreşim) betonarme direkler olarak iki şekilde yapılmaktadırlar. Beton ile yüksek dayanımlı çelik tel veya çelik çubukların kullanılmasıyla elde edilirler. Yurdumuzda çeşitli firmalar tarafından alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilimler için beton direkler yapılmaktadır. Beton direkler fazla bakım ve kimyasal işlem gerektirmez, aşırı ağır olmasına rağmen korozyona karşı dayanıklıdır (Oliver, 1997). Beton direkler ağır ve kırılmandır, bununla birlikte aşırı sıcak ve soğuktan etkilenirler (Şekil.2).



Şekil 2. Trabzon TEDAŞ Arsin deposunda kullanım dışı kalan beton tel direkleri

1.2.3. Demir Direkler

Bu direkler ağaç direklere göre daha uzun ömürlü, beton direklere göre de daha hafiftir. Ayrıca bu direklerin mekanik etkilere dayanımı da çok fazladır. Demir direklerin üstünlüklerinden biri de alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilimde kullanılabilirlerdir. Demir direkler iyi bir iletkenidir, eğer direkte herhangi bir arıza baş gösterirse direk elektrik akımını ileterek bir felakete sebep olabilmektedirler (Oliver, 1997). Demir direkler hava şartlarından etkilenebilmekte ve korozyona uğrayabilmektedirler (Şekil.3).



Şekil 3. Borçka ilçesinde bulunan dış hava koşullarından ve korozyondan etkilenen bir demir tel direği (sağda) ve yeni hizmete sunulmuş bir demir tel direğinin karşılaştırılması (solda)

Tablo 2. Alçak ve orta gerilim şebekelerinde kullanılan demir, beton ve ağaç direk tipleri ve mukayeseleri (ÇEDAŞ, 2011)

	Direk Maliyetleri (1 adet)		
	Demir	Beton (Santrifüj)	Ağaç
Tahmini ömür (Yıl)	40	40	20
Maliyet ve bakım masrafları (Hizmet ömrü boyunca) (40 yıl) (TL)	1364	1267	334
1 Yıllık masraf bedeli (TL)	34.1 (1364/40)	31.6 (1267/40)	16.7 (334/20)

Tablo 3’de ağaç tel direkleri, beton tel direkleri ve demir tel direklerinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir. Bu bahsedilen avantajlardan dolayı ağaç tel direkleri elektrik ve telekomünikasyon sektörünün vazgeçilmezleri arasındadır.

Tablo 3. Ağaç tel direkleri, beton tel direkleri ve demir tel direklerinin avantaj ve dezavantajları (Türk, 2009)

Tel direkleri	Avantajlar	Dezavantajlar
Ağaç Tipi direkler	<ul style="list-style-type: none"> -Ucuz, hafif ve esnektir. -Taşınmaları ve dikilmeleri kolaydır. -Temel değiştirilerek tekrar kullanılabilir. -Simetriklerdir. -Boyama masrafları yoktur. -Tırmanmak kolaydır. -Kaçak akımlara karşı daha güvenilir durumdadır. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ömürleri ve boyları kısadır. -Tepe kuvvetleri azdır. -Yıldırım düştüğünde yanabilir. -Esnek oldukları için salgıları (fleş) değişebilir. -Mekanik dayanıklılığı sınırlıdır. -Yüksek gerilimlerde kullanılmazlar.
Beton Tipi direkler	<ul style="list-style-type: none"> -Demir direklere göre daha ucuzdur. -Sanayi bölgelerinde zararlı gaz ve kimyasal maddelerden etkilenmezler. -Aynı işi yapan demir direklere göre %50 demir tasarrufu sağlarlar ve bakım istemezler. -Kullanıldıkları yerlerde yapılabildikleri için taşımada daha kolaylık sağlanır. -Tepe kuvvetleri büyük, ömürleri uzundur. -Her amaca uygun tipleri vardır 	<ul style="list-style-type: none"> -Ağır ve kırılğandırılar. -Taşıma ve dikilmeleri oldukça zordur. - Bakım maliyetleri yüksektir. -Aşırı sıcak ve soğuktan etkilenirler. - Tırmanmak zordur.
Demir Tipi direkler	<ul style="list-style-type: none"> -Ömürleri uzun ve sağlamdırlar. - Tepe kuvvetleri fazladır. - Her türlü ihtiyaca cevap verebilen çeşitleri vardır. -İletken sayısı veya kesitleri arttıkça takviyesi kolaydır. -Parçalara ayrılabilirdiği için taşınmaları kolaydır. -Arızalarının giderilmesi kolaydır. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pahalıdır ve bakımları masraflı olup itina gerektirir. -İzolasyonları zordur. -Hava şartlarından etkilenirler ve korozyona uğrarlar.

1.3. Ağaç Tel Direklerinin Hazırlanması

Tel direklerinin hazırlanması birçok adımdan oluşur. Bunlar; soyma, kurutma ve koruyucu işleme (emprenyeye) tabi tutma aşamalarıdır. Tabi ki emprenye işleminden önce oyma, kesme, çerçeveleme veya boyutlandırma (pole framing) gibi işlemler yapılmalıdır (Morrell, 1996). Ülkemizde kullanılan ağaç tel direkleri TS 56 standartlarına uygun olmalı ve aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- Direklerin konikliği; direkler tabi haliyle konik olacaktır.
- Direklerin eğriliği; eğri direk kabul edilmeyecektir.

- Ağaç direklerde çürüme ve böcek zararı; direkler sağlam olmalı çürüme ve böcek zararı içermemelidir.

- Direğin 100 mm 'lik herhangi bir bölümünde düzgünce dağılmış, çapları 1,5 mm' yi aşmamak ve sayıları beşten fazla olmamak veya çapları 1mm 'yi aşmamak ve sayıları 20 den fazla olmamak şartıyla böcek zararı kabul edilebilir.

Ağaç Direklerdeki Çatlaklar:

1-Direk boyunca devam eden çatlaklara müsaade edilmez.

2-Çatlaklar, direk boyunca, herhangi bir noktada, 3 cm'den daha fazla bir derinliğe sahip olmamalıdır.

3- Kesintisiz tek bir çatlak direk boyunun %50 sini aşamaz.

4- Halka ve yıldız çatlağı: Uç enine kesitte 5 veya daha fazla kolu olan halka veya yıldız çatlağı içermemelidir.

5-Ağaç Direklerdeki Budaklar:

-Tek halde budakların çapları 7,5 cm den büyük olmamalıdır.

-Yanal yüzeyin her metresindeki budak çapları toplamı 65 cm yi geçmemelidir.

6-Ağaç direklerdeki mekanik hasarlar:

-Herhangi bir enine kesitte çapın % 5'inden fazla çap azalmasına neden olacak bir derinliğe ulaşmamalıdır.

-Direkte, ikiden fazla yerde ortaya çıkacak mekanik hasara müsaade edilmeyecektir.

-İki hasar bölümü arasındaki mesafe en az 50 cm olmalıdır.

7-Kabuk keseleri ve kısmen kapanmış yaralar; kabuk keselerine ve kısmen kapanmış yaralara direğin dibinden itibaren 1 m'lik bölümde müsaade edilir.

8-Gömülü diri odun; yapraklı (sert) ağaçlarda öz odunun içine gömülü diri oduna müsaade edilmez.

9-Direkler, burada belirtilen farklı hususlar dışında, TS 56 "Ağaç Tel Direkleri Standardına" uygun olacaktır.

1.3.1. Soyma

Koruyucu maddenin derin bir şekilde minimum bir zorlanma neticesinde odun içerisine penetre olmasına olanak sağlamak için kabuk ve daha içteki kambiyum tabakası soyulur (Yıldız, 2005). Direk kurutulduktan sonra penetrasyonu (geçme derinliği) artırmak ve daralma ile çatlamayı azaltmak için hemen kabuk ve kambiyum tabakaları kaldırılır.

Çünkü koruyucu işleminden sonra odun çatlama ve daralmaya karşı bir eğilim içerisinde (Gargiulo, 2000). Buradaki dış kabuk, iç kabuk ve kambiyum tabakasıyla birlikte en son yıla ait yıllık halkanın uzaklaştırılmasına ‘‘beyazlatma’’ denir.

1.3.2. Kurutma

Emprenye işlemine ağaç malzemeyi tabi tutmadan önce ilk olarak odun hücre çeperlerindeki suyu uzaklaştırmak önemlidir. Çünkü yüksek rutubetli odunda koruyucu penetrasyonu (geçme derinliği) zor olur. Sadece difüzyon yönteminde yüksek rutubetli odun kullanılır. Çünkü burada koruyucu, odun içerisine doğru ilerlemek için suyu kullanır (Gargiulo, 2000).

1.3.2.1. Buharla Kurutma

Yağlı emprenye maddeleri uygulamasından önce kullanılan en yaygın kurutma formlarından birisi buharla kurutmadır. Bu işlemde ıslak tel direkleri basınçlı bir silindir içerisindeyken ıslak odunun buharla ısıtılması işlemi içerir ve bunun sonucunda da odun içerisindeki sıcaklık artar. Belirli bir süre kadar direkler bir vakuma maruz bırakılır. Vakum uygulamanın amacı; suyun kaynama noktasını düşürerek uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Bu işlem silindir sıcaklığı 69 °C (160 °F)’ ye düşene kadar devam etmektedir. Silindir bu sıcaklığa ulaştığı zaman işlem durdurulur ve sonrasında odun emprenye işlemine hazırdır (Gargiulo, 2000).

1.3.2.2. Açık Havada Kurutma

Açık havada kurutma (doğal kurutma) metodu sıklıkla kullanılmaz, çünkü uzun kurutma periyotları gereklidir ve genellikle düzensiz kurutmayla sonuçlanır. Doğal kurutma kırmızı ardıç (western redcedar) ve kontorta çamı (lodgepole pine) direklerindeki rutubet içeriğini azaltmada çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Gargiulo, 2000).

1.3.2.3. Fırında Kurutma

Kontrollü şartlar altında fırında kurutma, kurutmayı hızlandırmakta ve genellikle suda çözünen emprenye maddeleri söz konusu olduğunda tercih edilmektedir. Bu işlem koruyucunun daha kalıcı bir geçme derinliği (penetrasyonu) ve tutunma miktarı (retensiyonu) ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, eğer bu işlem yakından takip edilmezse direğin dış kısımlarındaki aşırı kuruma potansiyelinden dolayı hatalı bir rutubet gradiyentiyle (değişimiyle) karşılaşılabilir (Gargiulo, 2000).

1.3.3. Direğe Son Şeklini Verme-Boyutlandırma (Pole Framing)

Bu işlem ahşap direklerin ya çalışma alanına ya da hizmet alanına yerleştirilmeden önceki kesme, delme, yuva açma gibi çalışmaları içerir (Yıldız, 2005). Bu işlemlerin emprenyeden önce değil de emprenyeden sonra yapılması tel direklerinin (özellikle Douglas-çamı) hizmet ömründe görülen azalmanın ikinci büyük sebebidir. İdeal olan tornalama (framing) koruyucu uygulamadan önce ya da en kötüsü hizmet alanına yerleştirilmeden önce yapılmalıdır. Koruyucu işlenmiş odunun delinmesiyle işleme tabi tutulmamış öz oduna doğru mantarların ulaşması açısından mükemmel bir yol açılmış olur. Mantarlar civata delikleri vasıtasıyla direğin iç kısımlarına doğru ilerleyebilmekte ve direğin iç kısmında yayılarak yaklaşık 244 cm'ye kadar uzayabilen bir çürüme hasarı oluşturabilmektedirler. Bu durum genellikle 8-10 yıllık bir zaman periyodunda gerçekleşmektedir. Eğer direkler hizmet alanına yerleştirilmeden önce tornalama işlemleri yapılmamışsa o zaman delinen, kesilen vb. yerler bol miktardaki bakır naftenat ile işleme tabi tutulmalıdır. Tabi ki bu işlem basınç uygulanan yöntemlerin yerini kesinlikle tutamaz (Gargiulo, 2000).

1.3.4. Oyma ve Radyal Yönde Delme (Incising)

Oyma işlemi boyuna yönde dik duran bir örnekte yaklaşık 1.5 cm ila 1.8 cm derinliklerde direk yüzeyinin içerisine eşit aralıklı yarıklar oluşturmayı gerektirmektedir. Oyma işleminin amacı; koruyucu penetrasyonunu sağlamaktır. Radyal delme ise basitçe oymaya benzer fakat oyukların daha derin olması ve daha büyük olması yönüyle ayrılmaktadır. Bu delme işlemi kurutmadan önce gerçekleştirilir. Bunun sebebi; direğin iç

tarafında oyulan/delinen boşlukların eşit oranda kurumasını sağlamak içindir. Çünkü direkler homojen bir şekilde kurumakta, kuruma stresleri de odunda homojen kurumalar olduğu zaman meydana gelmektedir. Bu işlem direğe uygulanan koruyucu maddenin etkisini artırmak için tasarlanmıştır (Gargiulo, 2000). Bu işlem sadece ladin gibi emprenyesi güç olan (Benoit ve Sandoz, 2005) ağaç türlerinde uygulanır ve zorunlu bir aşama değildir.

1.3.5. Çentik Açma (Kerfing)

Çentik açma, kurutma işleminden sonraki işlemdir ve bu işlem kurutma stresini azaltmak için tasarlanmıştır. Bu azaltma yüzey çatlaklarının oluşmasının engellenmesiyle sonuçlanmakta ve koruyucu işlenmiş dış kısımdan ötesi de penetre olabilmektedir. Bu özellikle ince diri oduna sahip ağaç türlerinde toprak hattı civarında iç taraftaki çürüme vakasının azalmasıyla sonuçlanmaktadır (Gargiulo, 2000). Tel direklerinde çürümenin en fazla görüldüğü yer toprak hattı civarlarıdır (Wang ve Zabel, 1990). Bu işlemde, oyma ve radyal yönde delme gibi zorunlu bir aşama değildir.

1.3.6. Emprenye İşlemine Tabi Tutma

Hava kurusu hale gelen direkler basınç uygulanan metotlarla en iyi şekilde emprenye edilirler (Bozkurt ve Göker, 1986; Gezer, 2003). Emprenye öncesi direklerde tornalama ve boyutlandırma gibi işlemler yapılmalıdır. Emprenye maddesi olarak kreozot veya suda çözünen tuzlardan Wolmanit CB, Tanalith C gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Böylece doğal dayanma süresi 4-8 yıl olan çamlarda dayanıklılık 20 ila 40 yıla çıkabilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1986). Taze haldeki direkler Boucherie (Bozkurt ve Göker, 1986; Gezer, 2003) ve osmoz metodu ile emprenye edilebilir (Bozkurt vd., 1993). Ayrıca kuru haldeki direkler ise kabukları soyulduktan sonra Kyan metodu ile veya sıcak-soğuk emprenye maddelerine batırma metodu ile basınçlı kazanlarda Bethell veya Ruping yöntemleri ile emprenye edilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1986).

1.4. CCA (Bakır-Krom-Arsenik)

Günümüzde kullanımda bulunan ağaç tel direklerinin çoğu CCA (Bakır-Krom-Arsenik) veya CCB ile emprenyeliyken bazı eski direkler kreozotla emprenyelidir. Fakat

ABD Çevre Koruma Kurumunun (Environmental Protection Agency, EPA) 12 Şubat 2002 tarihinde almış olduğu kararla; çocuk oyun alanlarında, park ve bahçe alanlarında kullanılan CCA ile emprenyeli peyzaj kerestelerinin ve evlerde kullanılan yine CCA ile emprenyeli ağaç malzemelerin 31 Aralık 2003 tarihinden itibaren kullanılmasını yasaklamıştır. Bununla birlikte CCA ile emprenye edilmiş telefon ve elektrik direkleri, demiryolu traversleri ve köprü elemanlarının kullanılmasına devam edilmektedir. Bu kararlar, Kanada'daki Atık Yönetimi ve Düzenleme Kurumu tarafından (Canada Pest Management Regulatory Agency) 12 Şubat 2002 tarihinde ve Avrupa Birliği Ülkeleri Batı Avrupa Odun Koruma Enstitüsü (Western-European Institute for Wood Preservation) tarafından 30 Nisan 2002 tarihinde aynen kabul edilmiştir (Gezer vd., 2004a). CCA bakır tuzları, kromik asit ve arsenik asidin bir karışımıdır ya da diğer bir ifadeyle bakır arsenat ve bakır kromat içerir. CCA içerisindeki Cu bir fungusit (mantarlara karşı etkili), As bir insektisit (böceklere karşı etkili), Cr ise odun ile CCA'nın fiksasyonundan sorumludur (Arisi, 2006). CCA (Chromated copper arsenate) ilk olarak, 1933 yılında formüle edilen ve patenti alınan emprenye maddesinin oksit ve metal tuz esaslı olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Oksit esaslı CCA emprenye maddesinin bileşimi, Amerikan Odun Korumacılar Birliği (AWPA: American Wood Preservers' Association) tarafından belirlenmiş ve içerisindeki bakır, krom ve arsenik miktarının değişik oranları nedeniyle A, B ve C olmak üzere 3 tipe ayrılmıştır. Tip A, Tip B ve Tip C olmak üzere CCA tiplerinin bileşimleri Tablo 4 'de verilmektedir (Gezer vd., 2004b). Bununla beraber son yıllarda ülkemizde kullanımı en yaygın olan CCB emprenye maddesinin bileşimi Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 4. AWPA Standartlarına göre CCA'nın 3 tipinin bileşimi (AWPA P5-01, 1998)

BİLEŞEN	Tip A (%)			Tip B (%)			Tip C (%)		
	En az	Optimum	En çok	En az	Optimum	En çok	En az	Optimum	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

Tablo 5. Suda çözünen emprenye maddelerinden CCB'nin 2 tipinin bileşimi (URL-12)

BİLEŞEN	WOLMANİT CB			TANALİTH CBC		
	En az	Optimum	En çok	En az	Optimum	En çok
Bakır Sülfat (CuSO ₄ 5H ₂ O)	30.5	34	37.5	32,5	36	39.5
Potasyum/Sodyum Bikromat (K ₂ Cr ₂ O ₇)	34.5	38	41.5	36.5	40	43.5
Asit Borik (H ₃ BO ₃)	21.5	25	28.5	20.5	24	27.5
Diğer Maddeler	-	3	3			

1.4.1. CCA'nın Üretilmesi

CCA, katı bakır oksit ve % 75' lik konsantrasyondaki bir su çözeltisinde çözülmüş As₂O₅'den elde edilen arsenik asitle, % 60'lık bir su konsantrasyonunda çözülmüş CrO₃'den elde edilen kromik asiti 2 saat süreyle karıştırarak % 50' lik bir konsantre oluşturulmasıyla elde edilmektedir. Konsantredeki bileşikler bakır arsenat ve bakır kromattır. Konsantre, bir çökeltme-dinlendirme tankında depo edilir ve sonra süzülerek bir depolama tankına aktarılır (Arisi, 2006).

1.4.2. Tel Direklerinde CCA'nın Fiksasyonu

CCA fiksasyonu tel direklerinin korunmasında aşırı derecede önemlidir, burada Cu, Cr ve As miktarları ağaç malzemenin korunmasında etkili olmakta ve bu bileşenler tel direklerinden yıkanabilmektedirler. Tel direklerindeki CCA fiksasyonunu etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar;

- Odun özellikleri, ortam koşulları,
- Emprenye teknikleri, çözelti pH'sı, çözeltinin tuzluluk derecesi ve sıcaklık,
- Ürün boyutu ve ağaç malzemenin kullanımında olduğu süre.

CCA'nın tel direklerindeki fiksasyonu esnasında Cr (VI), Cr (III)' e indirgenir. Bu işlemde önemli olan reaksiyon;



Bu fiksasyon modeline göre son fiksasyon ürünleri Cr (III), Arsenat, Cr (III) hidroksit ve Cu (II)- odun karboksilat olur. Karboksilat gruplarının çoğu Cr (VI) gruplarının indirgenmesiyle oluşturulmaktadır. İndirgenme (redüksiyon), lignin ve karbohidrat fraksiyonların da bulunan primer alkol grupları tarafından meydana getirilir. Cr (VI) lignin oksidasyonunda (yükseltgenmesinde) kullanılmaktadır (Arisi, 2006).

1.4.3. CCA'nın Yıkanması

Tel direklerinde CCA fiksasyonundan sonra Cu, Cr ve As'in yıkanma problemi ortaya çıkabilmektedir. Odundan CCA'nın yıkanmasında birtakım işlemler rol oynar. İlk reaksiyonlar odun içerisine suyun penetrasyonu neticesinde olur. Böylece odun yüzeyinde koruyucuların çözülmesi ya da hidroliziyle, fikse olmayan bileşenlerin kaybı söz konusu olmaktadır (Cooper, 1994). CCA ile empenye edilmiş ağaç malzeme, odun ürünlerini bakteri ve mantar zararlılarından korumak için Güneydoğu Amerika Birleşik Devletlerinde geniş çapta kullanılmaktadır (Ma ve ark., 2003). Arisi (2006) yapmış olduğu çalışmada toprak örneklerindeki Cu, Cr ve As elementlerinin herhangi biri ile pH arasında bir ilişki görememesine rağmen başka araştırmacılar örneğin; Cooper (1991) ile Mulligan ve arkadaşları (2003) çalışmalarında pH'ın azalması ile kerestede Cu yıkanmasının arttığını bulmuşlardır (Arisi, 2006). Carey ve ark. (1996) yaptıkları çalışmada topraktaki Cu^{+2} emiliminin pH'a bağlı olduğunu ve yüksek pH'lı toprakların en yüksek emilim potansiyeline sahip olduğunu ve yine bu çalışmada toprak pH'ının artması ya da azalması ile topraklarda arsenat absorpsiyonunun az olduğunu saptamışlardır. Bunun haricinde keresteden CCA'nın yıkanmasına yönelik laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda yine pH'ın azalmasıyla CCA ile empenye edilmiş direktten Cu yıkanmasının arttığı bulunmuştur (Hingston vd., 2001). Gezer ve ark. (2004c), CCA ile empenyeli ağaç malzemelerin yıkanmasında empenye yöntemi, fiksasyon, ortam koşulları, odun örneği veya ağaç malzeme boyutları, odun türü, ağaç malzemenin hizmette bulunma süresi, çözelti pH'sı, çözeltinin tuzluluk derecesi ve sıcaklığın etkili olduğu bildirilmiştir.

Hingston ve arkadaşlarına göre (2001) yıkanma oranlarını birçok faktör etkilemektedir.

Bunlar;

- Yerel iklim,

- Yıkanma ortamı (toprak tekstürü, organik madde miktarı, katyon değişim kapasitesi, toprak pH'sı vb.)

- Odun özellikleri,

- Emprenye uygulama teknikleri.

Archer ve Prestonun (1994) yaptıkları çalışma alanı deneylerinde CCA ile emprenye edilmiş olan bir çam direk, hizmetteki ilk 6 ayında % 25 yıkanmış, ilk 85 ayda ise % 52 kadar yıkanma olmuştur ve bundan sonra da yıkanmada artma gözlenmemiştir.

Robinson ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada CCA ile emprenye edilmiş üzüm bağı direklerinden CCA'nın yıkanma oranını belirlemeye çalışmışlardır. Bir dizi farklı direk yaşı ve farklı toprak tiplerini temsil etmesi açısından Yeni Zelanda'nın Marlborough bölgesi civarında bulunan 6 alanda örnekleme yapılmıştır. Emprenye edilmiş *Pinus radiata* türü her bir direk için toprak üstündeki ve altındaki direğe ait odun örnekleri ve direktten 10 cm düşey uzaklıkta ve 5 cm yatay uzaklıktan direğe bitişik toprak örnekleri alınmıştır. Direklerin toprak altında olan kısımlarından alınan örnekler, toprak üstündeki kısımlardan alınan örneklere nazaran daha düşük CCA konsantrasyonlarına sahip olmuştur. Fakat bu durum henüz kullanıma sunulmamış direklerde farklılık göstermemiştir. Bu durumda bize yıkanmanın olduğunu göstermektedir. Direklerin etrafındaki toprakların kontrol topraklarına nazaran daha yüksek CCA konsantrasyonlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. CCA konsantrasyonları direklerden düşey yönde 10 cm uzaklıkta alınan örneklerde, direklerden yatay yönde 5 cm uzaklıkta alınan örneklere göre daha yüksek çıkmıştır. Örneklerin yaklaşık % 25'inde As miktarı Avustralya Ulusal Çevre Koruma Meclisi (ANEPC) sınırı olan 100 mg/kg seviyesini aşmıştır. Bununla beraber örneklerin yaklaşık % 10'undaki Cr seviyelerinin de ANEPC sınırı olan 100 mg/kg seviyesini aştığı görülmüştür. Direk yaşı ve CCA yıkanması arasında önemli bir pozitif korelasyon bulunmuştur (Robinson ve ark., 2006).

Kim ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada CCA ile emprenye edilmiş ahşap malzemelere bitişik topraklarda bakır, krom ve arseniğin birikmesi ile lateral (yanal) ve vertikal (dikey) yöndeki dağılımlarını saptamaya çalışmışlardır. Burada 55 kompozit (birçok parçadan oluşan) toprak örneğinin tamamı yaklaşık 1 yaşındaki 4 adet CCA ile emprenye edilmiş ahşap malzemelerden toplanmıştır. Fizikokimyasal özelliklerin ve bakır, krom, arsenik konsantrasyonlarının belirlenmesi için örnekler üzerinde analiz yapılmıştır.

Ahşap yapılara bitişik toprak örneklerindeki bakır, krom ve arsenik konsantrasyonları (sırasıyla; 98.9, 79.0 ve 128 mg/kg), kontrol toprak örneklerindeki konsantrasyonlarla (sırasıyla;26.9, 48.2 ve 6.27 mg/kg) karşılaştırıldığında aradaki farkın ne kadar yüksek olduğu görülmektedir. Arsenik toprakta krom ve bakırdan daha hareketlidir. Sonuç olarak CCA ile emprenye edilmiş odun yapılardan sadece ilk bir yıl içerisinde önemli miktarda bakır, krom ve arsenik toprak içerisine yıkanmıştır. Topraktaki yüksek metal içerikleri hem CCA ile emprenye edilmiş odun yapıların ilk hizmette kullanılmaya başladığı yıllarda önemli miktarlarının yıkanmasına, hem de hizmette kullanılan periyot esnasındaki yüksek yıllık yağış ilişkisine dayandırılabilir. CCA ile emprenye edilmiş odundan toprağa geçen bu 3 metal arasından toprakta en fazla yıkanan metal arseniktir, bunuda bakır veya kromun takip ettiği belirtilmektedir (Kim ve ark., 2007).

1.5. CCA (Cu, Cr, As) Elementlerinin Topraktaki Hareketleri (Mobilitesi)

1.5.1. CCA'nın (Cu, Cr, As) Zehirlilik Etkisi (Toksitesi)

Son zehirlilik etkisi testleri sulu (aquatik) ortamlarda kullanılan odundan Cu gibi koruyucu bileşenlerin yıkanmasının çevreye karşı zararlı olabileceğini göstermiştir (Hingston vd., 2001). Bitkilere karşı CCA elementlerinin zehirlilik etkisi toprak tipine, bitki türlerine ve toprak ile elementin reaksiyon uzunluğuna bağlı olmaktadır. Cr⁺⁶ çözültü kültürlerinde veya kumda 1 ppm ila 5 ppm arası seviyelerde bitkiler için zehirlidir. Grant ve Dobbs (1977) çalışmalarında, 7000 ppm seviyesinde birkaç bitkinin büyümesinin tamamen engellendiğini ve 170 ppm seviyelerindeyse bazı büyüme oranlarında azalma olduğunu bulmuşlardır.

Son zamanlarda As kontaminasyonuna yönelik dünya çapında artan kaygılar ve raporlar söz konusudur. Kanada'da başlıca doğal As kaynakları; arsenik içeren kayalar ile toprağın erozyonu ve hava yoluyla aşınmasıdır. Tarih öncesinde ve en son yapılan altın madeni operasyonları ile odun koruyucu madde tesisleri en önemli antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardır. Kirlenmemiş toprak ve sedimentlerdeki As konsantrasyonları 4-150 mg/kg aralığındadır. Kirlenmemiş yüzey ve yer altı sularında As konsantrasyonu 0.001- 0.005 mg/L aralığındadır. Çoğu zehirli As inorganik formlarda bulunur ve bu durumun farkına varmak kritik bir öneme sahiptir. Çünkü bu tür bir kontaminasyon, çeşitli sucul ve karada yaşayan organizmalarda ve eninde sonunda insan sağlığı üzerinde ciddi

zararlı etkiler (kronik olan ve olmayan As zehirlenmeleri) ortaya çıkarır. Biyoremidasyon (canlı organizmaları kullanarak kirliliği ortadan kaldırma) ve hiperakümülyasyon (metal-scavenging), arsenikle kontamine olmuş yerlerin remidasyonu için yeniliğe açık teknolojiler olarak ortaya çıkmaktadır (Mulligan ve Wang, 2006).

CCA ile emprenye edilmiş odundan As yıkanması topraktaki As seviyelerini yükseltebilmektedir. Bu yüzden bu topraklarda büyüyen bitkilerde As birikmesine ilişkin artan çevresel bir endişe mevcuttur (Cao ve Ma, 2004). Cao ve Ma (2004) yaptıkları çalışmada toprakta As birikmesinde toprak değişikliklerinin etkilerini incelemek ve CCA ile emprenye edilmiş çit ve tel direklerine bitişik topraklardaki sebzelerde biriken As miktarını değerlendirebilmek için bir sera testi yapmışlardır. Burada havuç (*Daucus carota* L.) ve marul (*Lactuca sativa* L.) sebzeleri, gübrelili-fosfatlı ve gübresiz-fosfatsız topraklardaki değişiklikleri saptamak için yetiştirilmiştir (10 hafta içerisinde). Beklenildiği gibi, artan As konsantrasyonları tel direği toprağında 43 mg/kg ve çit direği toprağında 27 mg/kg olarak gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda marulda 32 mg/kg ve havuçta 44 mg/kg, artan As birikmesi gözlenmiştir. Topraklara fosfat ilâvesi, toprakta fosfat ile arsenatın yer değiştirmesi yoluyla suda çözünebilir As'in toprakta artmasından dolayı marulda 2.45-10.1 ve havuçta 4.56-9.3 arasında seyreden As birikmesi gözlenmiştir. Bununla birlikte, biyokatı (ham çamurların stabilize edildikten sonraki aldığı isim) organik gübre uygulaması bitkinin As alımını % 79-86'ya kadar azaltmıştır. Buradaki As elementinin tutulmasının, biyokatı organik madde tarafından adsorbe edilen As'den kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu yüzden biyokatı organik gübre uygulaması bitkide As bulunabilirliğini azaltmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre CCA ile emprenye edilmiş ağaç malzemelere yakın topraklarda sebze yetiştirme (insanların As'e maruz kalmasından dolayı) bir risk olarak görülebilir. Organik gübre ıslahı, sebzelerde birikecek As miktarını azaltmasından dolayı böylesi bir riski azaltabilir ve CCA ile kirlenmiş toprakların remidasyonunda bir strateji olabilir. Fosfat uygulaması ile topraktaki As birikmesi arttığı için bu konuda dikkatli olunmalıdır (Cao ve Ma, 2004).

Toprakta ağır metallerin yüksek miktarda bulunması bitki örtüsü üzerinde, besin zincirindeki hareketiyle insan ve hayvan sağlığı üzerinde bir risk faktörü oluşturduğundan saptanması gerekir. Topraklardaki ağır metal seviyelerini ulusal seviyelerde tutmak ve aynı zamanda besin zincirindeki birikimlerini önlemek için Avrupa'da çalışmalar mevcuttur. Besin zincirindeki bu birikme, insanların bu duruma maruz kalmasından dolayı önemlidir (Boltea ve Omota, 2005).

CCA ile empenye edilmiş tel direklerinin depolandığı, kullanıldığı ve atıl halde bulunduğu alanlarda yıkanmadan dolayı (CCA elementlerinin toksik etkiye sahip olmasından ötürü) endişeler mevcuttur (Arisi, 2006; Gezer vd., 2006). Amerika Birleşik Devletleri çöplüklerinde yıllık yaklaşık 5 milyon ton koruyucu işlenmiş ağaç malzemenin atıl halde bulunduğu bildirilmektedir. Çevreye salınan CCA miktarını belirlemede bileşenlerin türlerini (Cu, Cr, As) bilmek önem taşır (Arisi, 2006). Tablo.6'da kontamine olmamış toprak örneklerinde ve kayalarda bakır, krom ve arsenik miktarları görülmektedir. Ayrıca Çevre ve Orman Bakanlığı, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde pH değeri 5-6 civarındaysa topraktaki ağır metallere krom ve bakırın bulunması gereken sınır değerleri sırasıyla; 100 mg/kg ve 50 mg/kg'dır (1 mg/kg=1ppm). Şayet pH>6 olursa krom;100 mg/kg ve bakır; 140 mg/kg olmalıdır. Arsenik ise pH göz önüne alınmaksızın sınır değeri 20 mg/kg olmalıdır (URL-1). Birleşik Devletler yerleşim alanlarındaki topraklarda bulunan As sınırını 0.4 - 40 ppm olarak belirtmiştir, genellikle kanser riski oranının yeme yoluyla veya kontamine olmuş yerleşim yerlerindeki topraklarla direk olan temas neticesinde on binde bir ila milyonda bir oranında arttığı bildirilmiştir (Belluck vd., 2003).

Tablo 6. Kirlenmemiş toprak örneklerinde ve kayalarda bakır, krom ve arsenik miktarları (ppm) (Tüfekçiöglü, 2005)

	Yer Kabüğında	Ultra Bazik Kayaçlarda	Bazalt- Gabbro	Gnays-Mika	Granit	Kil Taşı	Kum Taşı	Kireç Taşı	Marn	Toprak
Bakır	35	10	90	25	13	45	5	4	11	2-40
Krom	80	1600	170	75	12	90	35	11	35	5-100
Arsenik	3.5	1	1.5	4.3	1.5	10	1	2.5	8	1-15

1.5.1.1. Bakır (Cu)

Bakır genellikle topraklarda bağlı halde bulunmakta ve toprakta çok zor hareket etmektedir. Topraktaki toplam bakır; (1) değiştirilebilir Cu, (2) humusta stabil organik kompleksler, (3) Mn, Fe ve Al oksitler tarafından adsorbe edilmiş Cu, (4) killi humus kolloidal komplekste adsorbe edilen Cu, (5) topraktaki inorganik kompleksler ve çözülebilir iyonlar, (6) toprak minerallerinde Cu bağlı kristal, örgün kafes halinde bulunabilmektedir. Organiklere bağlanan bakır, Fe/Mn oksitlere bağlanan bakır ve kil minerallerine bağlanan bakır ayırmak zordur. Cu temel bir mikrobeseinken, Cu^{+2} iyonu eser miktarların üzerinde zehirlilik etkisine sahiptir. Genelde, Cu topraklardaki organik maddelere (özellikle humik asitlere) bağlanma eğilimi göstermektedir (Arisi, 2006).

1.5.1.2. Krom (Cr)

Krom elementi 9 farklı oksidasyon halinde bulunabilir, fakat toprakta Cr ve Cr^{+3} olmak üzere 2 formu baskındır. Krom'un en stabil oksidasyon hali Cr^{+6} ve Cr^{+3} 'dür. Cr^{+6} iyonu, kromatlar (CrO_4^{-2}) ve dikromatlar ($Cr_2O_7^{-2}$) gibi anyon halinde bulunur. Cr (VI) iyonu kanserojen ve mutajenik olarak bilinir, fakat Cr (III)'e indirgendiği zaman CCA fiksasyon proseslerinde olduğu gibi daha az zararlı olabilmektedir (Massara vd., 2004). Cr (VI) iyonu güçlü bir yükseltgen maddedir ve toprakta organik madde varlığında Cr (III) formuna indirgenir.

Krom (III) iyonu daha az hareketlidir (Cooper, 1993) ve toprak partiküllerine güçlü bir şekilde tutunmaktadır. Eğer pH değeri 4 ve 4'ün üzeriyse Cr (III) iyonunun çözünürlüğü azalmakta ve pH değeri 5.5'in üzerinde olursa tamamen çökelti oluşmaktadır. Cr (III) formları stabil komplekslerdir ve toprakta adsorpsiyon yoluyla tutulurlar (Pagilla ve Canter, 1999). Diğer bir taraftan Cr (III), +6 değerlikli forma yükseltgenerek hareket edebilir ya da doğal olarak oluşan ligandlarla (bağlayıcılar) kompleksler oluşturarak hareket edebilir. Toprak pH'ları arttığı zaman Cr toksisitesi de artmaktadır ve bu durum topraktaki Cr (VI) iyonlarının formasyonundan dolayı oluşmaktadır (Arisi, 2006).

1.5.1.3. Arsenik (As)

As elementi 4 oksidasyon halinde bulunur ve bunlar içerisindeki en yaygın bulunan formlar Arsenat (V) ve Arsenit (III) formlarıdır. As (V)'in bu yaygın oksidasyon hallerinin As (III)'den daha az zehirli ve daha yaygın olduğu düşünülmektedir (Hingston vd., 2001). As topraktaki organik maddelerle yüksek bir birleşme eğilimine sahiptir. Bu durum alüvyonlu ve organik topraktaki As seviyesinin yüksek olmasından bellidir. As elementinin topraktaki sülfür ve demir ile bağlandığı bilinmektedir (Arisi, 2006).

Woolson ve Gjovik (1981) yaptıkları çalışmada emprenye edilmiş odundaki As elementinin % 3'ünün As(III)'den oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte Nyren ve Nilsson (1993) çalışmalarında ticari olarak satılan emprenyeli ahşap malzemelerde +3 değerlikli As olmadığını bulmuşlardır (Arisi, 2006).

Arsenik (V)'in Arsenik (III)'e indirgenmesi mikroorganizmaların varlığından etkilenmektedir. Aerobik (oksijenli) şartlar altında As bileşenlerinin metilasyonu, monometil arsenik asit ($\text{CH}_3\text{ASO}(\text{OH})_2$), dimetil arsenik asit ($(\text{CH}_3)_2\text{AS}(\text{OH})$) ve trimetil As oksitlerin ($(\text{CH}_3)_3\text{ASO}$) oluşumuyla sonuçlanmaktadır. Anaerobik (oksijensiz) şartlar altında ise metilarsin gazı, toksik, uçucu ve kolay tutuşur özelliklere sahiptir (Arisi, 2006).

Kil mineralleri, organik madde, Fe ve Al oksitlerin varlığı As oksidasyon (yükseltgenme) oranını etkilemektedir. Toprakta arseniğin mobilitesi (hareketliliği) temel minerallerin stabilitesine ve elektrokimyasal özelliklere dayanır. Bazı tip topraklarda (alüvyonlu ve organik topraklarda) As partiküllere bağlı kalır ve çok hareketli değildir, fakat diğer toprak tiplerinde (kumlu vb.) As elementi hareketli olabilir, bu yüzden de yüzey suyu kaynaklarında tehlike oluşturur. Arsenik insanlar için kanserojen ve aşırı toksiktir (Arisi, 2006). İncelenen orman toprakları birçok organik As türlerini içermektedir. Orman topraklarındaki organik As türleri yapraklardan süzülüp düşen yağmur suyundan ve toprak yüzeyine bitkilerden dökülen yaprak, ince dal vb. şeylerden meydana gelir ve orman zemininde fazlaca tutulur (Huang ve Matzner, 2007).

1.5.2. Toprak Özellikleri

Toprak yapı olarak mineraller, organik maddeler, mikroorganizmalar, su ve havanın bir çeşit karışımıdır. Toprak kayalardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler sonucu dış hava koşullarının etkisiyle meydana gelmektedir. Toprağın yaklaşık % 90'ı kayaların

küçük partiküllerinden (parçacıklarından) oluşmaktadır. Toprak partikülleri kil mineralleri, amorf (düzensiz) materyaller ve farklı oksitlerden oluşmaktadır. Geriye kalan % 10'luk kısım ise organik madde, mikroorganizmalar, su ve havadan oluşmaktadır. Organik madde, mikroorganizmalar için bir yiyecek kaynağıdır ve iyon değişimi gibi kimyasal reaksiyonlara uğrayabilir. Topraktaki organik bileşenler humus, yağlar, reçineler, vakslar, sakkaritler ve fosforlu bileşenlerdir. Topraktaki organik madde miktarı, mevcut oksijen ve sıcaklıktan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Daha soğuk iklimlerde ve suya doymuş topraklarda organik madde biyodegradasyonu azalmaktadır. Humus, bileşenlerine ayrılmış, çürümüş toprak organik maddesidir. Humus, humik asit diye adlandırılan güçlü bir bazda eriyen fraksiyon ile beraber fulvik asit diye adlandırılan asitte eriyen bir fraksiyondan ve humin diye adlandırılan güçlü bir bazda erimeyen fraksiyondan oluşur. Humik maddelerinin molekülleri, amfifiller diye adlandırılan hem polar hem de polar olmayan yapıları içerirler (Arisi, 2006).

Toprak pH'sı topraktaki asitliğin ya da bazikliğin ölçülmesidir. Burada Hidrojen (H_3O^+) iyon konsantrasyonunun negatif logaritmasının bir ölçümü söz konusudur. Eğer pH değeri 7'nin üzerindeyse bazik, altındaysa asidiktir. Toprak pH'sı besin maddelerinin çözünürlüğünü etkilediği gibi, organik madde yıkımından sorumlu mikroorganizmaların aktivitesini ve topraktaki birçok kimyasal dönüşümü de etkilemektedir (Arisi, 2006).

Ağır metal çözünürlüğü çoğunlukla toprak asiditesine bağlıdır. Kalkerli ve killi topraklarda ağır metal çözünürlüğü düşüktür, oysa asidik topraklarda yeterli miktarda metal çözülebilir ve bitkiler tarafından alınmaya uygun hale gelebilir. Son yıllarda birçok araştırmacı endüstriyel atıklar veya madencilik faaliyetleri gibi çeşitli antropojenik kaynaklardan dolayı oluşan topraktaki ağır metal kontaminasyonuna dikkat çekmektedirler. Metaller, topraklarda ve sedimentlerde çeşitli fraksiyonlarda, kimyasal türlerde veya formlarda bulunabilir: adsorptif- değiştirilebilir, karbonat- bağlı, oksit-bağlı, organik madde-bağlı ve kırıntılı (ufalanmış) veya kristal örgü metaller olarak sıralanabilir. Topraklardaki ağır metallerin bu jeokimyasal formları onların çözünebilirliğini, mobilitesini, yer altı suyu kirletilmesi riskini ve biyolojik yararlanımını direk olarak etkilemektedir (García-Sánchez ve ark., 1999).

Toprak partikülleri yüzeylerinde çeşitli yükler bulundurur. Bu yükler organik madde ve inorganik bileşenler varlığında ortaya çıkarlar. Seskioksit gibi inorganik bileşenler doğada amfoter (çift etkili) olarak bulunur ve bu yüzden çeşitli yüzey yüklerini içerirler. Demir hidroksitler ($FeOH$) ve Alüminyum hidroksit ($AlOH$) grupları toprak partiküllerinin

yüzeylerinde ağırlıklı olarak bulunurlar. Toprak pH'sının değişmesiyle toprak partiküllerinin yüzeylerindeki yükler değişebilmektedir. Düşük pH'da toprak partikül yüzeyleri net bir pozitif yük taşır. Toprak yüzeyindeki yük toplamı sıfıra eşit olursa (yüzey yükü-pH değerlerinin birbiriyle kesiştiği nokta) buna sıfır yük noktası denir (Arisi, 2006).

Dobran ve Zagury (2006) yaptıkları çalışmada CCA ile kirletilmiş topraklardaki As türleşmesinde ve hareketinde topraktaki organik madde içeriğinin etkisini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışma CCA ile kirletilmiş 4 sentetik toprakla, aerobik ve doymun olmayan şartlar altında organik madde içeriği (turba yosunu ve tavuk gübresi karışımı) % 0.5 ve % 15 (w/w) arasında değişen bir dizi toprak arasında gerçekleştirilmiştir (40 gün içerisinde). Buradaki yüksek organik madde içeriği (% 7.5 ve % 15) toprağa bağlı As^{+3} formasyonuna neden olabilmektedir. Dahası, toplam suda çözünebilir As, çözünmüş organik karbon ($r^2=0.88$) ile tam olarak ilişki içerisinde. Bununla beraber, organik madde içeriği çözünür fraksiyondaki As türleşmesini etkilemezken, 40 gün boyunca hem As^{+5} indirgenmesinin hem de biyometilasyonun meydana gelmediği gözlenmiştir. Çözünmüş organik karbon içeriğindeki bir artma topraklardaki hem As^{+5} hem de As^{+3} çözünürleşmesini artırmıştır. Sonuç olarak % 7.5 ve % 15 arasındaki bir organik madde içeriği zaman içerisinde toprağa bağlı As^{+3} formasyonunda önemli olan etkileyici bir faktördür. As^{+3} formu As^{+5} formundan daha toksiktir (Dobran ve Zagury, 2006).

Ma ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada CCA ile empenye edilmiş döşemeler, çit ve tel direkleri gibi odun ürünlerinin etrafındaki topraklarda Cu, Cr ve As'in dağılımını tespit etmeye çalışmakla beraber, toprakta Cu, Cr ve As birikmesinde bu odun ürünlerinin etkilerini değerlendirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada CCA ile empenye edilmiş döşemeler altındaki topraklar ile çit ve tel direklerine bitişik profil ve lateral (yanal) toprak örnekleri toplanmıştır. Sonuçlar, ahşap yapıların altında ve yakınındaki topraklarda Cu, Cr ve As konsantrasyonlarının yüksek olduğunu göstermiştir. Ortalama As konsantrasyonları yaklaşık 1.5 m uzaklıktaki mesafelerde 3 mg kg^{-1} değerinden daha azken, tel direklerine yakın yerlerde 23 mg kg^{-1} gibi daha yüksek konsantrasyonlardadır. CCA ile empenye edilmiş bölgelere yakın alanlarda derinliğe bağlı olarak As, Cr ve Cu konsantrasyonları azalmıştır. Zamanla dış hava koşulları ve yıkanmanın kombinasyonu daha eski olan direklerde etkisini azaltmış olabilir. Bu sonuçlar kullanılan CCA ile empenye edilmiş odun ürünlerinin güvenilirliğini tespit etmek ve bu ürünlerin kullanıcılarına yardımcı olmak içindir (Ma ve arkadaşları, 2003).

Zagury ve ark., (2001) yaptıkları çalışmada yapay olarak CCA ile kirletilmiş olan 9 adet topraktaki Cu, Cr ve As elementlerinin türleşmesi (As^{+3} , As^{+5} , Cr^{+3} , Cr^{+6} vb.) ve retensiyonunda fizikokimyasal karakteristikler ve toprak bileşiminin etkisini tespit etmeye çalışmışlardır. Mineral topraklarda ortalama metal retensiyonu düşük bulunmuştur (Cu % 58 ve Cr % 23), fakat yüksek organik topraklarda önemli ölçüde arttığı görülmüştür (Cu % 96 ve Cr % 78). Bununla birlikte, hem organik hem de mineral topraklarda yapay yollarla eklenen As'in çok yüksek bir sorpsiyonu (% 71-81) olduğu ispat edilmiştir. Kontamine olmuş topraklarda toplam Cu konsantrasyonları 283 ± 21 ila 585 ± 21 mg/kg arasında değişim göstermiştir (% 97-47 retensiyon). Topraklardaki Cu retensiyonunun organik madde içeriğinin artmasıyla güçlü bir şekilde arttığı bildirilmiştir. Sonuç olarak organik madde içeriğinin Cu ve Cr retensiyonunda ve katyon değişim kapasitesi (KDK) üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ortalama Cu ve Cr retensiyonunun mineral topraklarda düşük, fakat organik maddece zengin topraklarda yüksek olduğu saptanmıştır. Cu sorpsiyonu kaolinit içeriğine bağlı olarak hafifçe artmıştır, fakat bu durum Cr'da gözlenmemiştir. Bununla beraber hem organik, hem de mineral topraklarda As'in çok yüksek bir sorpsiyona sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca organik madde içeriği yüksek olan topraklardaki Cu ve Cr elementlerinin bağlı olan seviyeleri, çözülebilir-değiştirilebilir seviyelerinden daha yüksektir (Zagury ve ark., 2001).

1.5.2.1. Metal Retensiyonunun Kimyası

Toprak partiküllerinin yüzeyleri kimyasal olarak çok aktiftir. Bu yüzeyler ya negatif yüklü ya da pozitif yüklü veya elektriksel nötrdür. Toprakta Cu, Cr ve As elementlerinin retensiyonunda 2 mekanizma yer alır (Arisi, 2006). Bunlar;

- 1- Adsorpsiyon (Yüzeğe tutunma) Reaksiyon Mekanizması
- 2- Presipitasyon (Çökme) Reaksiyon Mekanizmasıdır.

1.5.2.1.1. Adsorpsiyon (Yüzeğe tutunma) Reaksiyon Mekanizması

Cu, Cr ve As elementleri ya katyon değişim kapasitesi (cation exchange reaction) yoluyla toprak partiküllerinde dış taraftaki zayıf küre komplekslerle ya da ligand değişim reaksiyonları (ligand exchange reaction) yoluyla iç taraftaki güçlü küre komplekslerle bağ oluşturma şeklinde adsorbe edilmektedirler. İyonlar araya giren su molekülleriyle toprak

yüzeyine dolaylı olarak bağlandığı zaman dış taraftaki zayıf küre kompleksler oluşmaktadır, oysa iyonlar araya giren su molekülleriyle toprak yüzeyine direk olarak bağlandığı zaman iç taraftaki güçlü küre kompleksler oluşmaktadır (Arisi, 2006).

1.5.2.1.1.1. Katyon Değişim Kapasitesi-KDK (Cation Exchange Capacity)

Topraktaki kil ve humus taneciklerinin yüzeylerinde anyon ve katyonları tutmasına “iyon adsorpsiyonu” denir. Tutulan bu iyonlar, toprak çözeltisindeki başka iyonlarla yer değiştirebilmektedir. Toprak kolloidleri (humus ve kil) ile toprak çözeltisi arasında meydana gelen bu iyon alış-verişine “iyon değiştirilmesi” veya “iyonların yer değişmesi” denmektedir. Çünkü “iyon adsorpsiyonu” ile topraktaki besin maddeleri yıkanıp çok derinlere gitmekten kurtulmuş olur. İyon değişimi ile de bitkilere bu besin maddelerinden yararlanma olanağı yaratılmış olur. Katyonların toprakta tutulması ve bunların başka katyonlarla değiştirilmesi, anyonlara kıyasla daha önemlidir. Çünkü bitki için büyük bir önem taşıyan mineral besin maddelerinin çoğu katyon halinde tutulmaktadır (Çepel, 1986). Katyon yıkanma yoğunluğu toprak tipi ve bitki örtüsüne bağlıdır. Yıkanma sonrasında toprağa salınan bazı katyonlarının artan mobilitesiyle beraber, toprak asiditesinde de bir artma görülür. Yapılan laboratuvar testlerinde asit yağmurlarının Ca ve Mg’un daha derin toprak horizonlarına (özellikle kumlu ve doğal olarak asidik olan topraklarda) doğru yıkanmalarında etkili olduğu ve mobilizasyonlarının artmasına sebep olduğu ispatlanmıştır (Porebska ve ark., 2008). Toplam katyon değişim kapasitesi değiştirilebilir metal ve hidrojen iyonlarının toplamıdır (Piper, 1950). Organik maddenin katyon değişim kapasitesi (KDK) kil minerallerinden daha yüksektir (Türüdü, 2004). Kil mineralleri genellikle 10-150 meq/100 g aralığında KDK değerlerine sahiptir. Organik maddelerin KDK aralığı ise 200-400 meq/100 g’dır (URL-9).

Çözeltide, katyonlar elektrostatik veya kolumbik güçler tarafından negatif yüklü uçlara ve toprak partiküllerinin yüzeylerine doğru çekilirler. Katyonlar dış taraftaki küre kompleksleri oluşturmak için yüzey ile kovalent bağ yapmazlar. Sadece hidrasyon sularına tutunma olayında bu işlem gerçekleştirilmektedir. Adsorbe edilen iyon ve toprak partikülü arasında yalnızca zayıf bir birliktelik oluşturulmaktadır. Buna benzeyen adsorpsiyon katyon değişim reaksiyonu veya spesifik olmayan adsorpsiyon olarak anılacaktır. Zayıf bağlantıdan dolayı, adsorbe edilen iyonlar benzer dış taraftaki küre kompleksleri oluşturmak için diğer katyonlarla kolayca yer değiştirirler. Katyon değişim mekanizması

lityum, sodyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum, strontiyum, baryum ve radyum gibi alkali elementler için önemlidir (Arisi, 2006). Bazı metallerin toprakta en çok rastlanan toplam miktarları şöyledir; Mn:200- 4000 ppm, Zn:10-300 ppm ve Cu:5-100 ppm (Çepel, 1986). Ayrıca pH:5-6 olursa toprak kirlilik sınır değerleri Ni: 30 ppm ve Zn: 150 ppm olmalıdır, bunun haricinde pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm'i geçmemelidir. Bununla beraber Co: 20 ppm ve Na: 125 ppm'i aşmamalıdır (URL-1).

Ağır metaller çevresel kirlenmelerde, özellikle antropojenik baskının yüksek olduğu yerlerde önemlidir. Ağır metallerin atmosfer, toprak ve sudaki eser miktarları bile tüm organizmalarda ciddi problemlere sebep olabilmektedir. Ayrıca ağır metal biyoakümülyasyonu (biyobirikim) besin zincirinde değişiklik meydana getirebilmenin yanı sıra normal biyokimyasal döngüyüde değiştirmektedir. Kirlenmiş topraklardaki toplam metal konsantrasyonu, çevresel etkiyi değerlendirmede yetersizdir. Çünkü ağır metaller farklı kimyasal formlarda olabildiği gibi sadece bir fraksiyon kolayca hareket edebilmektedir (Saraswathy ve ark., 2010).

Bhattacharya ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada terk edilmiş olan bir odun koruma ünitesindeki topraklarda As, Cu, Cr ve Zn elementlerinin bulunabilirliğini ve topraktaki kontaminantlar için kullanılabilir bazı ekstraktanları (özütleyici) incelemeye çalışmışlardır. Kontamine olmuş yüzey topraklarındaki (0-10 cm) ortalama As içeriği 186 mg kg^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Oysa kontamine olmuş alanlardan alınan topraklarda ortalama Cu, Cr ve Zn konsantrasyonları sırasıyla; 26, 29 ve 91 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Mineral topraklarda artan As içeriği, ince taneli fraksiyonlardaki inorganik As fazlarının adsorpsiyonuyla ilgilidir, bununla beraber Cu ve Cr elementleride oldukça hareketli bulunmuştur. Toprağın ince fraksiyonu (<0.125 mm), toprak kontaminasyonunun değerlendirilmesi ve analizi için kullanılan geleneksel <2 mm fraksiyon ile kıyaslandığı zaman ortalama metal içeriği yaklaşık % 34'e kadar artmıştır. İnce fraksiyon (<0.125 mm) toplam ağırlığın yaklaşık olarak % 10'unu teşkil ederken, <2 mm fraksiyon ise yaklaşık % 65'ini teşkil etmektedir. Bu bulgular birlikte ele alındığında, remidasyon ölçümlerinin seçiminde temel oluşturmaktadır. Oksalat solüsyonları, toprak remidasyonunda ekstraktanlar olarak test edilmiştir. Koyu asit oksalat ekstraksiyonu, amorf (düzensiz) Al ve Fe-oksitler ve hidroksitleri çözer, bununla birlikte adsorbe edilen inorganik As türlerini harekete geçirir (Bhattacharya ve ark., 2002).

Genellikle herhangi bir toprağın KDK'sının yükselmesinde çoğunlukla organik madde ve kil fraksiyonlarının etkili olduğu düşünülmektedir. Daha önce bahsedilen Zagury

ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada turba kömürünün en yüksek KDK değerine (232 meq/100g) sahip olduğunu ve bunuda kaolinitin KDK değerinin (38 meq/100g) takip ettiğini vurgulamışlardır. Bununla beraber kum ve siltin çok düşük bir KDK değerine (2 meq/100g' dan daha düşük) sahip olduğu dile getirilmektedir.

Natalya ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada alınan 5 farklı Estonya toprağında (quartz, kil, kalsiyum karbonat, Fe/Mn ve dolomitin yüksek varyasyonlarını içeren topraklar) ağır metallerin (Cd, Pb, Cu ve Cr) sorpsiyon (emilme) kapasitelerini laboratuvar şartları altında tespit etmeye çalışmışlardır. Toprak altındaki metallerin emiliminin toprak tipine (örneğin; mineral bileşimi) bağlı olduğunu ve sonuçlara göre quartz içeriği ile karbonatların toprak altındaki metal emilimini etkilemede önemli olduklarını vurgulamışlardır. Ayrıca hareketli metallerin birikmesi ve derine geçmesinin mümkün olabildiğinin yanı sıra podzol topraklar altında çözülmüş Cd ve diğer metallerin birikmesinde artış olduğunu belirtmişlerdir. Çalışılan her toprak tipiyle ilgili çalışma sonuçları toksik metallerin yüzey suyu kontaminasyonu açısından potansiyel bir risk olduğunu göstermiştir (Natalya ve ark., 2009).

Hernandez ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada Fransa'daki bazı orman topraklarında (kalkerik kambizol, mollik andozol, asidik, podzol vb. orman toprakları) ölçülen ağır metallerin miktarını büyükten küçüğe doğru; Cr>Zn>Pb>Ni>Cu>Co>Cd şeklinde sıralamışlardır. Bazı topraklardaki Pb, Cr ve Ni ağır metallerinin toplam konsantrasyonlarının, kirletilmemiş topraklardaki Avrupa eşik değer sınırını aştığını belirtmişlerdir. En yüksek ağır metal konsantrasyonlarını kalkerik kambizol ve mollik andozol topraklarında, en düşük ağır metal içeriklerini ise asidik topraklarda gözlemlemişlerdir. Bazı asidik topraklarda Cu ve Zn'nun derinliğe bağlı olarak azaldığını, Pb ve Cd metallerinin daha üst kısımdaki toprak zeminlerde hesaplanması gerektiğini vurgulamışlardır. Her ağır metal konsantrasyonunun daima farklı parametrelere (toprak pH'sı, demir ve alüminyum oksit içeriği, kil içeriği, organik madde ve katyon değişim kapasitesi) bağlı olarak değiştiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca katyon değişim kapasitesini 0.2-29 cmolkg⁻¹ aralığında tespit ederek KDK'nın derinlikle birlikte azaldığını belirtmişlerdir. Bu durumun da organik karbon içeriğinin derinliğe bağlı olarak azalmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. En yüksek KDK değerinin kalkerik kambizol horizontunda bulunduğunu, en düşük KDK değerlerinin ise Al'un dominant olduğu asidik topraklarda bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Kalbitz ve Wennrich (1998) yaptıkları çalışmada Almanya'daki Bitterfeld-Wolfen endüstri bölgesinde bulunan Mulde nehrinin sulak arazi topraklarının ağır metaller ve arsenik tarafından aşırı miktarda kirletilmiş olduğuna dikkat çekerek element mobilitesinde organik maddelerin etkisini ve biriken ağır metallerin mobilitesini tespiti için çalışmışlardır. Ağır metal kontaminasyonunu, çeşitli toprak özelliklerini ve geniş miktarda çözünmüş organik karbon konsantrasyonlarını temsil eden 6 farklı yerden toprak karotları alınmıştır. Asitle çözünebilir konsantrasyonlar (çoğunlukla toplam içeriğe eşit) örnekleme yerine bağlı olarak Zn: 1100 mg kg⁻¹, Cr: 800 mg kg⁻¹, Cu: 364 mg kg⁻¹, As: 265 mg kg⁻¹ ve Hg: 37 mg kg⁻¹ bulunmuştur. Perkolasyon (sızma-süzme) deneyleri bozulmamış-örselenmemiş üst toprak karotları ile küçük bir lizimetre (buharlaştırma sonucu su kaybı oranını ölçen alet) kullanarak Zn, Cd, Cu, Cr ve Hg elementlerinin toprak özelliklerine bağlı olarak önemli bir mobilizasyon gösterdiği gözlemlenmiştir. Süzülen topraklardaki Cr, Hg, Cu ve As konsantrasyonları ile organik madde miktarı arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür. Aslında, Cd ve Zn mobilizasyonu toprak pH'sı ve mobil element içeriğine bağlıdır, fakat organik madde içeriğine bağlı değildir. 2 toprak profilindeki (1.5 metreye kadar) ek çalışmalar, yer altı suyu içerisine ve daha derin toprak horizonları içerisine kontamine olmuş toprak yüzeyinden yüksek miktarlardaki ağır metal translokasyonunu doğrulamıştır ve süzme testiyle burada organik madde içeriğinin etkisi olduğu açıklığa kavuşmuştur. Elde edilen sonuçlara göre düşük bir toprak pH'sı (<4.5) söz konusu olduğunda topraklardaki ağır metal mobilizasyonunda organik madde içeriğinin az bir önemi vardır (Kalbitz ve Wennrich, 1998).

Odat ve Alshammari (2011), yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan'ın Hail şehir merkezinde bulunan ana karayolları boyunca uzanan toprak örneklerindeki metal içeriğini analiz etmişlerdir. Burada (0-10 cm) ve (10-20 cm) olmak üzere 2 farklı derinlikten toprak örnekleri alınmıştır ve kadmiyum, bakır, kobalt, nikel, krom, vanadyum, civa ve çinko seviyeleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Pyeunicam, SPQ Philips, Atomic Absorption Spectrometer) ile analiz edilmiştir. Çalışma alanında bulunan topraktaki metallerin mobilitesine etki ettiği düşünülen fizikokimyasal faktörler (pH, Toplam Organik Madde, CaCO₃ ve iletkenlik) incelenmiştir. İncelenen veriler çalışma alanındaki metallerin dağılımını tespit etmek amacıyla bölgesel ve istatistiksel olarak yapılmıştır. Bu çalışmada, tüm metallerin toprak yüzeyinde biriktiğini ve toprağın daha derin kısımlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Çalışma alanındaki topraklarda bulunan Cd, Pb, Zn, Cr ve Cu metallerinin yüksek konsantrasyonları bir dereceye kadar antropojenik kaynaklı olan taşıyıcı

eksozlarından çıkan gazlarla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Toprak örneklerinin KDK'sı ortalama 122 meq/100 g ile 111 ve 144 meq/100 g aralığında seyretmiştir. Katyon Değişim Kapasitesi pH, organik madde ve kalsiyum içeriklerinin artmasıyla artmıştır. Analiz edilen toprağın CaCO₃ içerikleri % 13.5'den % 36.1'e kadar değişim göstermiştir. Topraktaki toplam organik madde % 1.3'den % 4.8'e kadar ki aralıkta seyretmiştir. Topraktaki metallerin konsantrasyonları KDK, toplam organik madde ve pH'a göre önemli ölçüde değişebilmektedir. Genellikle, pH toprak bileşiminin katyon değişim kapasitesini etkiler, dolayısıyla toprak örneklerindeki ağır metal hareketliliğini ve dağılımını da etkilemektedir. Ortalama metal konsantrasyonu daha üstteki (0-10 cm) toprak kısımlarında 77 ppm olarak bulunmuştur, oysa daha derin (10-20 cm) toprakta yaklaşık olarak 65.3 ppm bulunmuştur. Kadmiyum'un ortalama konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 6.1 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde ortalama konsantrasyonu 5.4 ppm bulunmuştur. Ortalama Ni konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 97 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 92 ppm olarak bulunmuştur. Nikelin en geniş antropojenik kaynağı benzinin ve artık yağların yanmasıdır. Yağ, kömürden daha fazla Ni içerir. Kobalt'ın ortalama konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde yaklaşık 36 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde ise yaklaşık 22 ppm olarak bulunmuştur. Ortalama çinko (Zn) konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 159.3 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde ise 142 ppm olarak saptanmıştır. Topraktaki çinko seviyesinin yüksek oluşu çoğunlukla incelenen alandaki trafik emisyon kaynakları ile ilişkilendirilmektedir. Analiz edilen topraklardaki ortalama Cr içeriği üst kısımlarda 95 ppm, daha derindeki toprak toprak örneklerinde yaklaşık 73 ppm olarak bulunmuştur (Odat ve Alshammari, 2011).

Jung ve Thornton (1997) yaptıkları çalışmada Kore'de, içerisinde maden bulunan ve bir zamanlar yapılan madencilik aktivitelerinden etkilenen çeltik (pirinç) tarlalarının ağır metal kontaminasyon derecesini ve boyutunu incelemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada maden ocağına yakın yerlerdeki ve kontrol alanındaki çeltik toprakları, pirinç (*Oryza sativa* L.) bitkileri ve sulama suları civarında 6 çapraz çizgi boyunca örnekler alınmıştır. Toprak örnekleri pirinç dikiminden 30, 80 ve 150 gün sonra alınmıştır. Toprak örneklerinin farklı zamanlarda alınma amaçları toprağın kimyasal özelliklerinin ve ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini tespit etmek içindir. Pirinç bitkilerinden ve sulama sularından alınan örnekler farklı mevsimlerde alınmıştır. ICP-AES cihazı kullanılarak alınan örneklerde içerisinde Cd, Cu, Pb ve Zn metallerinin de yer aldığı 25

elementin analizi gerçekleştirilmiştir. Kore kontrol toprakları ile maden ocağı civarında alınan bazı örnekler haricinde toprak özellikleri (pH, kation değişim kapasitesi ve tekstürü) genellikle benzer çıkmıştır. Maden ocağına yakın yerlerden alınan çeltik toprakları, pirinç bitkileri ve sulama sularındaki Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları, madencilik aktiviteleri sırasında toprağa geçen ağır metal miktarlarından dolayı bir dereceye kadar yüksek çıkmıştır. Toprakların KDK'sı ve organik madde içeriği bir dereceye kadar (pirinç dikiminden 80 gün sonra) düşük bulunmuştur ($P < 0.05$). Kore topraklarında KDK değeri ortalama 8 ila 17 meq/100 g aralığındadır. Çünkü pirinç çamurlu veya ince taneli topraklarda yetişir, bu topraklarda oldukça yüksek bir silt fraksiyonu (% 70-75 kum, % 15-20 silt ve % 5-10 kil) bulunmaktadır (Jung ve Thornton, 1997).

1.5.2.1.1.2. Ligand (Merkezi Atoma Bağlı Atom, Molekül veya İyon) Değişim Reaksiyonu (Ligand Exchange Reaction)

Birçok metalik kation ve anyon bir ligand değişimi yoluyla yüklü mineral yüzeylerle iç taraftaki küre kompleksleri oluşturabilir. Spesifik adsorpsiyon ya da ligand değişim, kovalent bağların formasyonunu içerir. Kovalent bağlar güçlü ve kolayca yeri değiştirilmez. Hidrolize olabilen transiyon (geçiş) elementleri Cu, Cr ve As toprakta az miktarlarda bulunur, bu elementler oksitler ve oksihidroksitler ile toprak yüzeyinde bulunan iç taraftaki küre kompleksleri oluşturabilirler (Arisi, 2006).

1.5.2.1.2. Presipitasyon (Çökme) Reaksiyon Mekanizması

Bu mekanizmada Cu, Cr ve As topraktaki sekonder mineraller olarak çöktürülürler ve bu yüzden presipitasyon reaksiyon mekanizması olarak adlandırılırlar. Oksitler, hidroksitler ve karbonatlar çoğunlukla toprakta çöktürülürler (Arisi, 2006).

1.6. CCA Emprenye Maddesinin Çevre ve İnsanlar Üzerindeki Zararlı Etkileri

1.6.1. CCA'ya Maruz Kalma Sorunları

Arsenik doğal olarak oluşan bir elementtir ve genellikle çevrede çok düşük seviyelerde bulunur. İnsanlar hemen hemen her ortamda düşük seviyelerdeki arseniğe maruz kalırlar. Bu maruz kalma insanların büyük çoğunluğunda beslenme (yiyeceklerin tüketilmesi) yoluyla olmaktadır. Bazı balık ve kabuklu deniz hayvanları yüksek miktarda arsenik içerirler, fakat genellikle balık arseniği düşük toksisiteye (zehirliliğe) sahiptir. İnorganik arsenik oksijen, klorin ve sülfür gibi başka elementlerle birleşmekte ve böylece karbon-hidrojenden oluşan organik arsenikten çok daha toksik olmaktadır. Aslında inorganik arsenik bileşikleri insektisit (böceklere karşı etkili), ot öldürücü ve odun koruma maddesi olarak kullanılmaktadır (Gargiulo, 2000).

Krom ile ilgili yapılan çalışma sonuçları Cr (VI) iyonunun bir dozunun akciğer tümörü oluşumuyla ilişkili olduğunu göstermiştir (Gargiulo, 2000). Japonya, İngiltere, Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki krom üretim fabrikalarındaki işçilerin epidemiyolojik (hastalıkların insan gruplarındaki görülme sıklığını ve görülme sıklığını etkileyen faktörleri inceleyen bir disiplin) çalışmaları akciğer tümörü ve mesleki olarak kromdan etkilenme arasında bir bağıntı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca kromun spesifik formunun kanserin uyarılmasından sorumlu olduğu ve Cr (VI)'nin daha mutajenik bir etkisi olduğu sanılmaktadır (Gargiulo, 2000). Bununla beraber Cr (VI)'nin, çevrede sulu fazda iken birçok organizma için toksik olduğu (ortamdaki Cr (III)'ünde Cr (VI)'ya dönüşme olasılığı yüzünden riskli olduğu), topraktaki Cr (VI)'nin solunabilen küçük partiküllerden ve daha az oranda da olsa deri absorpsiyonundan dolayı deri iltihabı ve akciğer kanserine yol açtığı görülmektedir (Gürbüz, 2007).

1.6.2. CCA'ya Maruz Kalınan Ortamlar

Amerika Birleşik Devletleri'nde arsenik tüm zararlılara karşı kullanılan bir 'pestisit ve herbisit (ot öldürücü)' olarak bilinmektedir. Bazı ürünler, ot öldürücülerde aktif bileşenler olarak çoğunlukla organik arseniği kullanırlar. Diğer pestisitler bitkileri, böcekleri ve kemirgenleri öldürmek ya da odunu korumak için arseniğin inorganik formlarını kullanırlar. Bu pestisitlerin üretiminde ya da yükleme- boşaltma sırasında yeterli

emniyet prosedürlerinin takip edilmemesi insanların arseniğe maruz kalmasıyla sonuçlanmaktadır. Ortalamanın üzerindeki maruz kalma seviyeleri genellikle bir veya daha fazla durumla ilişkilendirilir. Bunlar;

- 1- İş yerinde arseniğe maruz kalma
- 2- Mesleki olmayan ortamlarda arseniğe maruz kalma
- 3- Çevrede arseniğe maruz kalma (Gargiulo, 2000).

1.6.2.1. İş Yerinde Arseniğe Maruz Kalma

Bakır ve diğer metallerin üretimini yapan iş yerlerinde çalışanların arseniğe maruz kalması söz konusudur. Bu üretim esnasında havaya sık sık arsenik salınır. Böylece tasfiye ocaklarındaki işçiler ve bu civarda ikamet edenler havada uçan yüksek arsenik seviyelerine maruz kalırlar. Pestisitlerin kullanılması (örneğin, meyve bahçelerinde, tarlalarda ve yol boyunca) toprak ya da su kontaminasyonuna neden olabilmekte ve daha fazla yayılarak o civarda ikamet edenlerin maruz kalmasına sebep olabilmektedir (Gargiulo, 2000).

1.6.2.2. Mesleki Olmayan Ortamlarda Arseniğe Maruz Kalma

Arsenik doğal olarak oluşan bir elementtir. Geniş miktarda arsenik içeren bazı coğrafik alanlarda arseniğin mineral tortuları (birikintileri) bulunmaktadır. Bu mineral tortular suda inorganik arsenik seviyesinin yükselmesiyle sonuçlanmaktadır.

Geçmişte, inorganik arsenik makyaj malzemeleri, boyalar, fare zehirleri gibi ev ürünlerinde kullanılmıştır ve astım, sedef gibi hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçlarda da kullanılmıştır. Şimdi bu ürünlerin genel kullanımı fazla değildir; bu yüzden de bu kaynaklardan dolayı arseniğe maruz kalma olası değildir. Ayrıca Wolmanitli kereste dış taraftaki güverte ve sundurmalarda kullanılmakta ve CCA içermektedir. Bu durum ev sahibi ve ailesinin arseniğe maruz kalması açısından bir potansiyel teşkil edebilir (Gargiulo, 2000).

1.6.2.3. Çevrede Arseniğe Maruz Kalma

Arsenik bazı atık-kimyasal yok etme alanlarında bulunabilir; ayrıca burada hangi kimyasal formda (inorganik ve organik) bulunduğu çoğu kez bilinmez. İnsan

aktivitelerinden dolayı ya da doğal mineral tortulardan dolayı toprakta arsenik seviyesi yükselebilmektedir. Bu toprağın da azıcık bir miktarını küçük çocuklar oynarken yutabilir ve böylece maruz kalma söz konusu olabilir.

Dahası, çoğu fosil yakıtlarda (yağ, benzin ve kömür) düşük seviyelerde arsenik bulunmaktadır. Enerji santralleri, endüstriyel fırınlar, sobalar ve otomobiller bu yakıtları kullanarak havaya düşük seviyelerde arsenik salmaktadırlar.

Arsenik çevreye karıştığı zaman spesifik karakteristiklere sahip olur. Örneğin; suda çabucak çözünmez, buharlaşmaz, bozulmaz, tükenmez ve parçalanmaz. Sulu (aquatik) çevredeki balıklar ve özellikle Çin'de yiyecek olarak bolca tüketilen deniz kabuklularının dokularında organik arsenik birikebilmektedir. Arsenik bir formdan başka bir forma geçme potansiyeline sahiptir ve zamanla havada daha geniş alanlara yayılabilmektedir (Gargiulo, 2000).

1.6.3. Arseniğin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Arsenik besin, solunum ya da deri absorpsiyonu yoluyla insan vücuduna girebilmektedir. Mideye alınan fazla arsenik mide ve bağırsaklar tarafından çabucak absorbe (emilme) edilir. Arseniğin farklı kimyasal formları bir dereceye kadar değişmesine rağmen kana karışabilir. Arsenik solunumla alındığı zaman akciğerler tarafından iyi absorbe edilmekte, kan dolaşımına karışmaktadır. Küçük miktardaki arsenik deri absorpsiyonu yoluyla vücuda girebilmektedir. Çoğu arsenik vücut içerisinde absorbe edilebilmekte ve karaciğer tarafından daha az toksik bir forma dönüştürülerek idrar yoluyla yeterince dışarı atılabilmektedir. Bundan dolayı arsenik vücut dışında yüksek seviyelerde olmasına rağmen vücutta çoğalma eğilimine sahip değildir (Gargiulo, 2000).

İnorganik arsenik, organik formdan daha toksiktir. İnorganik formdaki arsenik insanı zehirler ve daha fazla dozu ölümlle sonuçlanabilir. Daha düşük seviyelere maruz kalma ise zarar verici sistemik (vücut sistemiyle ilgili) etkilerle sonuçlanabilir. Yaygın semptomları yemeyle ilgilidir. Sindirim kanalı-organı tahriş olur ve buda ağrı, mide bulantısı- kusma ve ishal ile sonuçlanır. Yememin diğer tipik etkileri kırmızı ve beyaz kan hücresi üretiminin azalması, anormal kan ritmi, kan damarı hasarı, karaciğer ya da böbrek tahribatı ve bozulan sinir fonksiyonundan dolayı eller ve ayaklarda hissetmemeye (iğne, diken vb.) sebep olur (Gargiulo, 2000).

Yemek yeme ya da su içme yoluyla yutulan yüksek inorganik arsenik seviyeleri ölümcül olabilir. Yüksek seviyelerdeki arsenik (yiyecek ya da suda 60 ppm) sınırlar, mide, bağırsaklar ve deri gibi birçok dokuda hasar meydana getirir. Hayvansal araştırmalar göstermiştir ki gebelik esnasında ağızdan alınan yüksek dozlar fetus'a (anne karnındaki bebek) zarar verebilmektedir, fakat bu etki insanlarda çalışılmamıştır. Belki inorganik arseniğe ağız yoluyla maruz kalmanın birçok karakteristik sistemik etkisinden biri de deri anomalileridir. Bu anomalilerden birinde deride koyu ve açık noktalar görülebilmekle beraber diğerinde ise avuç içinde, ayak tabanlarında ve vücutta küçük nasırlar görülebilmektedir. Bunlar deri değişirken bir sağlık sorunu olarak dikkate alınmaz, bazı nasırlar nihayetinde deri kanseri yönünde gelişme gösterebilir. Dahası, arsenik yutmanın vücut içerisinde özellikle karaciğer, idrar torbası, böbrek ve akciğerde kanser riskini artırdığı rapor edilmiştir (Gargiulo, 2000).

Suluk alma sırasında toz veya gaz halindeki inorganik arseniğe maruz kalma, ağız yoluyla maruz kalmada olduğu gibi aynı tip sistemik sağlık etkilerini oluşturabilmektedir. Ancak bu durum yaygın değildir, mevcut etkiler genellikle iyi huylu olmaktadır. Nefes alırken yüksek seviyelerde arsenik almak boğaz ağrısı-faranjit ve tahriş olmuş akciğerlerle sonuçlanabilir. Çok daha büyük olan bir endişe varsa oda solunumla alınan arseniğin akciğer kanseri riskini artırmasıdır. Bu durum, havada uçan yüksek miktarlardaki arseniğe maruz kalan tasfiye ocaklarında çalışan işçilerde veya o civarda ikamet eden insanlarda fazlasıyla gözlenmiştir. Ayrıca daha düşük arsenik seviyeleri de akciğer kanseri riskini aynı derece de artırabilmektedir. Arsenik bileşikleriyle direk deri teması havada uçan inorganik arsenik tozlarından dolayı sıklıkla gerçekleşmekte ve buda deride ve gözlerde görülen hafif şiddetteki bir tahriş olayıyla sonuçlanabilmektedir (Gargiulo, 2000).

CCA ile empenye edilmiş odundan inşa edilmiş olan oyun parkı ekipmanlarında oynayan çocukların el ve ağız aktivitelerinden dolayı arsenik ve kroma maruz kalmaları potansiyel bir endişe teşkil etmektedir. Hamula ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada oyun parklarında oynayan 139 çocuğun ellerindeki hem çözünür hem de toplam Cr seviyelerini ölçmeye çalışmışlardır. Burada ölçüm yapılan oyun parklarının 8 tanesi CCA ile empenye edilmiş odundan, diğer 8 tanesi ise empenye edilmemiş odundan inşa edilmiş olan oyun parklarıdır. Burada çocukların yaşı ve oyun oynama süreleri kaydedilmiştir. Oyundan sonra her çocuğun elleri deiyonize su ile yıkandıktan sonra bir çanta içerisinde bu sular toplanmıştır. Sonrasında ELAN 6000 ICP-MS (Perkin-Elmer/Sciex) cihazı kullanılarak Cr ve diğer 20 elementin (Arsenik, Berilyum, Baryum, Bizmut, Kadmiyum, Kobalt, Bakır,

Demir, Galyum, İndiyum, Magnezyum, Manganez, Nikel, Kurşun, Rubidyum, Selenyum, Stronsiyum, Talyum, Vanadyum ve Çinko) analizleri yapılmıştır. CCA ile emprenye edilmiş odundan inşa edilen oyun parklarında oynayan 63 çocuğun ellerindeki toplam Cr ortalaması $1,112 \pm 1,089$ ng (ortalama, 688; aralık, 78-5,875), CCA ile emprenye edilmemiş odundan inşa edilen oyun parklarında oynayan 64 çocuğun ellerindeki toplam Cr ortalaması 652 ± 586 ng (ortalama, 492; aralık 61-3,377) olarak saptanmıştır. Bu 2 grup arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, CCA ile emprenye edilmiş odun ile direk temastan dolayı çocukların ellerinde Cr ve As seviyelerinin yüksek olduğunu akla getirmektedir (Hamula ve ark., 2006).

1.6.3.1. Doz ve Etkilenme İlişkileri

Yapılan çalışmaların çoğu göstermiştir ki arseniğe karşı insanlar, hayvanlardan daha duyarlıdır. Hayvanlar üzerindeki çalışmalar arseniğin insanları etkileyecek seviyeye ulaştığını önceden haber vermek için yapılmaktadır (hayvansal çalışmaların çoğunda olduğu gibi). İnsanlar üzerinde yapılan çalışmalar, bireyler arasında dikkate değer bir değişkenlik olduğunu göstermektedir. Bu yüzden de endişe aralıklarını kesin olarak tespit etmekte zordur. Örneğin; bazı insanlar yüksek seviyelerde arsenik yutabilir ve görünüşte herhangi bir hastalık etkisi görülmez. Ancak daha duyarlı bireylerin maruz kaldığı ortamlarda yaklaşık olarak $20 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{gün}$ (yetişkin bir insan için yaklaşık 1000 ila $1500 \mu\text{g}/\text{gün}$) gibi ağız yoluyla alınan hafif dozlarda bile arsenik toksisitesinin karakteristik izlerinin çoğunu ya da birini göstermeye başladığının görülebildiği bildirilmiştir (Gargiulo, 2000).

1.6.3.2. Vücuttaki Arsenik Seviyesinin Ölçülmesi (Biyo Deneyler)

Maruz kalınan arsenik miktarını, idrardaki arsenik seviyelerini ölçerek tespit edebilmek mümkündür. Bu testler ölçümün güvenilirliği açısından maruz kalma gerçekleşikten en fazla 1-2 gün içerisinde gerçekleştirilmelidir. Bazı zamanlar kronik maruz kalmaları saptamak için saç veya tırnaklardaki arsenik ölçümü yapılır, fakat bu yöntem arseniğin düşük seviyelerinin saptanmasında çok güvenilir değildir (Gargiulo, 2000).

1.7. Ağaç Tel Direklerinde Görülen Tahribatlar

Tel direklerinin emniyeti ve güvenilirliği açısından tel direklerinde görülen çeşitli tahribatlar ve çürüklüklerin arkasındaki çeşitli çürüme şartlarını ve faktörlerini belirlemek, etkili bakım-onarım stratejilerine karar vermek bakımından çok önemlidir. Kullanım yaşı tel direklerinin dayanıklılığını etkilemektedir. Genelde, direğin yenisiyle değiştirilme oranı direk popülasyonunun yaşı ile artmaktadır. Tel direklerindeki dayanıklılık terimi; istenilen veya belirlenen bir fonksiyonu gerçekleştirmede sistem veya bileşenin kapasitesi olarak tanımlanır. Basit bir şekilde de; çürüklüğe karşı dayanabilme olarak da ifade edilebilir. Odunun daha dıştaki kısmı diri odun diye adlandırılır ve normalde daha parlak renktedir, daha az dayanıklıdır ve daha fazla rutubet içerir. Daha iç kısmı kuru, dayanıklı, hücreler ölüdür ve öz odun diye adlandırılır.

Tel direklerinin dayanıklılığı rutubet içeriğinden etkilenir. Rutubet içeriği % 30 civarına düştüğü zaman lif doygunluk noktası oluşur. Odun materyalinin çürümesi oksijen ve rutubet varlığında yoğun olur, çünkü bu durum aerobik mikroorganizmaların (bakteri, mantar vb.) gelişmesine ve metabolik aktivitesine olanak sağlar. Tel direği rutubet içeriği % 20'den daha fazlaysa mantarların odunu degrade edebilme süresi uzayabilmektedir. Yapılan analizler gösteriyor ki ağaç tel direklerindeki bozulmaların çoğu toprak seviyesinin altında ve direk direncindeki azalmadan dolayı meydana gelmektedir. Bu nedenle direğin toprak hattındaki durumu kritiktir. Odun liflerinin dayanıklılığı özellikle üstten direnç gösteren eğilme yükünde önemlidir. Etkili toprak faktörlerinden dolayı direğin lif dayanıklılığında ve çapında azalma başlar. Bu faktörler artan mantar ve böcek (termit) saldırısıyla merkezden dışa doğru ya da dıştan merkeze doğru liflerin çürümesine sebep olabilir. Termitler tel direklerini barınak ve yiyecek kaynağı olarak kullanırlar (Rahman, 2003).

1.7.1. Mantarların Neden Olduğu Çürüklükler

Makinelerin tel direkleri üzerinde bıraktığı hasar alanları ve çatlaklar görsel inceleme esnasında dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Kurutma çatlaklarının boyutu ve lokasyonu (yeri) not edilmelidir. Genellikle daha geniş olan çatlaklar daha derine iner ve empenye edilmemiş öz odununun da çürüklüğe maruz kalmasına olanak sağlar. Çürüklük sadece ilerlemiş aşamalarda görülebilmektedir. Odunda mantarların varlığı gözle görülebilir

derecede gelişim göstermemişse; sadece alt kültüre alınarak ve odunun mikroskopik olarak incelenmesi yoluyla çürüklük belirlenebilir. Douglas-fir direklerindeki gözle görülebilir çürüklük alanları erken çürüme aşamasında 122 cm veya daha fazla bir mesafeye kadar uzayabilmektedir. Direklerdeki yüzey çürüklüğü genellikle toprak hattının altında ilk 30 ila 45 cm derinlik arasında oluşmaktadır. Bu yüzden yüzey çürüklüğünü tespit etmek için genellikle kazmak gerekmektedir. Toprak hattında periyodik olarak yapılan koruyucu işlem uygulamaları yüzey çürüklüğünü önleyebilmektedir (Hamm, 1992). Tel direklerinin toprağa gömülü olan kısımlarının çürümesinde etkili olan yaygın tipler şunlardır:

- **Esmer çürüklük:** Bu tip çürümede mantarlar odun hücre çeperi bileşeni selülozu tüketmekte ve geriye lignin kalmaktadır. Lignin, hücreleri bir arada tutma görevini yapar. Hasara uğratılmış odun gözle görülebilir derecede çürümemiş olsa bile önemli ölçüde zayıflayabilmektedir. İlerlemiş esmer çürüklük istilaları odunun normalden daha kahverengi bir hale gelmesinden, karşıt lif çatlağı (kübik) göstermesinden anlaşılabilir (Wang ve Zabel, 1990; Yıldız, 2000; Schwarze, 2007). Başta istila edilmiş olan odun kuruduktan sonra ezildiği zaman toz haline dönüşmektedir. Çoğu kez esmer çürüklük hasarları zaman geçtikçe tamamen kuruduğu zaman ‘kuru çürüklük’ olarak da tanımlanmaktadır (Rahman, 2003).

- **Beyaz çürüklük:** Beyaz çürüklükte hem lignin hem de selüloz bozundurulmaktadır. Odun rengini kaybetmekte ve normalden daha beyaz görünmektedir. Beyaz çürüklükte normalde kübik çatlaklar oluşmamakta ve birkaç kez degrade olduğu zaman odun büzülmekte ve çökeltmeler meydana gelmektedir. İstila edilen odun git gide direncini kaybetmekte ve dokunulduğunda süngerimsi bir yapı göstermektedir (Wang ve Zabel, 1990; Rahman, 2003; Schwarze, 2007).

- **Yumuşak çürüklük:** Yumuşak çürüklük başlangıçta direğin dış yüzeyinde gözle görülebilmekte ve zamanla da direğin merkezine doğru ilerleyebilmektedir. Bu tip çürüme direğin dış yüzeyinin kazılmasıyla anlaşılabilir (Wang ve Zabel, 1990; Rahman, 2003; Schwarze, 2007).

Dış yüzey çürüklüğü toprak seviyesinde veya altında çok yaygındır. Direklerin yaşından dolayı koruyucuların etkinliği azalmaya başlamakta ve böylece dış tarafta çürüklük gelişimi olabilmektedir (Hamm, 1992).

Pearson ve arkadaşları (1958) Avustralya'nın Queensland eyaletinde yaptıkları çalışmada, tel direklerindeki diri odunda yumuşak çürüklüğü belirlemişler ve direğin sertlik derecelerinde de durmadan bir değişim olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumdaki

direğin gerekli empenye işlemine tabi tutulmadığı takdirde hizmet süresinin % 75 azalmasıyla sonuçlanacağı dile getirilmiştir (Rahman, 2003).

1.7.2. Böceklerin (Termitler, Odun karıncaları vb.) Oluşturduğu Hasarlar

Direklerin empenye edilmemiş olan iç kısımlarındaki hasarları (yer altı termitleri ve odun karıncalarının oluşturduğu) tespit etmek zordur. Özellikle termitlerin odun içerisindeki varlığı direk devrilene kadar dışarıdan belli olmamaktadır (Tsang ve Chan, 2008). Ayrıca böceklerin açtığı yenik yollarından içeriye çürüklük mantarları da girebilmekte ve böylece oduna sık sık birlikte zarar verebilmektedirler. Ayrıca bir odun karıncası (kırmızı odun karıncası) istilası olduğu zaman çoğu fibrilin dağılmış parçaları ve talaş gibi kırıntıları alanda bulunabilmektedir (Hamm, 1992).

1.7.3. Vertebralı (Omurgalı) Organizmaların Oluşturduğu Hasarlar

Ağaçkakan gibi omurgalı organizmaların tahribatı genellikle görünürdür. Uzun direkler incelendiği zaman dürbün kullanılmalıdır. Eğer hasar yeniyse, hasar türünün tespiti açısından oyulan oyuktan çıkan kırık odun parçaları toprakta bulunmalıdır (Hamm, 1992).

Ağaçkakan hasarı ilgilenmeyi gerektirir. Bu hasarı önlemek için birçok yöntem kullanılmıştır, fakat başarı sağlanamamıştır. Ağaçkakan rast gele bir direği seçer ve birinci ağaçkakan gelir, direği oymaya başlar. Bu oyma işlemi diğer ağaçkakan saldırılarına zemin hazırlar. Bu yüzden yapılması gereken bakım pratiği daha küçük oyukları kapamaktır. Çeşitli materyaller oyukları tıkmak için kullanılabilir ve tıkanan bu oyukların etrafı da tel bir ağ ile sarılabilir (Berger, 1996).

1.7.4. Mekaniksel Hasarlar

Mekaniksel hasarlar genellikle toprak seviyesinden birkaç fit yukarıda rahatlıkla görülebilmektedir. Örneğin; uygunsuz yükleme- boşaltma esnasında meydana gelen mekaniksel hasarlar ve çatlaklar tel direği içerisine çürüklük mantarlarının ilerlemesine sebep olabilir (Hamm, 1992).

1.7.5. Çevresel Faktörler

Odun ormanlardan üretilmekte ve yetiştirme şartları odunun mekaniksel performansını güçlü bir şekilde etkilemektedir (Benoit ve Sandoz, 1996). Tel direklerindeki bozulma işlemlerinde etkili olan çevresel faktörler; toprak durumu (killi, kumlu veya asidik), iklim ve dış hava koşulları, ıslanma ve kuruma döngüsü, rüzgâr hızı, yağış miktarı ve sıcaklıktır. Toprak bileşimi ve özellikleri (fiziksel ve kimyasal) gibi çevresel faktörlerin topraktaki çürümeye etkisi iyice araştırılmamıştır.

Topraktaki yüksek nem içeriği biyolojik saldırıları tetiklemektedir. Killi topraklarda nem ve kimyasallar toprak içerisinde tutulmaktadır. Bu durum alg, yosun ve mantar gelişmesine ve bu canlılarında oduna saldırarak hızla bozundurmalarına olanak sağlamaktadır. Diğer bir taraftan kumlu toprakların permeabilitesinden (geçirgenlik) ve kohezyonsuz (öz yapışkanlığı olmayan) özelliklerinden dolayı kumlu topraklar biyolojik saldırıdan korunmaya ve drenaja (suyun akıp gitmesine) olanak sağlamaktadır (Rahman, 2003).

Foliente ve arkadaşları (2001) yaptıkları çalışmada; Avustralya topraklarını çürüklük tehlike sınıfına göre 4 bölgede gruplandırmışlar ve bunu da topraktan kaynaklanan odundaki çürümenin görülme sıklığına göre yapmışlardır. Onların yaptığı araştırmalara göre doğu kıyı (kotsal) alanları en yüksek çürüklük tehlikesi oranlarına sahiptir. Diğer taraftan kumlu merkez alanlar en düşük toprak çürüklüğü tehlikesine sahiptirler.

Diğer bir çalışmada Gezer ve ark. (2005), Doğu Karadeniz Bölgesinde (Trabzon, Rize ve Artvin) CCA ile empenye edilmiş tel direklerine bitişik farklı derinlik ve mesafelerdeki topraklarda Cu, Cr, As seviyelerini tespit etmeye çalışarak bu durumun toprak özellikleriyle (su tutma kapasitesi, pH, tekstür) ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Aşağıdaki çeşitli toprak değişkenleri, toprak içerisindeki ağaç malzeme bileşenlerinin bozunabilirliğini etkileyebilmektedir;

1.7.5.1. Topraktaki Nem İçeriği

Toprak içinde gömülü olan ağaç malzeme bileşeninin güvenilirliği hususunda toprağın nem içeriği önemli bir özelliktir. Toprağın yapısıyla ilgili olarak elde edilmiş olan Queensland Endüstrisindeki ham veriler, Queensland bölgesindeki siyah killi alanlarda bulunan tel direklerindeki çürüklüğün, Avustralya'daki diğer alanlara göre daha fazla

olduğunu göstermiştir. Kil mineralleri mikroskobikten submikroskobik (mikroskopla görülemeyecek kadar küçük) kristallere doğru bir eğilim içerisinde dirler. Kil mineralleri rutubet değişiklikleriyle suyu absorbe ederek tutar veya kaybeder. Çürüme direk toprakla ya da çimentoyla veya betonla temas halinde olan ve yağmur yoluyla rutubetlenen emprenye edilmemiş ahşap malzemede meydana gelmektedir (Rahman, 2003).

1.7.5.2. Toprak pH Değeri

Toprakta zemin suyunun aşırı asidik veya bazik oluşu toprakta gömülü vaziyette bulunan odun, beton veya metalden yapılmış bileşenlerde zararlı etkiler gösterebilmektedir. Asidiklik veya baziklik toprak suyunun pH değerine göre tanımlanmaktadır (Rahman, 2003).

1.7.5.3. Kimyasal Kompozisyon

Kaolin (arıkil), kuvarz (billurlaşmış silisin doğadaki çok yaygın türü), klorit ve diğer kimyasalların varlığı toprakla temas halindeki ağaç malzemelerin çürümesinde önemli rol oynamaktadır (Rahman, 2003).

1.7.5.4. Tuzluluk

Klorit (bazı zamanlar sülfat, karbonat veya magnezyum) içeriği tuzun bir belirtisidir. Yüksek tuzluluk odunun veya betondaki elik takviyenin çürümesine sebep olabilmektedir. Tuzlarda görülen bir artış toprak içerisine gömülü ahşap malzeme açısından tehlikeli olabilmektedir (Rahman, 2003).

1.7.5.5. Elektriksel İletkenlik

Toprak tuzunda bulunan çözünebilir tuzları belirlemek için kullanılmaktadır (Rahman, 2003).

1.8. Tel Direklerindeki Tahribatların Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleriyle Tespiti

1.8.1. Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleri (NDE)

Hasarsız test yöntemleri, incelenen malzemeye zarar vermeden, yapı hakkında bilgi sahibi olmak için uygulanan kontrol teknikleridir. İncelenilen hasar tipine göre uygun teknik seçilmekte ve yetkili kişiler tarafından test yöntemleri uygulanabilmektedir.

Hasarsız test yöntemleri ile tel direği iletişim ağı ve enerji nakil hattı yönetiminde şu isteklerin yerine getirilmesi amaçlanmaktadır:

- Hat çalışanlarının güvenliğini sağlamak,
- İletişim ağı işletme-yönetim garantisi,
- Tatmin edici organizasyon (maliyetleri minimize etme, kullanıcıya kolaylık sağlama vb.), bakım, tamir işlemleri ve yenisiyle değiştirme optimizasyonu (URL-2).

Ağaçlarda dış taraftan belli olmayan bozulmaları özellikle iç taraftaki çürüklüğü takip etmek orman yönetimi açısından bir sorundur. Bozulma görülen ağaçlardaki kusurlar hasarsız test yöntemleriyle tespit edilebilmekte ve böylece bir ekim alanı içerisinde zararlı olabilecek ağaçlarda teşhis edilmiş olmaktadır. Bu sayede hasarsız test yöntemleriyle ekim alanı şartlarını iyileştirmek ve çürüklüğün yayılmasını önlemek mümkün olmaktadır (Bucur, 2005; Lin vd., 2008). Ayrıca ağaç malzemedeki çürüklüğün erken aşamalarını tespit etmek büyük bir sorundur (Morrell ve Rhatigan, 2002). Çürüklüğün erken aşamalarının tespitinde mikroskopik inceleme ve geriye kalan odunun kültüre alınması güvenilir olan tek yoldur (Hamm, 1992; Morrell, 1996).

Odun bileşenlerinin direnç karakteristiklerini belirlemede kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlar geleneksel testler ve hasarsız testler olmak üzere 2 sınıfa ayrılmaktadır; gözle görülebilir inceleme, bir çekiçe ses çıkarma, ekskavasyon (kazma) ve delme teknikleri geleneksel tekniklerdir. Bu testlerin nicel olarak değerlendirilememesinden dolayı elde edilen bilgiler de sınırlıdır ve yanıltıcı sonuçlar elde edilebilir. Bu geleneksel tekniklerle kusurların belirlenmesinde denetiminin tecrübesine ve sağduyusuna güvenilir (Berger, 1996; Rahman, 2003). Hasarsız teknikler (sonik cihazlar, ultrasonik cihazlar, shigometer vb.) ticari olarak başarılı tekniklerdir ve hizmet alanında herhangi bir rahatsızlık (aşırı gürültü, taşımada ağırlık vb.) vermeden kusurlu alanların yerini saptayabilmektedirler. Ayrıca hasarsız teknikler kusurlu olan bu alanların daha tehlikeli

hale gelmeden önce gerekli bakım-onarım işlemlerinin yapılmasına olanak sağlamalarıyla birlikte direklerin kalan direncini de tahmin edebilmektedirler (Rahman, 2003).

Seavey ve Larson (2002) yaptıkları çalışmalarda ağaç malzemedeki yapılmış köprülerde meydana gelen çürüklükleri hem geleneksel hem de hasarsız test teknikleriyle incelemiştir. Hasarsız test yöntemlerinin çok avantaj sunmasının yanında pahalı ve zaman alıcı olmasından yakınmışlardır. Bazı hasarsız test teknikleri son zamanlarda tomografik incelemeler yapmak için geliştirilmiştir. Tomografi nesnenin içinden geçen enerjiyi ölçme yoluyla ve nesne üzerinde gerçekleştirilen ölçümler sayesinde bir cihaz vasıtasıyla enine kesitin rekonstrüksiyonuna (canlandırımına) dayanmaktadır (Lin vd., 2008). Çeşitli hasarsız teknikler bugün keresteyi sınıflandırmada da kullanılmaktadır. Bunlar; gözle görülür sınıflandırma, ultrases, MSR (Makine Stres Oranı), stres dalgaları ve transvers vibrasyondur (Sales vd., 2011).

1.8.2. Tel Direklerindeki Tahribatların Tespitinde Kullanılan Geleneksel Yöntemler

Tespit çalışmalarının çeşitli tipleri vardır ve her birinin doğruluk seviyesi ve maliyeti farklıdır. Düşük doğruluk seviyesi gösteren yöntemler kullanıldığı zaman verilerin doğruluğu açısından sık sık yeniden inceleme yapılması gerekmektedir.

Benoit ve Sandoz (2005) bildirdiğine göre; hem Avrupa’da hem de Kuzey Amerika’da hasarsız teknolojiyle kontrol edilen 60.000’den fazla direk üzerine yoğunlaşan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Polux cihazıyla farklı yıllarda (1996, 2000, 2001 ve 2002), farklı ülkelerde (Kuzey Amerika, Avusturya, İsviçre), farklı empenye maddeleriyle empenye edilmiş (Pentaklorfenol, CCB) ve farklı ağaç türlerinden (ladın, kırmızı ardıç, kırmızı çam, güney çamı, karaçam) elde edilmiş olan tel direklerinde aynı yıl periyotlarında, aynı sıcaklıklarda yapılan ölçümlerde tel direklerinin mekanik dirençlerinin ortalama kullanım ömrüne bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Direklerde beklenen kullanılabilirlik ömrünü hesaplarken her ülkenin farklı problematiğini, farklı işlemlerini ve farklı türlerini de hesaplama içine alarak çalışmışlardır.

1.8.2.1. Gözle Görülebilir İnceleme

Tel direklerini inceleme yöntemleri arasında en kolay ve en düşük maliyetli olanıdır, bununla birlikte en düşük doğruluğa sahiptir. Çünkü çürümelerin çoğu toprak altında ya da iç kısımlarda olmaktadır. Bu yüzden de devam eden çürüklüğün büyük bir kısmı görsel olarak tespit edilememektedir. Bu nedenle bu yöntem pek tavsiye edilmemektedir (Berger, 1996; Sandoz vd., 2011). Deneyimli bir teknisyen bir el feneri ve prob (çubuk) kullanarak daha başarılı olabilir. Ağaç malzeme üzerindeki su lekeleri çürümenin olabileceği yüksek rutubet alanlarını belirtmesi açısından önem taşımaktadır (Hamm, 1992; Seavey ve Larson, 2002). Paslanmış çivi başları, vidalar odunun ıslak olduğunu gösterir. Çatlaklarda veya odun yüzeylerinde fark edilebilir bir yosun vb. büyümesi varsa bu durum tehlikeli ıslaklık seviyesinin bir kanıtıdır. Bu durumlar özellikle ağaç malzemelerdeki birleşme yerlerinde yaygındır (Hamm, 1992).

1.8.2.2. Ses Çıkarmak ve Delik Açmak

Ses çıkarma ve bir matkap ile delik açma iç taraftaki çürüklüğü tespit etmede kullanılan en yaygın yöntemlerdir (Morrell ve Rhatigan, 2002). Ses çıkarma metodu bir inceleme uzmanının eline aldığı bir çekiçle direğin toprak hattından başlayıp ulaşabildiği yere kadar vurarak direktten gelen sesi algılayıp boşlukları tespit etmesine dayanmaktadır. Tecrübeli bir denetimci çıkan sesleri dinleyerek direk hakkında fikir sahibi olabilmektedir (Hamm, 1992; Berger, 1996; Morrell, 1996; Morrell ve Rhatigan, 2002). Sağlam bir direğe vurulduğunda çekiç, iç tarafta bir çürüme boşluğuna sahip bir direğe vurulduğundakine kıyasla daha fazla geri seker. İç taraftaki boşluk 'donuk-küt- bidon gibi' bir sese sahip olur ve sağlam karakterdeki bir direk bölgesinden çıkan 'canlı' veya 'tiz' bir ses ile karşılaştırılır (Hamm, 1992; Morrell, 1996; Berger, 1996; Seavey ve Larson, 2002; Tsang ve Chan, 2008). Buna karşın kurutma neticesinde oluşan yüzey çatlakları, içteki çatlaklar ve budaklar sesi etkileyebilmektedir. Bu nedenle şüpheli alanlar delinebilir veya artım burgusuyla örnek alınabilir (Morrell, 1996).

Bazı inceleme yöntemleri bütün direklerin delinmesini gerektirir, bazı yöntemler ise sadece çürümeden şüphelenildiği zaman delmeyi gerektirir. Delme genellikle ya artım burgusu ya da güç matkabıyla (3/8'lik uç) yapılmaktadır. Tecrübeli bir denetimci çürümüş odunla karşılaştığı zaman matkaba karşı olan dirençte bir değişiklik olduğunu fark ederek

çürüklük olup olmadığını tespit edebilmektedir. Talaş çıkarma ya da burgulama odunun durumunu tespit etmek için kullanılabilir ve burgulardan retensiyon ve penetrasyon seviyeleri de belirlenebilir. Oyuklar (direk içerisindeki) ortaya çıkarıldığı zaman oyukların boyutunu ölçmek için bir shell thickness indikatör kullanılabilir. Bu bilgiler oyuktan kaynaklanan dirençteki azalmayı tahmin etmede kullanılabilir (Berger, 1996).

Ses çıkarma ve delme yönteminin etkinliği farklı türlere göre değişmektedir. Ses çıkarma ve delme yöntemleri toprak üstünde ve iç tarafta bulunan boşlukları tespit edebildiği zaman, muhtemelen direk toprak altında yaygın bir hasara sahiptir. Ses çıkarma ve delme yöntemi douglas çamı ve kırmızı ardıç ağacından elde edilen direklerde daha fazla etkilidir. Bu direklerdeki çürüme muhtemelen toprak hattına yakın iç kısımlarda başlamakta ya da douglas-çamı direklerinde olduğu gibi toprak üstünde başlamaktadır. Böylece ses çıkarma ve delme sayesinde en azından toprak hattında ciddi şekilde hasar oluşmadan önceki bir aşamada bazı çürümeler teşhis edilebilmektedir. Bütün delmeler oyuğun çapına göre boyutlandırılmış, emprenyeli bir tıpayla tıkanmalıdır. Ses çıkarma ve delme yöntemi douglas-çamı ve kırmızı ardıç ağacından elde edilen direklerin incelenmesinde tavsiye edilmektedir, fakat güney çamı ağacından elde edilen direklerde ekskavasyon (kazma) işlemiyle kombinasyon halinde kullanılmalıdır (Berger, 1996).

1.8.2.3. Kazma (Ekskavasyon)

Ses çıkarma ve delme işlemlerinin etkinliği, kazma işlemiyle birlikte yapıldığı zaman geniş ölçüde artmaktadır. İnceleme için direğin en hassas kısmı kazılır. Bu özellikle güney çamı direkleri için geçerlidir. Çünkü bu türlerden elde edilen direklerde çürüme toprak altında ve dış taraftan başlamaktadır (Berger, 1996).

Çoğu yerlerde direkler 18 inç (45 cm) derinliğe kadar kazılmalıdır. Kuru iklimlerde derin kazmak gerekebilir (Berger, 1996; Morrell, 1996). Kazma işleminden sonra, çürümeye maruz kalan direk yüzeyi erken yüzey çürüklüğünü belirlemek için temiz bir şekilde kazınmalıdır. En iyi sonuçlar 3 köşeli kazıma aletleriyle elde edilebilmektedir (Berger, 1996; Morrell, 1996). Dış taraftaki çürüme ve çürüme boşlukları özel dizayn edilmiş bir yongalayıcı yardımıyla direktten uzaklaştırılmalıdır. Balta ya da el baltaları bu uygulamada asla kullanılmamalıdır. Bu işlem neticesinde azalan çevre çapından dolayı (yongalama sebebiyle) direk kesitinin geri kalan kısmının, yeterli dayanıklılığa sahip olup olmadığının belirlenmesi açısından ölçüm yapılmalıdır. İnceleme işlemi ve koruyucu

işleme tabi tutma çalışması tamamlandıktan sonra çukur bir seferde yeniden toprakla doldurulmalı ve her 15 ila 20 cm' de bir tokmaklanarak sıkıştırılmalıdır. Direğin çevresindeki toprak gelecekteki çökme ve drenaj gibi durumlar için tümsek yapılmalıdır (Berger, 1996).

1.8.2.4. Çürümemiş Odun Kalınlığı Ölçer (Shell Thickness İndikatör)

Çürümemiş odun kalınlığını belirlemek için odunun sağlam olmasına gerek yoktur. Delerek veya artım burgusu örneği alınarak açılan oyuk içerisine ince metal bir çubuk sokularak bu işlem gerçekleştirilebilmektedir. Metal çubuk geri çekildiği zaman, uçtaki çengel kıvrımın ucuyla çürük boşluğun kenarı fark edilebilmektedir. Bir boşluk içerisine shell thickness indikatörü itildiği zaman bir yıllık halkadan diğerine geçen (katı odunda) kıvrım tipi hissedilebilmekte fakat çürük odunda hissedilememektedir (Hamm, 1992; Morrell, 1996). Çürümemiş odun kalınlığını farklı delme açılarında göstermek için çubuğun kenarlarında genellikle 45° ve 90°'lik izler kazılmaktadır. Çubuk, bazen geriye kalan çürümemiş kısmın kalınlığını biraz fazla tahmin etse de tehlike altında olan direklerin tespitinde yararlı bir alettir. Çubuklar ev yapımı olabilmekle beraber tel direği inceleme acentelerinden de temin edilebilmektedir (Morrell, 1996).



Şekil 4. Shell Thickness Indicator

1.8.2.5. Artım Burgusu ile Örnek Alma

Artım burgusu, ormancılık ve ağaç malzeme teknolojisinde yararlı bir cihazdır. Artım burgusuyla örnek almanın ağaç açısından tahribatsız olduğu düşünülmektedir (Bucur, 2005). Artım burguları ağaçların büyüme oranlarının ve yaşlarının belirlenmesi, odun özelliklerinin değerlendirilmesi, çürüklük tespitinin yapılması, direklerde ve kirişlerde koruyucu penetrasyonunun belirlenmesi gibi birçok çalışmada kullanılmaktadır (Maeglın, 1979; Bucur 2005). Uzun yıllardır özgül ağırlık ve lif uzunluk saptamaları artım burgusu örnekleri kullanılarak yapılmaktadır (Maeglın, 1979). Artım burguları çelik, içi boş uçlara sahiptir ve bu uçlar odun merkezlerini almak için kullanılmaktadırlar (Morrell, 1996). Burgu almayı hızlandırmak ve pahalı uçların kırılmasını azaltmak için önce 1/2 inç (1.25 cm) derinliğinde ve 3/8 inç (yaklaşık 0.9 cm) çapında bir çukur açılmalıdır. Bu çukur açma işlemi de bataryayla güçlendirilmiş bir matkapla veya bir çekice monte edilmiş aynı çaptaki bir delgiyle yapılabilmektedir. Eğer delme direnci artarsa daha derine gitmeden burgu almaktan vazgeçilmelidir. Alışılmadık veya beklenmedik bir zorlama ucu kırabilmektedir. Burgu uçları vaks veya sabunun nemlendirilmiş bir kalıbıyla ovalanarak delmenin kolaylaşması sağlanabilir. Sağlam, güzel burgular alabilmek için, artım burgusu direğe 90°'lik bir açıyla tutulmalı ve yıllık halkaları bir uçtan diğerine kat etmek için şüphesiz uçları iyi bir bileği taşıyla düzenli olarak bilenmelidir (Morrell, 1996; Bucur, 2005). Özellikle bu işlem alınan burgular bükülmüş ve alınması zor olduğunda yapılmalıdır. Çünkü keskin olmayan (kör) bir deliciyle alınan burgular çürümüş veya hasar görmüş gibi görünebilmektedir. Artım burgularıyla yapısal ahşap malzemelerde delinen oyuklar, ahşap malzeme direncini çok az etkilemektedir (Seavey ve Larson, 2002). Artım burgusu uçları, pas ve oksitlenmenin olmadığı yerlerde muhafaza edilmelidir. Korozyon'dan kaçınmak için özellikle nemli havalarda herhangi bir makine yağıyla küçük bir bakım yapılabilir. Artım burgularını temizlemek için işe yarar bir yivli tüfek temizleme takımı da kullanılabilir (Morrell, 1996).

1.8.3. Tel Direklerdeki Tahribatların Tespitinde Kullanılan Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleri

1.8.3.1. Shigometer

Shigometer cihazı, elektriksel rezistansı (direnç) ölçen modern cihaz örneklerinden birisidir. Bu cihazla günümüzde direklerdeki çürümeler neredeyse kesin olarak belirlenebilmektedir (Birtz, 1979; Berger, 1996). Portatif, bataryayla (6 adet 1.4 volt bataryayla, yenileri ise 1.5 volt) çalışan (Shigo ve Shigo, 1974) bir matkapla direğin içerisine ilk olarak 3/32 inç (2.38 mm) çapında bir delik delinmektedir. Bu delik 1 dakikadan daha az bir zamanda 12 inç'lik (30.48 cm) bir derinliğe kadar delinebilmektedir (Berger, 1996).

Deney sonuçları bir direğin böylesine küçük bir yarayı (deliği) çok çabuk kapatabileceğini göstermiştir. Bundan sonra uzun ince bir prob (kontrol çubuğu) odunun durumunu belirlemek için deliğin içerisine sokulmakta ve özellikle de iç tarafta çürüklük bulunup bulunmadığını göstermektedir (Berger, 1996). Bir ohm-metre (direnç ölçer) yardımıyla elektrotlardan (problardan) odun iletkenliği okunur. Sağlıklı odun yaklaşık 400 ila 500 k Ω 'luk değerler vermektedir. Oysa bu değerlerin esmer çürüklük varsa 190 ila 200 k Ω 'luk bir aralıkta yer aldığı görülmüştür. Değerler 50 k Ω 'un altında olursa yüksek tehlike riski olduğu kabul edilmektedir (Nicolotti ve Miglietta, 1998).

Shigometer cihazının etkinliği rutubet içeriği, iyon konsantrasyonu (Nicolotti ve Miglietta, 1998), odunun elde edildiği ağaç türleri, iç taraftaki çatlaklar gibi birtakım faktörlerden etkilenmektedir. Bu durumda yorum yapmayı güçleştirmekte ve bu güçlük de belli bir tecrübeyle aşılabilmektedir (Berger, 1996). Odundaki katyon konsantrasyonu mantarların meydana getirdiği çürüme sonucu yükselmektedir. Bu cihazda odunda katyonların konsantrasyonu arttığı zaman atımlı akıma (pulsed current) karşı dayanımın azalması prensibine göre çalışmakta ve böylece kullanıcıya çürüklüğün başlangıç aşamasını tespit etme imkanı sunmaktadır (Seavey ve Larson, 2002).

Shigometer cihazının avantajları şunlardır:

- Analiz hasarsız olarak yapılır çünkü elektrotlar için açılan oyuklar çok küçüktür.
- Cihaz çürüme ve renklenme görülen odun varlığını değerlendirebilmektedir.

Shigometer cihazının dezavantajları ise şunlardır:

- Okumaların yorumlanabilmesi için tecrübe gereklidir.

-Her ölçümden önce cihaz aynı fizyolojiksel durumda ve sağlamlıkta olan ağaca degecek şekilde kalibre edilmelidir (Nicolotti ve Miglietta, 1998).

1.8.3.2. Durum Ölçer (The Condition Meter)

Odunun hasar durumunu kontrol etmek için kullanılan başka bir elektriksel rezistans ölçerdir. Kendi kendini kalibre ederek titreşim-sinyal rezistansını ölçebilmektedir. Öncelikle toprak seviyesinde veya altında delinen delikten içeriye dimdik-esnemez bir prob sokulmakta ve bu işlem 2 temas noktası arasındaki elektriksel rezistansı kaydetmektedir. Okuma veya patern ahşap malzemenin durumunu göstermektedir. Okumada görülen % 75'den aşağıya olan düşüş çürüklük olduğunu göstermektedir (Berger, 1996).

1.8.3.3. Mekaniksel Delme

İç taraftaki çürüklüğü tespit etmek için çoğu inceleme programı, shipauger tipi 3/8 inç (yaklaşık 0.9 cm) çapındaki matkap ucuyla ekipmanlaşmış (birleştirilmiş) gaz ile çalışan delicileri kullanmaktadır. Bu gaz ile çalışan deliciler çap olarak daha büyüktür. Denetimci odunun içini deler ve uç odun içine girdikten sonra motorun sesini dinler. Çürümüş odunu delmek daha kolaydır ve aynı zamanda bu odun daha yumuşaktır. Sağlam odundan alınan yongalar çürümüş odunkinden daha parlak ve daha geniştir. Dahası, sağlam olmayan odundan alınan yongalar sağlam oduna göre daha koyu renkte olmakta ve daha kolay kırılmaktadır. Denetimciler tipik olarak güney çamı direklerinde 9/16 inç (yaklaşık 1.4 cm) çapındaki uçları, douglas-çamı veya kırmızı ardıç için sıklıkla 13/16 inç (yaklaşık 2.03 cm) çapındaki uçları kullanmaktadırlar. Ayrıca bu uçlar daha sonra yapılacak iç taraftaki çürüklüğün bakımına yönelik işlem uygulamaları için ideal bir boşluk (oyuk) oluşturmaktadır (Morrell, 1996).

1.8.3.4. Çürüklük Tespit Uçları

Direkte geniş bir boşluk oluşturmak için geleneksel (konvensiyonel) uçlar kullanılırken, çürüklük tespitinde 1/8 inç (yaklaşık 0.3 cm) çapında küçük bir uç kullanılmaktadır. Uç oduna girer girmez uç rotasyonu kaydedilir ve böylece direklerin iç

durumuna yönelik kalıcı bir kayıtın elde edilmesi sağlanır. Uçların çürümüş odundaki penetrasyonu daha kolay olduğundan sağlam oduna nazaran daha az rotasyon göstermeleri gerekmektedir. Bu cihazlar dikili ağaçlardaki çürüklük boşluklarını tespit etmek için geliştirilmiştir. Bu cihazların kullanımında deneyim çok önemlidir, ancak deneyimle bazı faktörler arasındaki ilişki anlaşılabilir. Çünkü odun türlerinin, spesifik oyukların ve inceleme sonuçlarındaki rutubet içeriğinin etkileri bu çürüklük tespit uçlarıyla tamamen belgelendirilememiştir. Yine de bu cihazların iç taraftaki çürüklüğün tespiti konusundaki kullanılabilirliğini geleneksel inceleme teknikleriyle karşılaştırmak bir haksızlık olur (Morrell, 1996).

1.8.3.4.1. Rezistograf

Rezistograf son zamanlarda geliştirilen bir delme makinesidir. Bu cihaz (IML- RESI F 300-S) ahşap materyallerde (ağaçlar, direkler, kirişler) kullanılmak üzere dizayn edilmiştir (URL-3; Seavey ve Larson, 2002). Cihazın su ve nem ile temasından kaçınılmalı ve delme iğneleri oksidasyondan korunmak için kuru bir şekilde muhafaza edilmelidir. Eğer bir tel direğinin toprakla temas eden kısmında ölçüm yapılacaksa 45°'lik aparatın kullanılmasıyla ölçüm daha kolay olmaktadır (URL-3). Sistem elle taşınabilmenin yanı sıra bataryayla çalışan bir matkap ve depolama özelliğine sahip bir yazıcıdan meydana gelmektedir. Rezistograf odunda doğal olarak gelişen varyasyon tiplerini, odun kusurlarından doğru bir şekilde ayırma konusunda sınırlıdır (Seavey ve Larson, 2002). Çalışma prensibi; delme ucu aralıksız bir şekilde odun içerisine sürüldüğü zaman gidiş yolu boyunca delme direncini ölçer. Delme direnci mekaniksel özellikler açısından odun kalitesiyle alakalıdır. Bu teknik yerel kusur bölgelerini incelemek, belirlemek ve boyutunu saptamak açısından etkili bir cihazdır ve bu yerel kusur bölgeleri gelişen ağaçta bulunabilir. Bu cihazla gözle görülebilir çatlaklar, şiddetli çürüme alanları, oyuklar, ağaç halka yapıları ve bununla birlikte geriye kalan çeper kalınlığı tespit edilebilmektedir. Rezistograf, çizelgenin yatay eksenini cm'lere ayarlanır ve delme derinliği sağdan sola doğru hareket eder. Dikey eksen birimsizdir ve bir okuma içerisinde yoğunlukla ilgili bir ölçü birimi bulunur. Örneğin; yüksek bir nokta (pik) odunun daha yüksek bir yoğunluğa sahip olduğunu göstermektedir. Yani hasarlı alanın yoğunluğu, hasarsız alandan daha düşüktür. Odunun çok sert bir parçası veya aşırı yoğun bir parçasının rezistograf ucuyla karşılaşması cihazın aşırı yüksek bir okuma vermesine sebep olabilmektedir. Bu durumda

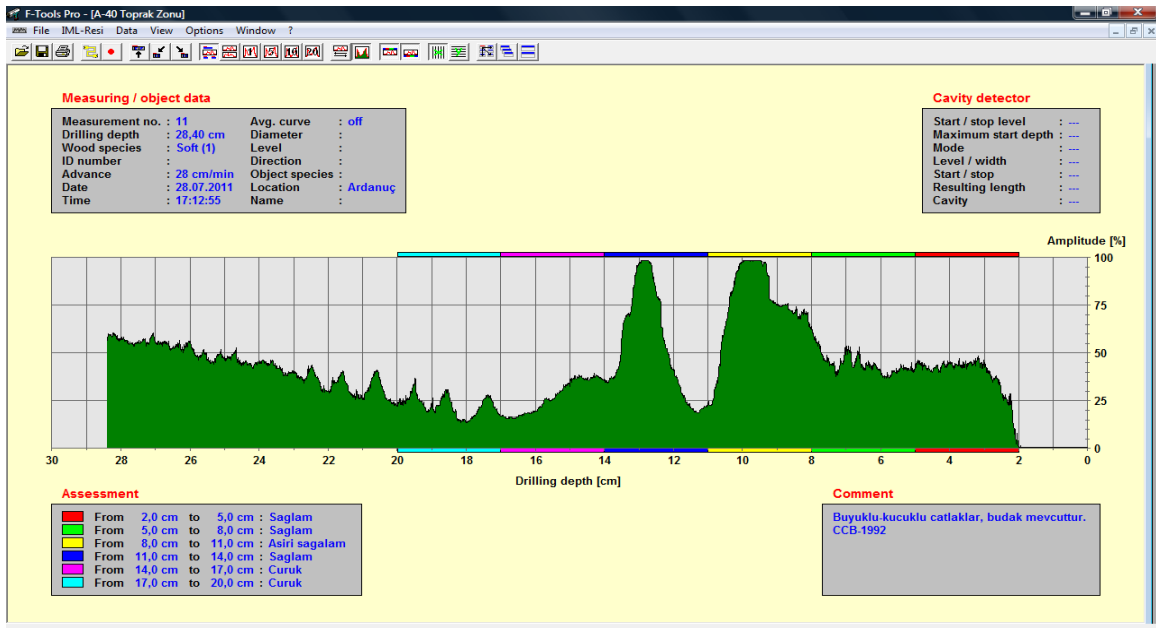
aşırı uç (ekstrem) sonuçlar kırılabilir. Çünkü bu durumda rezistograf iğnesi büyük olasılıkla budağa denk gelmiştir ve buradaki yoğunluk diğerlerine nazaran çok daha yüksek olmuştur (Şekil.5). Eğer okuma yüksekliği sıfır olursa orada hasar ilerlemiş olabilir (Lee vd., 2003).

Rezistograf cihazı 2 çıktı üretmektedir. Bunlardan birisi özel olarak vakslanmış bir kâğıt şeritte muntazam olmayan basit bir iz şeklindedir. Bu iz, cihazın üzerinde yatay eksen boyunca kayarak ilerler. Diğeriyse yerleşik bir dijital ortamda depolanmakta ve daha sonra analiz yapmak ve gözden geçirmek için bir bilgisayara indirilmektedir (Lee vd., 2003).

Zahner ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada bir ağaçkakan türü olan karaağaçkakanın ağaçta oyuk açarken öz çürüklüğüne sahip ağaçları tercih edip etmediğini ve mantarsal çürüklüğü objektif olarak test etmek için Rezistograf cihazını kullanmışlardır. Bu çalışmada oyuk belirtisi görülen 30 adet dikili kayın ağacı incelenmiştir. Öncelikle bu ağaçlara tırmanılmış ve özel bir delme cihazıyla (IML RESI F 300-S Resistograph) oyuk başlangıcının görüldüğü bölgedeki odun yoğunluğu ölçülmüştür. Odun direnci mantarsal çürüklüğün bir indikatörü (belirteci) olarak bir Rezistograf cihazıyla ölçülmüştür. Böylece ağaçta mantarsal çürüklüğün bir uçtan diğer uca dağılımı, karaağaçkakanın oyuk açmaya başladığı yerin öz çürüklüğüne olan yakınlığı ve önceden açılan oyuk ile yeni açılan oyukların bulunduğu ağaç odununun durumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Öz çürüklüğü kayın ağaçlarında (*Fagus sylvatica*) çok daha yaygındır. Yapılan çalışmaya göre mantarsal çürüklük ağaç yarıçapı boyunca eşit oranda dağılmamıştır. Karaağaçkakan tarafından yeni açılan oyuktaki odun yoğunluğu daha önceden açılmış olan oyuktaki odun yoğunluğundan daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak karaağaçkakanın öz çürüklüğünün mevcut olduğu kayın ağaçlarını tercih ettiği belirlenmiştir. Buradaki mevcut çürüklüğün karaağaçkakanın oyuk açarken daha az enerji harcamasına (mantarlar ağacı yumuşattığı için) sebep olduğu düşünülmüştür. Odun çürüklük mantarları lignin ve selülozu bozundurmakta ve neticede odun yumuşamaktadır. Bu yüzden direnç daha düşük olmaktadır. Rezistograf cihazı odun direncini EKG (Elektrokardiyogram) benzeri bir grafik çizerek ölçmekte ve bu grafikte çürüklüğün boyutunun saptanmasına olanak sağlamaktadır (Zahner ve ark., 2012).

Lee ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada yapısal odun üyelerindeki kusurları tespit etmek için ultrasonik stres dalga testleri, delme direnci testleri (rezistograf modelleri) ve görsel kontroller olmak üzere 3 hasarsız test metodunu kullanmışlardır. Delme direnci testlerinde kullanılan rezistograf modelleri; çürüme, çatlaklar ve boşluklar gibi iç taraftaki

odun kusurlarını belirleyebilmektedir. Teknik tıpkı ultrasonik stres dalga testleri gibidir, ancak küçük bozunma alanlarını kesin olarak saptaması zordur. Sonuç olarak da yapısal odun üyelerinin iç tarafındaki bozunmaların delme direnci testleri ve ultrasonik stres dalga testleri arasındaki ilişkiye göre değerlendirilebileceğini göstermişlerdir. Ayrıca bu çalışmada ultrasonik ulaşım (transmisyon) süresi hasarlı alanlarda daha yüksek, fakat hız daha düşük olarak saptanmıştır.



Şekil 5. Ardanuç ilçesindeki bir tel direğinde (A-40 Toprak zonu) rezistograf cihazıyla elde edilen aşırı yüksek pikler (drilling depth: 10-13 cm)

1.8.3.5. Akustik İnceleme

Akustik inceleme tekniklerinin gelişimi oduna zarar vermeyen hasarsız tekniklerin arzulanması neticesinde ortaya çıkmıştır (Morrell, 1996; Morrell ve Rhatigon, 2002). Kural olarak, bir ses dalgası direğin bir ucundan öteki ucuna gönderilir ve odun içerisindeki bütün karakteristikler (büyüme halkaları, çatlaklar, çürüme boşlukları, budaklar, rutubet vb.) bu dalgadan etkilenirler (Morrell, 1996; Morrell ve Rhatigon, 2002; Tsang ve Chan, 2008). Sözü edilen karakteristikler bu dalgaların hem oranını, hem de hızını etkilemekle beraber odundaki dalga şeklini de ortaya çıkarmaktadırlar. Geniş oyuklar, çatlaklar, halka çatlakları ve iç tarafta bulunan çatlama, direklerin enine kesitinde ses dalgasının bir yandan

diğer yana ulaşma süresini artırmaktadır. Erken akustik inceleme cihazları oyukların tespitinde uçuş süresini (sesin bir yandan diğer yana ulaşma süresi) kullanmaktadır. Bu cihazların etkinliği doğal kusurların varlığıyla sınırlandırılmıştır (Morrell, 1996; Morrell ve Rhatigon, 2002). Çünkü bu doğal kusurlarda benzer şekilde uçuş süresini etkilemektedirler. Daha sonra ortaya çıkan cihazlarda uçuş süresini kullanmışlardır, fakat kaydedilen dalga şekli veya ses dalgası modülasyonu gibi veriler de direğin durumunun belirlenmesi açısından daha güvenilir tahminler sağlamaktadır (Morrell, 1996).

Morrell ve Rhatigan (2002) yaptıkları çalışmada PURL-1 (Pole Ultrasonic Rot Locator) adlı cihazın uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla douglas çamı ile elde edilen tel direk kesitlerinde oyulan temsili böcek boşluklarını tespit edebilmişlerdir.

Bu cihazlarla çürüklük tespit edilemezken, akustik parametreler kullanılarak geriye kalan odun direnci tahmin edilebilmiştir. Bu yüzden, belirgin çürüme görülen sağlam-güçlü bir direk çürüme olmayan zayıf bir direkte benzer bir okuma görülebilmektedir. Şimdi kullanılan uygulama sistemlerinin doğruluğuna ve kesinliğine yönelik birçok tartışma ve endişe mevcuttur. Bu yöntemler geleneksel yöntemlerle bir arada kullanıldığı takdirde daha faydalı olabilmektedir (Morrell, 1996).

1.8.3.5.1. Sonik Cihazlar

Bu cihazlar incelenen tel direği odunu vasıtasıyla hareket eden bir ses dalgasının hareket süresini karşılaştırmaktadır. Ses hızındaki değişkenlik çürüklük olup olmadığını göstermektedir. De- K- Tector, pole ultrasonic rot locator (ultrasonik direk çürüklük belirleyicisi), pulsed ultrasonic non-destructive indicating tester (pulslu –salımlı hasarsız gösterme test cihazı) gibi sonik cihazlar odun bileşenlerindeki çürüklüğün teşhisinde kullanılmaktadır (Rahman, 2003).

De- K- Tector: Bu cihaz odundaki oyukları ve çürüklüğü tespit etmek için dizayn edilmiştir. Portatif bir cihaz olmakla birlikte bataryayla çalışan bir cihazdır (Seavey ve Larson, 2002). De- K- Tector ve diğer dalga şeklini analiz edebilen aletler, ses dalgasının şeklini ve sesin tel direğinin enine kesiti vasıtasıyla bir uçtan diğer uca uçuş süresini analiz edebilmektedirler. Ayarlanan bir mekanik ateşleyici direğe vurur ve böylece ya ses dalgası ya da titreşim dalgası oluşturulur. Bu dalgalar direğin öbür tarafındaki bir akselerometre (ivme ölçer- hız ölçer) tarafından algılanmaktadır. Akselerometre tarafından dalga şekli belirlendikten sonra da elektronik olarak yüksek ya da düşük frekans bileşenleri diye ikiye

ayrılmaktadır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki çürük odun daha fazla yüksek frekansı absorbe edebilmektedir. Bu yüzden düşük büyüklükteki bir okuma, yüksek frekans bileşeni kuşkulu olan bir direği gösterebilmektedir. Çünkü dalga şekli direğin karşı tarafına ulaşmadan önce yüksek frekanslı bileşenin bazısı çürüklük tarafından emilmektedir (Berger, 1996; Seavey ve Larson, 2002). Bu cihazın avantajı kullanımı basittir ve ahşap malzeme incelenirken kurulum süresi gerektirmez. Bu kalitatif test ahşap malzemede bulunan iç taraftaki potansiyel kusurları çabucak değerlendirme hususunda kullanıcıya yardımcı olabilmektedir. Ayrıca bu cihazda sensorleri (algılayıcıları) odun içerisine sokmaya gerek yoktur. De- K- Tector cihazının dezavantajıysa direk odun yüzeyindeki bir impulsu (darbeyi) kullanmakta ve alıcı transdusorler direk olarak odun yüzeyine yerleştirilmektedir. Bu yüzden yüzey pürüzlülüğü ahşap malzeme ile ya impaktör (darbe ölçer) ya da transdusor arasındaki teması etkileyebilmektedir. Bu durumda tutarsız okumalar ile sonuçlanabilmektedir. (Seavey ve Larson, 2002).

Poletest cihazı: Poletest, sonik bir cihaz olarak Electric Power Research Institute (Elektronik Güç Araştırma Enstitüsü) tarafından finanse edilerek geliştirilmiştir. Bu aletin geliştirilmesi esnasında çeşitli lokasyonlardaki ses dalgalarının spektrol analizleriyle, direğin enine kesiti vasıtasıyla sesin ulaşma süresine bağlı direklerin gerçek çekme direnci karşılaştırılmıştır. Araştırmanın son ürünü bir arazi test cihazıdır. Bu cihaz istatistiksel olarak spesifik bir enine kesitte direk direncinin güvenilirliğinin dışarıdan anlaşılmasını sağlayabilmektedir. Poletest cihazının kullanım amacı; her bir direğin direnç özelliklerini tespit etmektir. Poletest cihazı çürüklüğün yerini tespit edememektedir, fakat mekaniksel direnci tespit edebilmektedir. Özellikle toprak altında ölçülen direnç değerleri, direğin yenisiyle değiştirilmesi gereken zamanın belirlenmesinde kullanılabilir (Berger, 1996). Poletest cihazı, tel direklerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş olmasına rağmen, temel direkleri gibi diğer yuvarlak ağaç malzemelerde de basınç direncini tespit etmede kullanılabilir. Poletest, cihaz içerisine programlanan tel direğinin elde edildiği ağaç türlerine ait eğilme ve basınç dirençlerinin oranlarına dayanarak bu tahminleri yapabilmektedir (Seavey ve Larson, 2002). Poletest bir çürüklük tespit cihazı değildir, cihaz ahşap malzemenin yük taşıma kapasitesini belirlemek için kullanılmaktadır. Üreticiler cihazın delme veya oyma gibi gözle görülebilir inceleme teknikleriyle birlikte kullanılmasını tavsiye etmektedirler. Bu durum ahşap malzeme direncini tespit edebilmenin yanı sıra çürüklüğün tespitine de olanak sağlamaktadır. Poletest cihazı, ağaç türlerine (douglas- çamı, güney çamı ve kırmızı ardıç) göre programlanmış olmasına

rağmen ağaç malzemenin elde edildiği ağaç türleri bilinmediği zaman ‘diğer’ seç birini diye bir özelliğede sahiptir. Bu seçme işlemi sadece iğne yapraklı ağaç türlerinde kullanılabilir (Seavey ve Larson, 2002).

Sylvatest cihazı: Bu cihaz ultrasonik dalga hızını, odun rutubet içeriğini ve sıcaklığını ölçebilecek şekilde geliştirilmesinden bu yana çalışma alanındaki kerestenin incelenmesinde de kullanılmıştır. Sylvatest cihazı, 2 piezoelektrik transdüsör (kristal güç çevirici), birisi 30 kHz’lik bir frekanstaki verici, diğeri bir sinyal alıcıdan meydana gelmektedir. Sistem taşınabilir, bataryayla çalışan bir üniteyi içerir ki bu ünite aynı zamanda ultrasonik dalga hızı verilerini işleyen elektronik aksamı da içermektedir. Ayrık bir taşıma kutusu da ihtiyaç duyulan bütün donatıların taşınması için mevcuttur. Cihazın çalışma prensibi; verici ahşap malzeme içerisine 30 kHz’lik bir frekansta pulslar (darbeler) gönderir ve ilk puls gönderildiği zaman alıcı, elektronik tertibatı harekete geçirir. Eğer arzu edilirse odunun rutubet içeriği ve sıcaklığı da (referans şartlarına göre dalga hızını ayarlayarak) Sylvatest cihazı ile ölçülebilmektedir. Dalga hızı mikrosaniye de görüntülenir. Sylvatest cihazı, üretim esnasında ahşap malzemelerin kalite kontrolü, ahşap malzemenin kalite sınıflandırılması ve mekaniksel özelliklerinin (ultrasonik ses hızıyla korelasyonları kullanarak) onayı (verifikasyonu) için kullanılabilir (Seavey ve Larson, 2002).

Sandoz ve Benoit (1992) yaptıkları çalışmada bir iletişim hava hattına yerleştirilen 52 adet direğin, 33 tanesini bir ultrasonik cihaz olan Sylvatest Duo kullanarak, diğeri 19 direği ise alışılagelmiş görsel sınıflandırmaya göre seçmişlerdir 13 yıl sonra bu direklerin mekaniksel performansları Polux hasarsız test cihazı tarafından tespit edilmiştir. Sonuç olarak Sylvatest Duo kullanılarak seçilen bütün direklerin 13 yıl sonra hâlâ kusursuz olduğu görülmüş ve hava hattındaki en dayanıksız direklerin görsel olarak sınıflandırılanlardan olduğu saptanmıştır (Benoit ve Sandoz, 1996).

Ultrasonik Cihazlar: Ultrasonik kontrol yöntemi de bir akustik hasarsız test yöntemi olup, yapı içine gönderilen ses dalgalarının yorumlanmasına dayanır (Kafalı, 2004). Bir ses dalgasının spesifik bir yöndeki hızı hemen hemen aynı kalır ve yoğunluktan çok elastikiyet modülünün özgül ağırlığına oranının kareköküyle doğru orantılı olur.

$$V = \sqrt{\frac{E}{n}}$$

V= Velocity→Hız

E= Elastikiyet modülü

n= Yoğunluk

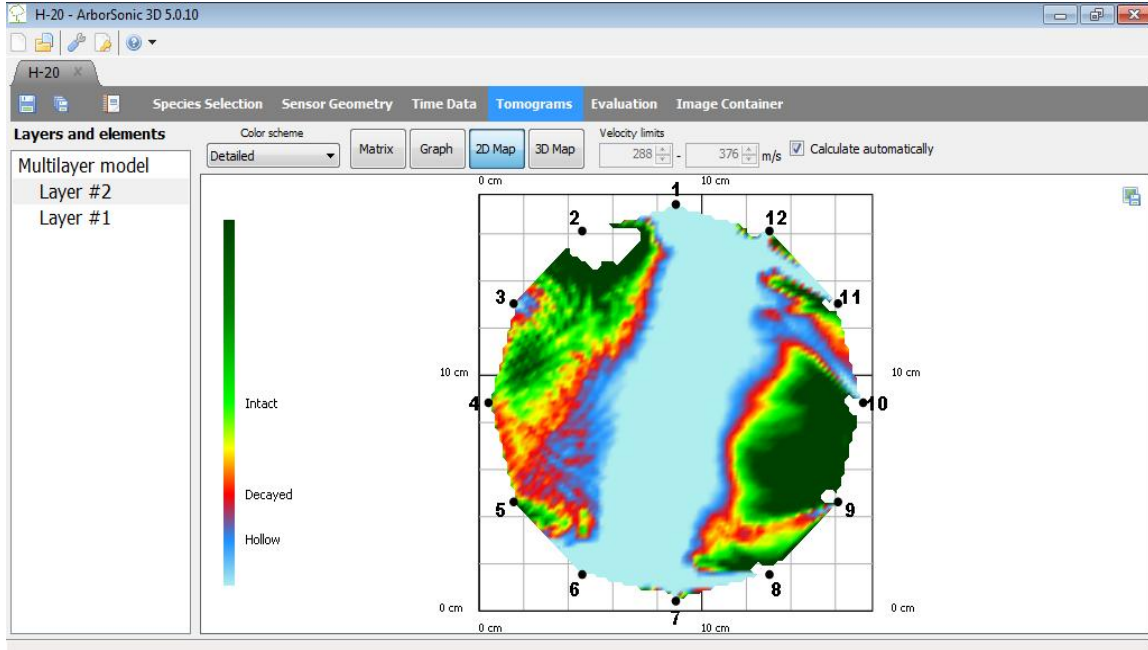
Ultrasonik dalgaların kullanılmasıyla ahşap malzemenin mekaniksel özelliklerini belirleme; sesin hızı, elastisite modülü ve yoğunluk arasındaki ilişkiye dayanmaktadır (Sales vd., 2011). Hız değişmezliğinin sebebi, odunun brüt yoğunluğunun değişmesine rağmen odun maddesinin yoğunluğu, su ve havayı hesaba katmayınca aşağı yukarı değişmez. Ultrasonik hız dolaşımının yönüne bağlı olarak elastisite değişebilmektedir. Hız aksiyal yönde en büyük olmakta ve bunu da radyal ve teğet yön takip etmektedir. Bir yerde çürüme varsa normal olarak elastisite ile yoğunluğun oranı değişmekte, dolayısıyla uçuş süresi artmakta ve hız azalmaktadır (Rahman, 2003;URL-7; Dzbeński ve Wiktorski, 2007).

Diğer bir çalışmada Bucur (2005), daha iyi yapısal kereste üretmek için ağacın çok erken yaşından olgunlaşma yaşına kadar ki evrede ağaç lif eğiminin (gövde eksenini ve boylamsal anatomiksel elementler arasındaki açı) tespit edilmesinin daimi bir zorunluluk olduğu kanısına varmıştır. Bu tespit işlemi de artım burgularını ve ağaçlardaki ultrasonik dalga hızı ölçümlerinde uygulanan yayılım esaslı teknikleri kullanmıştır. Bu yüzden ağaç lif açısının kusursuz bir şekilde tespiti için bir dizi transdüsör gövdenin periferine (dış kenarına) monte ederek bu işlemi gerçekleştirmiştir. Bununla beraber alınan artım burgusu örneklerinde ve dikili ağaçlarda ultrasonik tekniğin kullanılmasıyla akça ağacın dalgalı yapısının belirlenmesi işleminin mümkün olduğunu göstermiştir.

Elektriksel Tomografi: Elektrik impedans tomografisi, odun hakkında ‘kimyasal’ bilgi almak için elektrik akımını kullanmaktadır (URL-4). Bu tomografi, kullanıcıya bir ağacın belli bir bölgesindeki direnç dağılımının görüntüsünü elde edebilme şansını vermektedir. Farklı tip odunların direnç değerleri de farklı olmakta ve bu farklılaşmalar çürümelerden kaynaklanan değişimler olarak ortaya çıkmaktadır. Degrasyon işlemleri esnasında mantarlar dikkate değer miktarda iyon açığa çıkarmaktadırlar (Nicolotti vd., 2003). Burada mantar odunun yapısını bozundurup lignin, nişasta ve şekere dönüştürerek iyonları serbest bırakmaktadır. Bu iyonlarda odunun elektriksel impedans özelliklerini değiştirmektedir (Craighead vd., 2001). İyonizasyon mekanizması aslında 2’ye ayrılmaktadır: Birincisinde esmer çürüklük mantarları H^+ iyonları açığa çıkararak asitliği artırmakta, buda odun direncinin daha da düşmesine sebep olmaktadır. Diğer bir taraftan da katyonların ve potasyum iyonlarının toplanmasına sebep olmaktadır. Potasyum iyonlarının yüksek mobilitelerinden dolayı çürüklüğün başlangıcında dahi odun direncinde düşme görülmektedir ve dielektrik sabitesi değerlerinde de bir artma söz konusu olmaktadır. Diğer mekanizmada ise direnç, odun porozitesi ve tekstüründen etkilenmektedir. Odun porozitesi

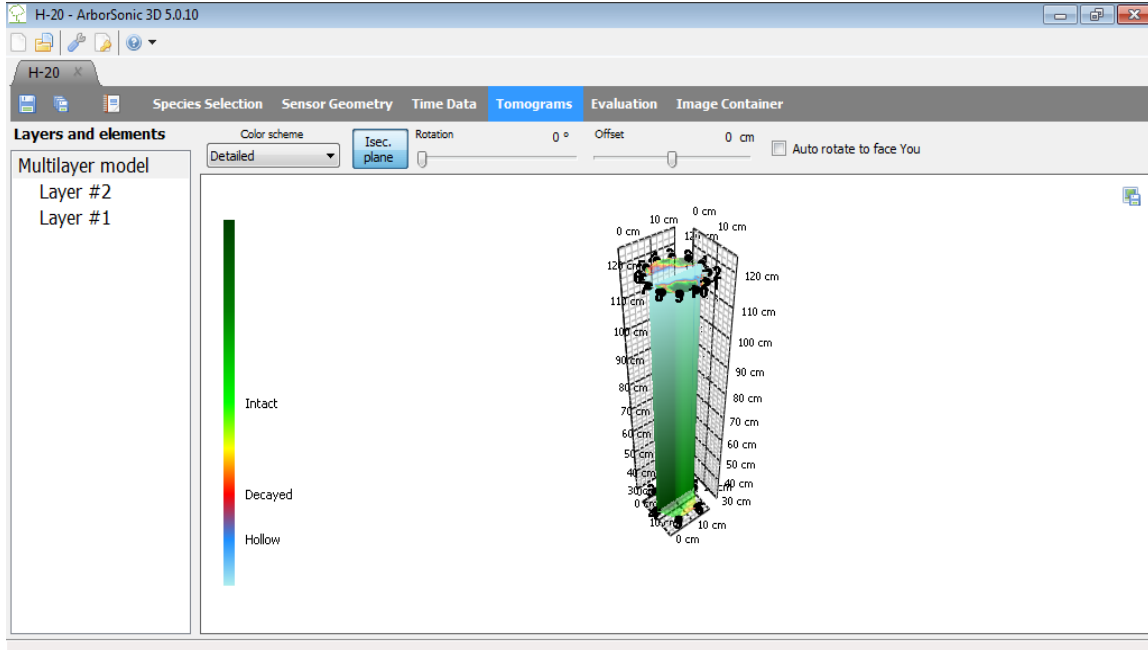
ve tekstürü de mantar çürüklüğüne maruz kalarak modifiye olabilmektedir (Nicolotti vd., 2003).

Ultrasonik Tomografi: Ultrasonik tomografi cihazı, ağacın odunu hakkında ‘mekaniksel’ bilgi almak için ses dalga boylarını kullanmaktadır. Odunda sesin hızı, yoğunluk ve elastisitenin büyüklüğüne bağlıdır ve cihaz da bu gerçeği kullanır. Belirli oyuklardaki beyaz ve esmer çürüklükler odundaki yoğunluğu ve elastisiteyi azaltmaktadır. Odunda eğer çürüklük, oyuk ve çatlak gibi kusurlar mevcutsa ses dalgaları yolu direk alamaz. Ses dalga hızları farklı türlerde, farklı mevsimlerde, farklı su içerikleri gibi durumlarda değişmekte olup, bazı zamanlar aynı ağaç içinde bile değişmektedir. Bu problemden kaçınmak için yazılım bağlı hızı hesaplamaktadır (URL-3). Tomografi nesnenin içinden geçen enerjiyi ölçme yoluyla ve nesne üzerinde gerçekleştirilen ölçümler sayesinde bir cihaz vasıtasıyla enine kesitin rekonstrüksiyonuna (canlandırımına) dayanmaktadır (Lin vd., 2008). Örneğin; ultrasonik hız azalması hücre çeperindeki bir mantarsal degradasyonun bir belirtisi olabilir. Dahası ultrasonik hızın odun degradasyonunun erken aşamasına çok duyarlı olduğu ispat edilmiştir. Ultrasonik tomografi, anomalilerin (bozuklukların) durumunu, tam olarak yerini, iç taraftaki çürüklüğü tespit etmede ve bu çürüklüğün boyutunu, şeklini ve mekaniksel özellikler açısından karakteristiklerini hesaplamada etkili bir cihaz olduğunu göstermiştir (Şekil.6). Tomografik teknik çalışmalarının çoğu kereste ve odunsu yapılarda uygulanmaktadır (Şekil.7). Ultrasonik tomografi cihazı çeşitli araştırmacılar tarafından kerestelerde, direklerde ve dikili ağaçlarda uygulanmıştır (Nicolotti vd. , 2003). Bu cihaz bütün bir enine kesitle ilgili kusursuz, kesin veriler sağlayabilmektedir. Cihaz tamamen noninvazif (hasar verme ihtimali olmayan) bir cihazdır (Nicolotti ve Miglietta, 1998).



Şekil 6. Hopa ilçesinden Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla alınan bir tel direğine (H-20) ait 2 boyutlu görüntü

Lin ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada ultrasonik tomografi cihazını kullanarak sağlam sedir ağacından elde ettikleri 10 cm kalınlığındaki 10 adet odun diskinde farklı çaplarda yapay oyuklar açarak bu oyukları tespitte çalışmışlardır. Ayrıca 3 adet çürümüş Japon sedirini de aynı şekilde bir ultrasonik araç (Sylvatest, Swiss Products) ve Arbotom 2D Yazılım (Rinn Tech, Germany) kullanarak kusur alanını ve yerlerini tespit etmeyi başarmışlardır. Bunun yanında kusurlu disk alanı oranı, kusurlu alan dışında kalan disk çapı oranı ve ultrasonik hız arasındaki ilişkileri analiz etmeye çalışmışlardır. Böylece de dikili ağacın enine kesitinde bulunabilecek bir oyuğun yerinin ve boyutunun ultrasonik tomografi tekniğiyle saptanabileceğini göstermişlerdir.



Şekil 7. Hopa ilçesinden Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla alınan bir tel direğine (H-20) ait 3 boyutlu görüntü

Jeoradar Tomografi: Radar ölçümleri radyo frekansındaki impulsların yayılımına (propagasyonuna), yansımaya (refleksiyonuna) ve kırınımına (difraksiyonuna) dayanmaktadır. Bu impulslar odunun elektriksel geçirgenliği ve elektriksel iletkenlik değişikliklerine karşı duyarlıdır. Çok derin olmayan inceleme ve materyal testleri için çok yüksek radar dalga frekansları kullanılmaktadır (1,000- 1,500 MHz) (Nicolotti vd. , 2003).

Genellikle, yer radarı (GPR) ölçümleri, küçük bir dipol anten (çift kutuplu anten) kullanarak tek yansıma şeklinde gerçekleştirilmektedir ve odun çürüklük tespiti için 1,500 MHz'de tek bir anten kullanılmaktadır. Toplam porozite, toplam su doygunluğu ve tuzluluk radyo dalga yayılımını etkilemektedir. Ağaç gövdesinde radar deneylerinin asıl amacı, sağlam ve çürümüş odun arasındaki sınır çizgisi üzerinde bir yansıma enerjisi elde ederek durumu değerlendirmektir (Nicolotti vd. , 2003).

Mikrohammer (mikroçekiç): Mikroçekiç ağaçlarda iç tarafta bulunan kusurların tespiti için ideal bir cihazdır. Her ağaç türündeki karakteristiklerden etkilenen ses hızından dolayı ölçülen değerler ağacın iç tarafının durumunu açıkça göstermektedir. Mikroçekiç'te kullanılan tüm bileşenler rüzgâr ve sudan etkilenmezler, her hava şartlarında kullanılabilirler (URL-4). Bu cihazlar, işitilebilir (20,000 kHz) aralığın üzerindeki frekanslara sahip ses titreşimlerini kullanarak titreşimin dal veya gövdenin bir tarafından

öbür tarafına radyal yöndeki iletim zamanını ölçmektedirler (Craighead vd., 2001; Sales vd., 2011). Ultrasonik sinyal gövdenin her iki tarafına da yerleştirilen transdusorlar tarafından iletilmekte ve alınmaktadır. Bu arada şayet çürüklük yoksa ölçülen iletim zamanı (uçuş süresi) iki transdusor arasında dosdoğru bir yol alacak şekilde bulunur. Bu arada çürüme veya kusurlar varsa alınan ilk titreşimin sinyal olması muhtemeldir. Çünkü bu titreşim çürük alanın etrafından geçmektedir. Artan iletim zamanı (uçuş süresi) çürüklüğün veya bir kusurun var olduğunu göstermektedir (Rahman, 2003). Bu prosedür direğin çevresindeki birkaç lokasyonda tekrarlanmaktadır. Ultrasonik hızlar sağlam direktte hızlıdır ve yaklaşık 2000 m/s olmaktadır. Çürümüş odun kesitlerinden veya etrafından geçtiği zaman hız 1200- 1500 m/s arasına düşmektedir. Uçuş süresi çürümüş materyalin varlığına bir kanıt olabilir. Bu yöntem yapı kerestelerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır, fakat tel direklerinde karışık bir başarı elde edilmiştir. Aletin maliyeti ve bir direktte araştırma yapmak için gereken zaman aletin çok yaygın kullanılmasını sekteye uğratmıştır (Craighead vd., 2001).

Nicolotti ve ark. (2003) yaptıkları çalışmalarda incelenen dikili ağaçlardaki çürümüş alanlarda hesaplanan hızların 600 ve 1200 m/s arasında olduğunu, çürümemiş alanlardaki hızların ise daha yüksek yani 1200 ve 2000 m/s arasında ya da daha fazla çıktığını tespit etmişlerdir. Sandoz ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada buna yakın değerler bulmuşlardır (Nicolotti vd. , 2003).

1.8.3.6. X ışını Tomografisi

X ışınları kullanım alanlarındaki tel direklerinin incelenmesinde 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Fakat işlemin yavaş, ekipmanın büyük hacimli ve sonuçların yorumlanmasının zorluğundan dolayı bu teknik bırakılmıştır. X ışını tomografisi, çoklu x ışınlarını kullanarak direğin iç kısmının 3 boyutlu bir görüntüsünü oluşturmaktadır. Şimdiye kadar, bu analizleri tamamlamak için gerekli olan ekipman, çalışma alanındaki kullanımı açısından aşırı büyük bir hacme sahip olmasından dolayı kullanışlı olmamaktaydı. Fakat temel bileşenlerin minyatürleştirilmesi ve enerji hesaplanmasındaki ilerlemeler bu teknolojinin çalışma alanlarında kullanılmasına olanak sağlamıştır (Morrell, 1996). X ışını (veya gama) tekniği odun materyalinin iç kısmının incelenmesi ve odunun mikro yoğunluğunu ölçmek için geliştirilen ilk hasarsız test yöntemlerinden birisidir. Bu teknik incelenen nesneye paralel bir görüntü üretmektedir (URL-6). Tomografi cihazı

çürüklük görüntüsünün oluşturulması esnasındaki rutubet içeriğinden etkilenebilmektedir (Morrell, 1996).

Tomazello ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada X ışını dansitometrisinin (yoğunluk ölçer) basit metodolojisini anlatmaya çalışmakla beraber beyaz çürüklük mantarları tarafından odunda meydana gelen biyodegradasyonun tespit edilmesi, öz odun ve diri odunun saptanması ve işlemenin odun özellikleri üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışma neticesinde X ışını dansitometrisinin, odunun maksimum ve minimum yoğunluğundaki azalmayı hesaba katmasıyla okalıptus odunundaki çürüklükler tespit edilebilmiştir. Bununla beraber odun yoğunluğunda görülen azalmanında beyaz çürüklük mantarlarının hücre çeperi bileşenlerinde meydana getirdiği biyodegradasyondan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Ayrıca anatomiksel yapı ve kimyasal bileşimde görülen farklılıklardan dolayı X ışını dansitometrisi diri odun ve öz odunun birbirinden ayrılmasına da olanak sağlamıştır.

1.8.3.7. Rutubet Ölçer

Rezistans tipi metreler % 20'yi aşkın rutubet içeriğini baz alarak rutubeti ölçmektedirler. Çünkü bu değer odunu çürümekten koruyan güvenlik limitidir. Bunlar rutubet içeriği spesifikasyonlarının işlem sonrasında değerlendirilmesi açısından yarar sağlamaktadır. Eğer rutubet içeriği % 20'nin üzerindeyse mantar gelişimi için odun yeterince ıslak demektir. Şayet % 30'a yakınsa da çürüklük büyük ihtimalle devam etmektedir (Hamm, 1992). Uzun iki adet elektrot 1/2 inç (yaklaşık 1.25 cm) derinliğe kadar ki rutubeti ölçebilmektedir. Bu cihaz direklerde ve diğer ahşap malzemelerde çürüklüğün belirlenmesinde fayda sağlamaktadır (Morrell, 1996). Ayrıca odun rutubet içeriği, basınç yükü değeri ve ultrasonik dalgaların hızını etkilemesinden dolayı ölçülmelidir (Benoit ve Sandoz, 2007). Rutubet içeriği mevsimsel olarak değişebilmektedir ve potansiyel çürüme yerlerini teşhis etmek için su lekelerinin görünmesi önemlidir (Seavey ve Larson, 2002). Gerektiği zaman, ortam sıcaklığı ve ağaç malzeme eldesinde kullanılan ağaç türlerine göre cihaz okumaları ayarlanabilmektedir. Rutubet ölçerler inceleme çalışmalarında ikinci sırada gelen cihazlardır. Çünkü bu cihazlar çürüklüğü tespit edememekte ve sadece çürüklüğe uygun şartların olup olmadığını kontrol edebilmektedirler (Morrell, 1996).

1.9. Tel Direklerinde Yerde Bakım Teknikleri

Hasarsız test yöntemlerinin kullanılması ile kullanım alanındaki ağaç tel direği odunlarındaki kusurların tespit edilebilmesi mümkündür. Bu kusurlar bilindiği gibi ağaç malzemenin kalitesini ve direncini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Daha önceden de bahsedildiği gibi orman endüstrisinde odunun yapısı ve kalitesi önemlidir. Özellikle direnç kalitesi yüksek olan tel direklerinin iletişim hatlarında yer alması ve kullanılması hem çalışan personelin güvenliği (arıza, direğe tırmanma, çığ etkisi vb.) açısından çok önemlidir. Hem de o civarda oturan yerli halkın can ve mal güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden tel direği bakım ve kontrollerinin periyodik olarak sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Çünkü kontrollü olarak periyodik bakımı yapılmamış direnci düşük olan direkler enerji nakil hatlarında çalışan personelin güvenliğini tehdit etmenin yanı sıra yerleşim yerlerinde oturan yerli halkın can ve mal güvenliğini de tehlikeye atabilecek sorunlar teşkil etmektedir (Şekil.8). Örneğin; bir iletişim ağı hava hattında yer alan kusurlu bir direğin dayanıksız olmasından dolayı bazı doğa olayları (olası bir çığ düşmesi, aşırı fırtına vb.) neticesinde yıkılarak kendinden önceki ve sonraki direk hatlarını da (domino etkisiyle) yıkması muhtemeldir (Şekil.9). Ama düzenli yapılan tel direği bakım ve kontrolleri bu gibi problemleri ortadan kaldırmakta yeterli olmaktadır. Çeşitli çatlak, kusur, nem miktarı ve yoğunluk gibi özelliklere sahip olan odun ham maddesinin dayanıklılık ve kullanım ömrü bu sahip olduğu yapısal özelliklerine göre değerlendirilmektedir.

Bu yüzden yapacağımız tez çalışmamızda ağaç tel direkleri kullanım alanında dikili haldeyken odun yapıları hasarsız test yöntemleri ile belirlenecektir. Böylece kullanıma uygun olmayan ve tehlike teşkil eden tel direklerinde yapılması gereken bakım prosedürleri saptanarak yenisiyle değiştirilmesi gerekenler tespit edilecektir.



Şekil 8. Düzenli bakımı yapılmamış bir tel direğinin insanların güvenliğini tehdit etmesi (Arhavi Ortacalar mahallesi)

Bakım, iletişim ağı sistem güvenilirliğinde önemli bir etkiye sahiptir. Kaliteli bir bakım programı toprak altındaki veya temas halindeki ahşap malzemenin güvenilirliğini artırmada ya da yenileştirmede önemli bir rol oynayabilmektedir. Kaliteli bir bakım programı birkaç bakım faaliyetini içermekte ve sistem performansı için gereken bakım düzenli aralıklarda gerçekleştirilmektedir. Bu faaliyetler minimal tamir, elden geçirme ve yenisiyle değiştirmedir. Yenisiyle değiştirme sistemi eski haline geri getirir yani sistemin güvenilirliği tamamen elden geçirilmiş olur. Bunun anlamı sistemin başarısızlık oranını sıfırlamaktır. Fakat bazen denetimcilerin bilgi eksikliği, inceleme hataları, dikkatsizliği, test aletlerinin hatalı olması veya doğru yorumlanamamasından dolayı direk dayanıklılığını doğru değerlendirememeleri (gereksiz yere veya daha erken zamanlarda yenisiyle değiştirme gibi) endüstriye büyük kayıplar verebilmektedir. Bir tel direğinin yenisiyle değiştirilmesi 1000 € civarında bir maliyet içerir ve beklenen ortalama kullanım ömrü 45 yıldır. Yapılan yanlış incelemeler neticesinde tel direklerinin gereksiz yere veya daha erken zamanlarda yenisiyle değiştirilmesi her yıl kamu şirketlerine birkaç milyon €'ya mal olmaktadır (Craighead vd., 2001). Bir tel direğindeki minimal tamirlerin en yaygın örneği; çürümüş bir direğin içerisine direk koruyucu rodun (çubuğun) sokulması, bioguard bandaj, yüksek derecede toksik kloropikrin, vapam (fumigant) işleminin uygulanmasıdır. Pole saver rods (direk koruyucu çubuklar); bor ve florit gibi önemli içeriklerin katı-sert çubuklarıdır. Bu çubuklar hizmette kullanılan direklerin öz odunundaki mantar ve termit saldırısını durdurmada kullanılan insektisitleri ve fungusitleri yavaş yavaş

salgılamaktadırlar. Çubuklar biyodegradasyondan tel direklerini korumada çok daha etkilidir ve 5 yıla kadar koruyabilmektedir (Rahman, 2003).



Şekil 9. Bir iletişim ağı hava hattında yer alan kusurlu bir direğin dayanıksız olmasından dolayı yıkılarak kendinden önceki ve sonraki direk hatlarını da (domino etkisiyle) yıkması (Borçka Karagöl yolu)

1.9.1. Zararlılara Karşı Koruma Bandajı (The Bioguard Bandage)

Odun koruyucu diskler veya haplar katı halde bulunmaktadır. Önceden oluşturulan iç taraftaki oyuğun (bir kenarda açılmış 8 mm derinlikte) içerisine bu koruyucular konmakta ve su geçirmez, esnek polietilen bir dış örtü toprak hattının aşağısındaki tehlikenin yeni oluşmaya başladığı bölgedeki direk çevresine sarılmaktadır (Rahman, 2003). Bandaj yöntemi hem yeni hem de eski direklere uygulanabilmektedir. Özellikle tel direkleri hizmet alanında iken dayanma sürelerinin uzatılmasında kullanılmaktadır (Yıldız, 2005). Birbirine çakılmış bulunan 2 tel direğini birleştiren yatık bir bağlantının direklerle temas ettiği alanlar, tehlikeli alanlar olduğundan bu gibi yerlerde boyun bandajları kullanılmaktadır. Ortalama dayanma süresi 25-30 yıl olan Ruping (Boş Hücre) Yöntemi ile emprenye edilmiş bir direğin emprenye süresi 20. ve 30. yıllardaki bandaj takviyesi ile 40 yıla kadar yükseltilebilmektedir (Bozkurt vd., 1993).

1.9.2. Odun İçerisine Koruyucu Sokma İşlemi-Oyma Delik Yöntemi

Yüksek derecede kloropikrin işleminin uygulanması, direk içerisine 40°'lik açıyla eğik oyukların açılıp kloropikrin tüplerinin oyuklara sokulması ile gerçekleştirilmektedir. Bu oyuklar toprak hattından başlayarak yukarı doğru 15 cm, direk çevresinde 120°'lik açıyla ayrı ayrı yerlere açılmaktadır (Rahman, 2003). Oyma delik yönteminde, ağaç malzeme üzerinde liflere dik veya meyilli yönde burgu ile belirli aralıklarla açılan delikler içerisine toz, sıvı, bulamaç halindeki emprenye maddeleri veya bunların sıkıştırılmasıyla elde edilen emprenye çubukları kullanılmaktadır. Yöntem, ağaç malzemede belirli aralıklarla açılan 15-20 mm çapındaki deliklere çubuk (kalem) halindeki emprenye maddelerinin koyulup kapatılması şeklinde uygulanmaktadır. Emprenye maddesinin yayılması, ağaç malzemenin rutubeti ve yağmur sularının yardımıyla oluşan difüzyon olayıdır. Odun rutubetinin % 20 üzerinde olması halinde başarılı sonuç verebilmektedir (Yıldız, 2005).

1.9.2.1. Vapam Uygulaması (The Vapam Treatment)

Bir zirai fumigant (dezenfektan) olan sodyum- metilditiokarbomat, aşırı hasara uğramış alanı sterilize etmekte ve böcek hasarlarının yanında iç taraftaki çürümeyi de önlemektedir. Elden geçirme ya da önemli bakım faaliyeti uygulamaları güçlendirici bakım faaliyetleridir. Bu faaliyetler çürüme olduğu zaman veya koruyucu etkisiz hale geldiğinde uygulanmaktadır. Bu bakım faaliyetlerinin kalitesi minimal tamir ve yenisiyle değiştirmeye nazaran düşüktür (Rahman, 2003).

1.9.3. Kobra Yöntemi

Bu yöntemde özel bir alet kullanılmaktadır. Bu kullanılan alette direğe zincirle tespit edilen bir kızak tertibatı ve bu kızak üzerinde hareket eden manivela kolu, emprenye maddesi deposu ve odun içerisine yarık şeklinde delik açan bir iğne bulunan kısım yer almaktadır. Manivela kolunun aşağıya hareketiyle uçta bulunan yassı iğne lifleri aralayarak 40-80 mm derinliğe erişmektedir. Kolun tekrar yukarıya kaldırılması ile iğne içindeki boşluktan 3-5 cm³ emprenye maddesi geçerek uçtaki iki delikten odunun içine akmaktadır. İğne çekildiğinde aralanmış lifler tekrar normal durumunu almaktadır (Yıldız, 2005).

1.9.4. Mekaniksel Olarak Eski Haline Getirme-Yenileme

Toprak hattında ki çürüme neticesinde direnç degradasyonundan dolayı çoğu tel direklerinin kullanılması resmen yasaklanmaktadır. Bu direnç degradasyonu olduğu zaman koruyucu işlem uygulamasının dışındaki mekaniksel olarak eski haline getirme (yenileme) ya da Quick Deuar Pole yenileme uygulaması direğin ömrünü uzatmak için yapılan son faaliyetlerdir. Yenileme uygulaması direğe ilaveten 15 yıl daha hizmet ömrü sağlayabilmekte, bu da direğin yaklaşık olarak % 20-30'luk bir maliyetine denk gelmektedir (Bingel, 1995).

Çelik destek sistem, fiber glass kompozit sistem, çelik kaplama, Quick Deuar Pole reinstatement (eski haline geri getirme- yenileme) işlemleri mekaniksel yenilemenin örnekleri arasındadırlar (Rahman, 2003).

1.9.4.1. Çelik Destek Sistemi

Çelik destek dünya çapında restorasyon (tadilat) işleminde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Sağlam bir destek sağlamak için açık veya kapalı kesim olan desteğin dip kısmı 15 cm toprak içerisine sürülmektedir. Desteğin 4 veya 5 fiti toprak üzerindedir ve direğe sarılarak onu güvence altına almaktadır. Toprak seviyesinde odun eğilme direncinin sıfır olduğu göz önünde tutulsa dahi çok iyi tasarlanmış C şeklinde bir destek, yeni bir direğin eğilme direncine denk gelecek şekilde hizmet edebilmektedir (Rahman, 2003).

1.9.4.2. Fibre Glass Sistemi

Fiberglass kompozit sistemi çelik destek sisteminin yerine restorasyon amaçlı olarak kullanılmaktadır. Fiberglass ' sargı-sarma' sistemi tel direklerine yeterli direnç sağlaması için dizayn edilmiştir ve çok güvenilir bir hizmet alanı oluşturmuştur. Çelik kaplama mükemmel bir direnç performansı göstermektedir. Bu işlemde 3 fit civarında kazı yapılarak, direğe odun koruyucular uygulanmakta ve sonra çelik bir dış kaplama direğe vidalar yardımıyla monte edilmektedir (Rahman, 2003).

1.9.4.3. Quick Deuar Pole Yenileme (eski haline getirme) Sistemi

Bu teknik ilk defa Dr. Kris Deuar (Deuar, 2001) tarafından ortaya konulmuştur. Yöntem ticari olarak çevrelemeye uygun çelik profillerin bir çeşit uygulamasına dayanmaktadır. Tipik olarak sadece sıcak daldırmanın bir tipi galvanizli çelik eleman kullanılmaktadır. Ayrıca geniş direkler için 2 veya 3 çelik eleman kullanılabilmekte ve çelik elemanlar toprak içerisine sokulmaktadır (Rahman,2003).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Arazi Çalışmaları

2.1.1. Çalışma Alanlarının Belirlenmesi ve Haritalaştırılması

Bu çalışmada Artvin ilinde farklı iklim özelliklerine sahip olan 3 ilçede inceleme yapılmıştır. Burada çok nemli iklimi temsilen Hopa ilçesi, nemli iklimi temsilen Borçka ilçesi ve yarıkurak iklimi temsilen de Ardanuç ilçesinde çalışma alanları belirlenmiştir. Bu çalışma alanlarındaki direklerin 50 adeti Ardanuç ilçesinin Soğanlı Köyü mevkiinde, 50 adeti Borçka ilçesinin Atanoğlu ve Aralık Köyü mevkiinde ve diğer 50 adeti Hopa ilçesinin Aşağı-Yukarı Şahinler Köyü mevkiinde belirlenmiştir. Bu belirlenen alanlar ve tel direklerinin yerleri GPS (MAGELLAN) ile (Şekil.10) alınan koordinatlar ve rakım değerlerine göre bilgisayarda netcad programıyla haritalaştırılmıştır (Şekil 11-12-13-14 ve 15). Burada her ilçede 50 adet olmak üzere toplam 150 adet tel direği belirlenmiştir. Ayrıca Artvin ÇEDAŞ deposundan kullanılmamış 5 adet tel direği (kontrol amaçlı olarak CCB ile empenye edilmiş) ve Trabzon Arsin deposundan kullanılmamış 2 adet tel direğinin de (kontrol amaçlı olarak CCB ile empenye edilmiş) yerleri haritalaştırılmıştır.



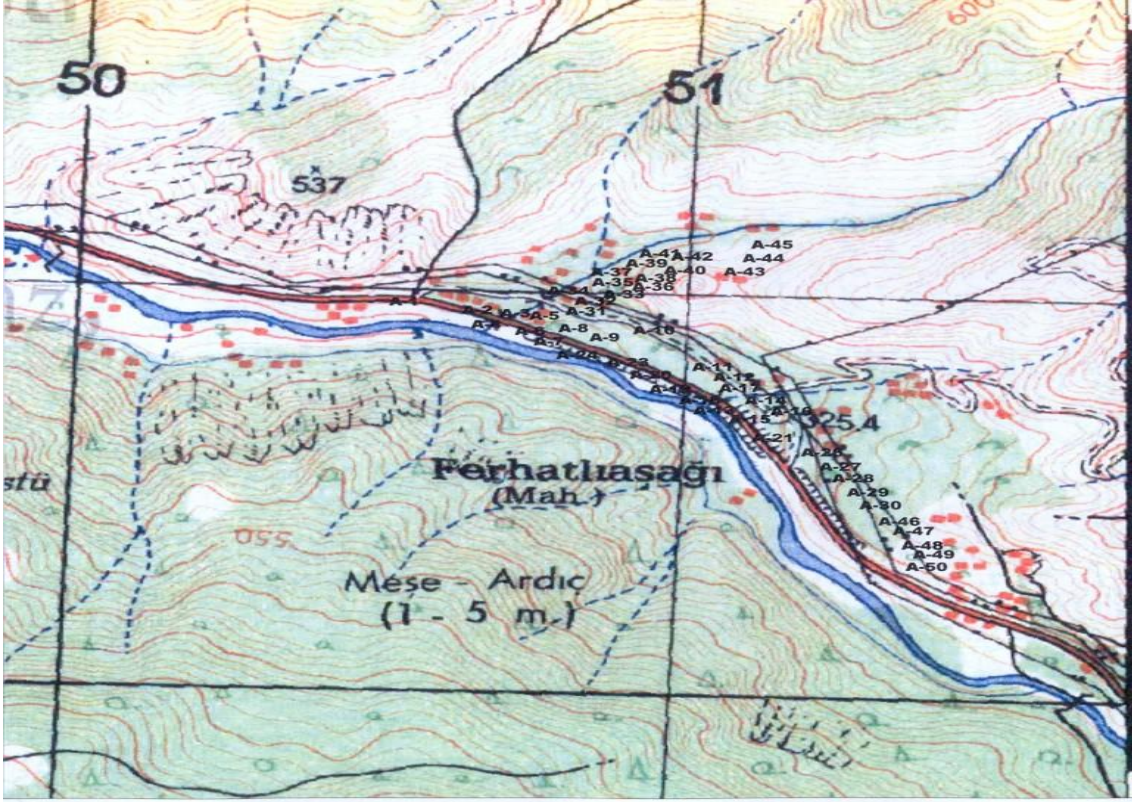
Şekil 10. Belirlenen alanlar ve tel direklerinin yerlerinin (koordinat ve rakım) GPS (MAGELLAN) ile tespiti

2.1.2. Çalışma Alanında İncelenecek Tel Direklerinin Belirlenmesi ve Etiketlenmesi

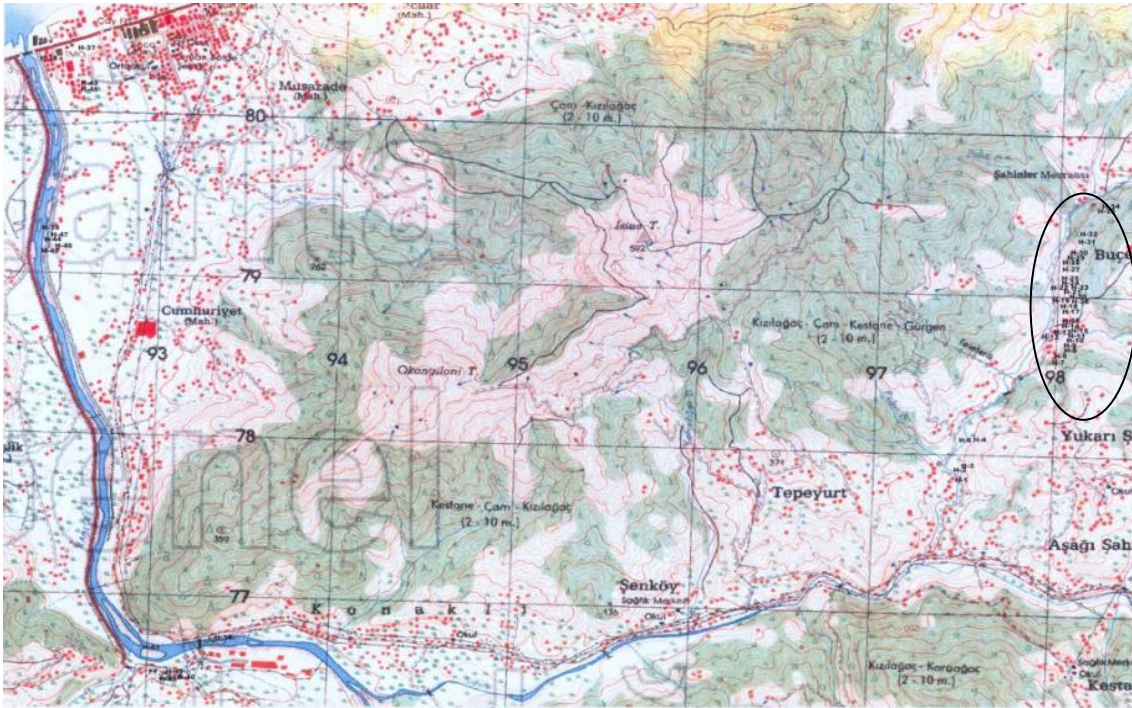
Her bir çalışma alanında özellikle 1990-1995 yılları arasında veya daha önceki yıllarda (çoğunlukla 1992 ila 1993 yılı olmak üzere) hizmette kullanılmaya başlanan CCA, CCB ve kreozotla empenye edilmiş (CCA ile empenyeli olanlar ağırlıkta) tel direkleri belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Ardanuç ilçesinde belirlenen tel direklerinin 24 adeti CCA'lı, 22 adeti CCB'li ve 4 adeti kreozotludur. Borçka ilçesinde belirlenen tel direklerinin 20 adeti CCA'lı, 14 adeti CCB'li ve 16 adeti kreozotludur. Hopa ilçesinde belirlenen tel direklerinin 17 adeti CCA'lı, 19 adeti CCB'li ve 14 adeti kreozotludur. Tel direklerinin çoğu Tablo 17'de görüldüğü gibi 1992 ve 1993 yıllarında hizmete sunulmuştur. Ayrıca gerekli incelemelerin yapılması için tel direkleri numaralandırılmıştır.

Tablo 7. Üç İlçede Kullanılan Emprenye Maddesine Göre İncelenen Tel Direk Sayıları

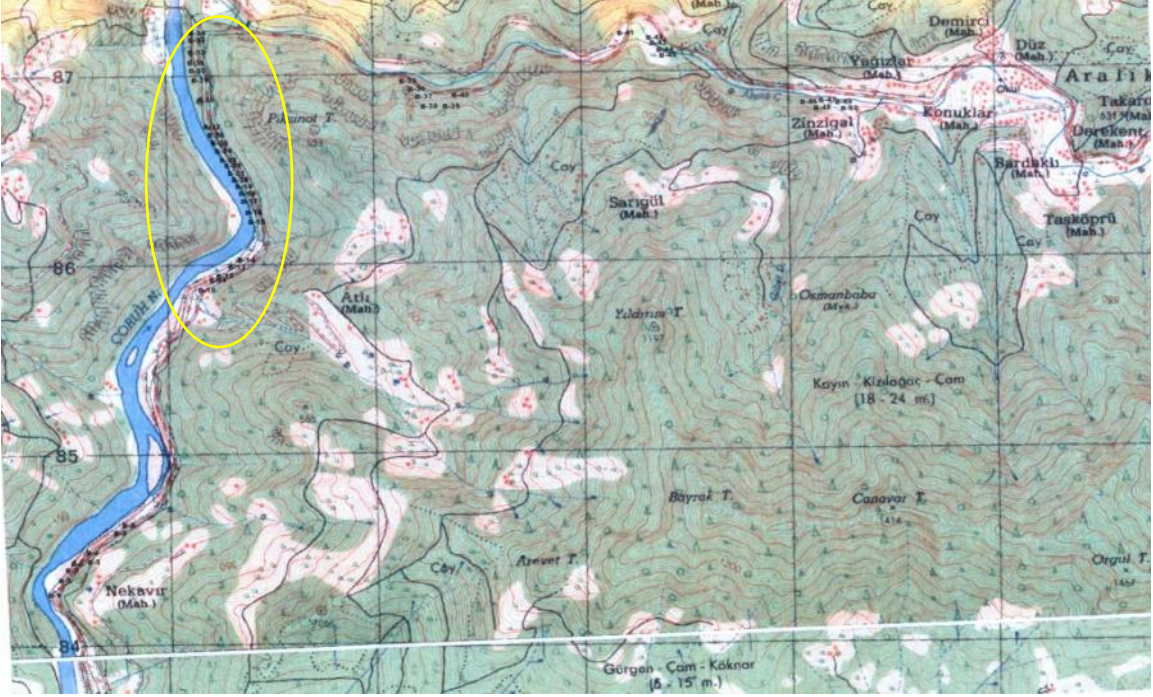
İlçeler	Emprenye Tiplerine Göre İncelenen Tel Direk Sayıları (adet)		
	CCA	CCB	Kreozot
Hopa	17	19	14
Borçka	20	14	16
Ardanuç	24	22	4



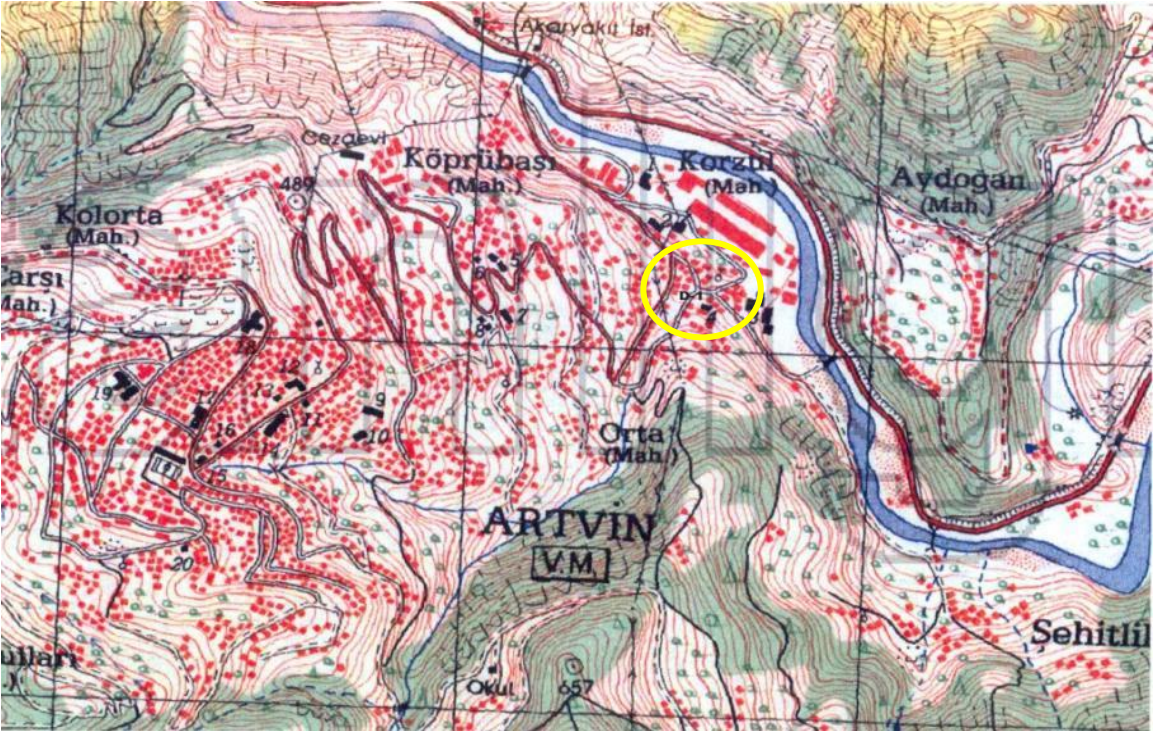
Şekil 11. Ardauç ilçesinde incelenen tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi



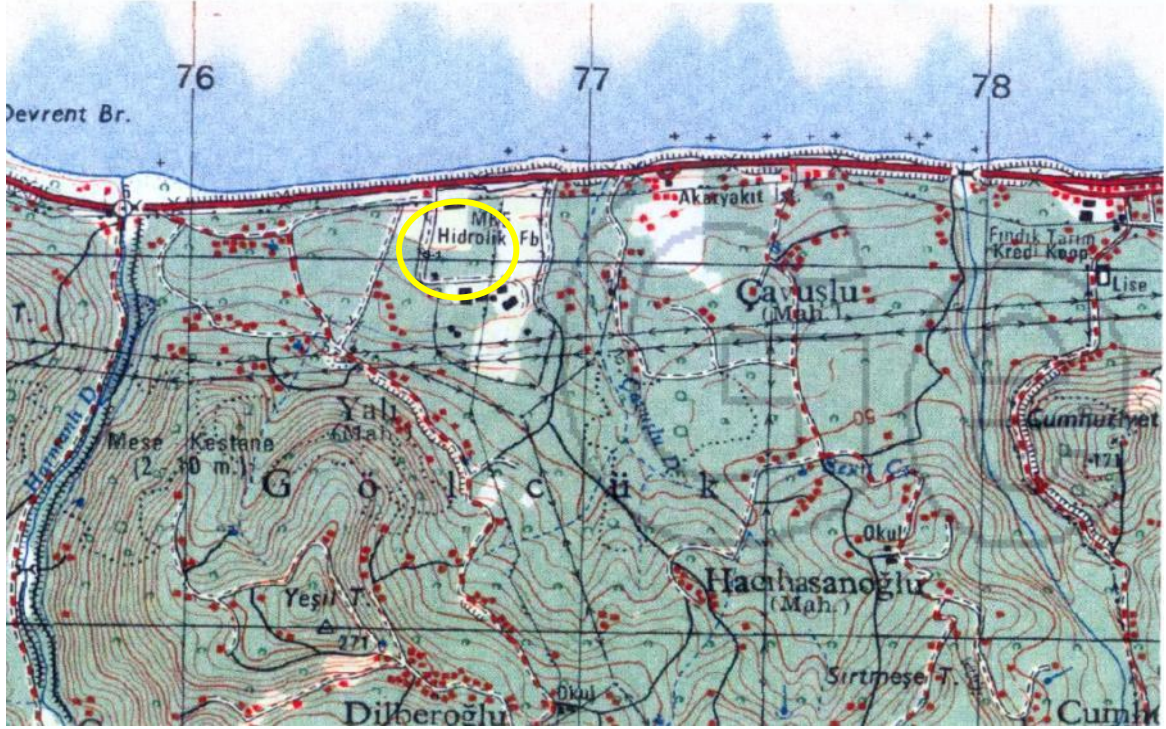
Şekil 12. Hopa ilçesinde incelenen tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi



Şekil 13. Borçka ilçesinde incelenen tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi



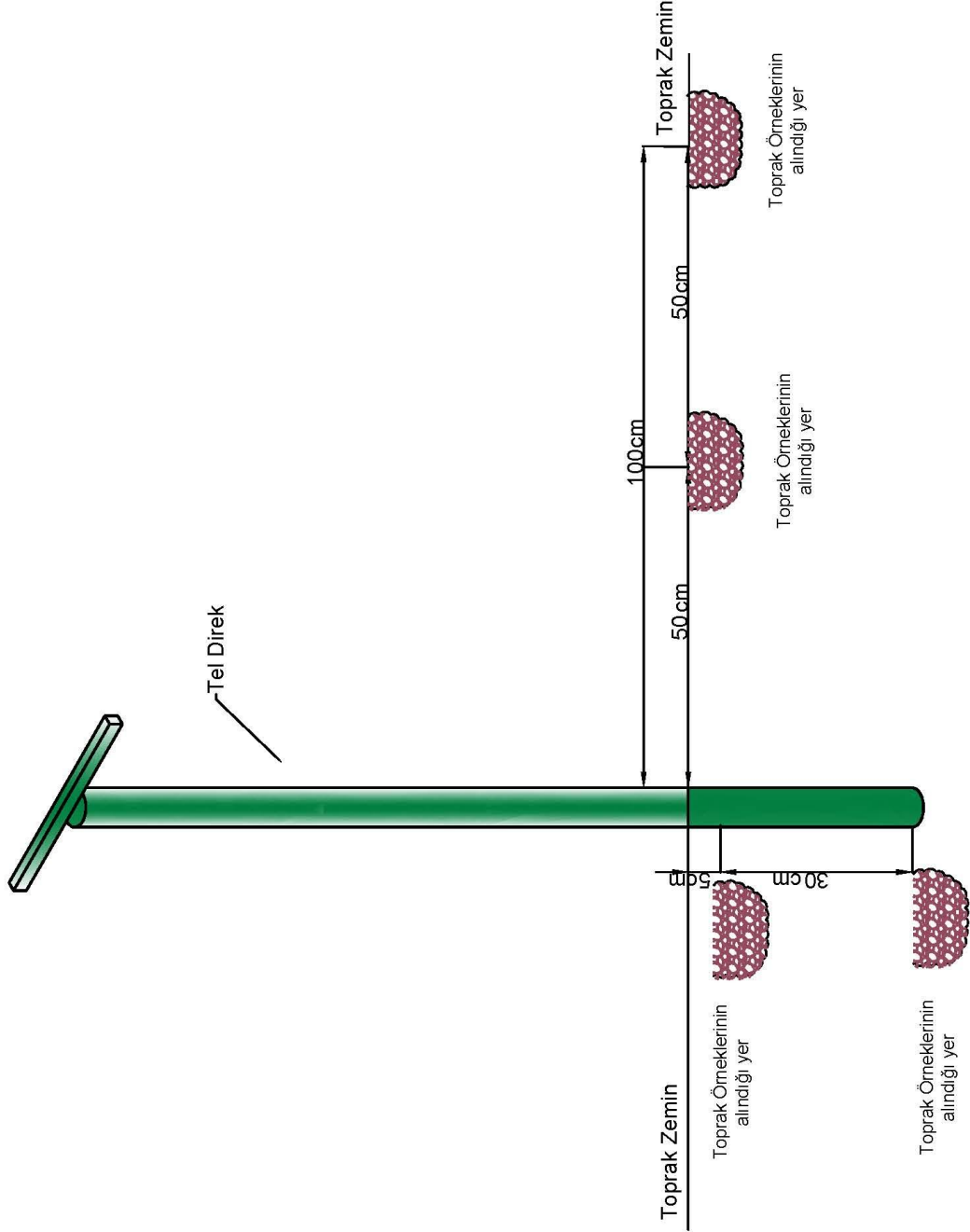
Şekil 14. Artvin ÇEDAŞ deposundaki tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi (D-1)



Şekil 15. Trabzon Arsin deposundaki tel direklerinin harita üzerinde gösterilmesi (S-1)

2.1.3. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması

Tel direklerinden yikanan bakır, krom, arsenik ve bor miktarlarını tespit etmek için her bir çalışma alanı içerisinde bulunan 50 adet tel direğinin toprakla temas eden kısımlarından başlayarak düşey yönde (0-5 cm ve 20-30 cm derinlikte) ve yatay yönde (50 cm ve 100 cm mesafede) olmak üzere bütün çalışma alanlarından toplam 337 adet toprak örneği (1 adet toprak örneği yaklaşık 250 gr) alınmıştır (Şekil.16). Bazı tel direklerinin dip kısımları irili-ufaklı taşlarla beslendiğinden dolayı özellikle 20-30 cm derinlikten toprak örneği alınamamıştır. Borçka ilçesinde bir kısım toprak zemininin insan eliyle yapay olarak doldurulması nedeniyle bu sıkıntıyla sık sık karşılaşmıştır. Tel direklerinin toprakla temas halindeki kısımlarından düşey yönde 0-5 cm ve 20-30 cm derinlikte ve yatay yönde 50 cm-100 cm uzaklıktaki mesafelerden bir çapa yardımıyla toprak örnekleri alınarak ağzı kilitli polietilen poşetler içerisine konulmuştur. Daha sonrada kurutma işlemini ve diğer analizleri (bakır, krom, arsenik ve bor miktarlarıyla beraber topraktaki organik madde miktarının tespiti, toprak pH'sının ve toprak tekstürünün belirlenmesi gibi çalışmalar) gerçekleştirmek üzere laboratuvara götürülmüştür.



Şekil 16. Tel Direğinin Dibiindeki Toprakta Yatay Uzaklık (50 cm- 100 cm) Mesafelerinden ve Düşey Derinlik (5 cm- 30 cm) Kademelerinden Toprak Örneklerinin Alınması.

2.1.3.1. Deneme Alanlarında Toprak Neminin Ölçülmesi

Çalışma alanında farklı derinlik ve mesafelerdeki toprak örneklerinin alınması esnasında kazılan çukurlardaki rutubet değerlerini ölçmek için bir toprak nem ölçer cihazı (DELTA-T DEVICES Cambridge- ENGLAND HH2 Moisture Meter) kullanılmıştır (Şekil.17) ve bu değerler not edilmiştir (Tablo 8). Her bir direk için farklı derinlik ve mesafelerden 4 adet toprak nemi (0-5 cm derinlik, 20-30 cm derinlik, 50 cm mesafe ve 100 cm mesafe) ölçülmüştür. Borçka ilçesinde 25 adet direk, Ardanuç ilçesinde 40 adet direk ve Hopa ilçesinden 20 adet direktan toprak rutubet değeri (toplam 327 ölçüm) alınmıştır. Toprağın nem içeriği yağışlar, hava sıcaklığı ve su çekme özelliğine (draft) bağlıdır. Yağışlı mevsimlerde topraktaki nem içeriği, kuru mevsime nazaran daha yüksek olur (Rahman, 2003).



Şekil 17. Toprak örneklerinin alınması ve toprak neminin ölçülmesi

2.1.3.2. Kontrol Toprak Örneklerinin Alınması

Tel direklerinden toprağa yıkanan bakır, krom, arsenik ve bor miktarlarını normal toprağın içerdiği miktarla kıyaslamak amacıyla her 3 çalışma alanından toprak örnekleri alınmıştır. Her çalışma alanından 3 adet 0-5 cm ve 3 adet 20-30 cm derinliklerden yani her bölgeden 6 adet olmak üzere toplam 18 adet kontrol toprak örneği alınmıştır. Ortalama toprak özelliklerinin belirlenebilmesi açısından her bir lokasyondan en az birbirine 2 km

uzaklıktaki farklı 3 bölgeden kontrol toprak örnekleri alınmasına azami özen gösterilmiştir.

2.1.4. Tel Direkleri Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Tel direkleri üzerinde direğin kullanılmaya başlandığı yıl, kullanılan emprenye maddesi tipi, direğin boyu ve üretildiği firma adının da yer aldığı metal bozuk para şeklinde bir tanıtım pulu (Şekil 18a) veya direk üzerine damga halinde basılarak yazılan tel direğine ait bilgiler (Şekil 18b) bulunmaktadır (Tablo 17). Burada bizim için önemli olan bilgiler tel direğinin hizmette kullanılmaya başlandığı yıl ve kullanılan emprenye maddesi tipidir. Ayrıca tel direkleri üzerinde görülen tahribatlar ve kusurlar bir fotoğraf makinesi (AGFA DC-1033 m) ile çekilmiştir.

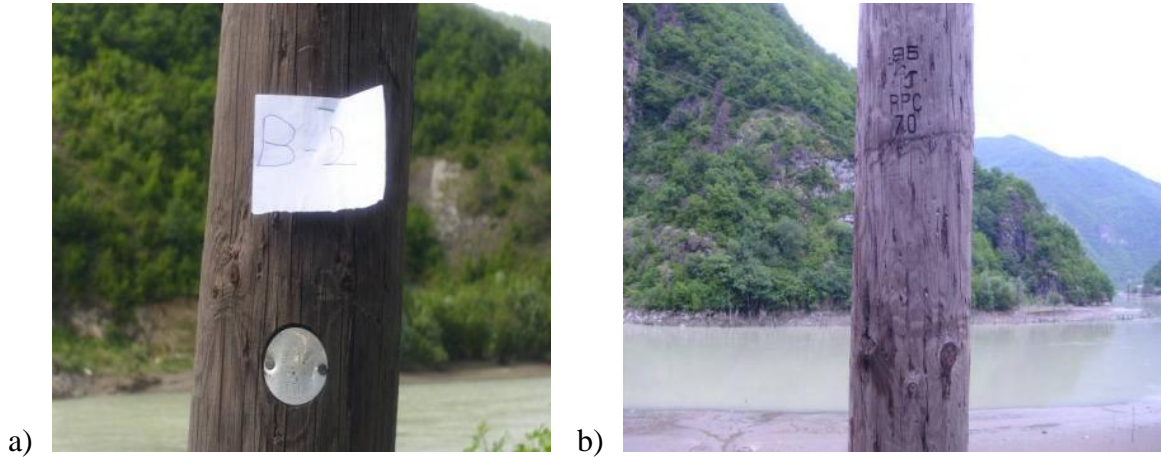
Bu tez çalışması kapsamında aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir:

A. Ağaç türü

- Emprenye maddesi
- Direğin yaşı

B. Tahribatın tipi ve direğin hangi bölgesinde olduğu

- Direğin yüzeyindeki kusurlar
 - a. Kusurun bölgesi
 - b. Kusurun maksimum derinliği
- Direğin iç kısımlarındaki kusurlar



Şekil 18. Tel direkleri üzerinde direğe ait bilgilerin yer aldığı a) bozuk para şeklindeki tanıtım pulu ya da b) tanıtım pulundaki bilgilerin tel direğine damgalanmış hali

2.1.4.1. Tel Direkleri Üzerinde Yapılan Görsel İncelemeler (Tel Direğinin Yüzeyindeki Kusurlar)

Tel direkleri üzerinde yapılan görsel incelemelerle tel direklerindeki çatlakların tahmini boyları ve derinlikleri not edilmiştir. Bununla beraber direkler üzerinde insanlar ve hayvanlar tarafından meydana getirilen; ateş yakılması, dış yüzeyin soyulması, tel örgü veya çelik halat sarma gibi sebeplerden dolayı oluşan hasarlar da tespit edilmiştir.

Ayrıca, tel direk üzerindeki böcek yenik yolları ve toprakla temas halinde olan dip kısımlarında mantarlar tarafından meydana getirilen çürüklükler ve renk değişimleri gözlemlenerek, not edilmiştir. Bunların dışında tel direğinde kanama olayı, renk değişimi ve yıpranma olup olmadığı gibi durumlarda tespit edilerek not edilmiştir.

2.1.4.2. Tel Direklerinden Artım Burgusu ile Örnek Alma

Çalışmada kullanılacak artım burguları temizlendikten ve gerekli bakım işlemleri (yağlama, iç kısımda kalan reçine vb. maddeleri temizleme) yapıldıktan sonra tel direklerinden artım burgusu örnekleri alınmıştır (Şekil 19). Çalışma alanları ve depolardaki tel direkleri de dâhil olmak üzere toplam 157 adet tel direğinden artım burgusu örneği alınmıştır. Bu örnekler özel kilitli poşetler içerisine tel direk etiketiyle beraber konularak emprenye maddesi penetrasyon derinliği ve tel direği rutubetini ölçmek üzere laboratuvara götürülmüştür.



Şekil 19. Çalışma alanında ve depolarda bulunan tel direklerinden artım burgusu örneği alma

2.1.4.3. Hizmet Alanında Bulunan Tel Direklerinin Rutubet Değerlerinin Belirlenmesi

Artım burgusu örneklerinden yararlanarak tel direklerinin rutubet içeriği laboratuvar şartlarında ölçülebileceği gibi ağaç ve ağaç malzemenin rutubetini ölçmekte kullanılan cihazlar tarafından da odun rutubeti ölçülebilir (Şekil.20). Bu çalışmada tel direklerindeki rutubet değerleri, artım burgusuyla alınan örneklerden faydalanılarak ölçülmüştür. Ayrıca elde edilen nem değerlerinin doğruluğunu ispat etmek amacıyla direkler üzerinden ölçüm yapan bir rutubet ölçer cihazı (GANN Hydromette HT 85 T) ile sonuçlar desteklenmiştir.



Şekil 20. Odun rutubet ölçer cihazı ile tel direklerindeki rutubetin arazide ölçülmesi

2.1.5. Tel Direğinin İç Kısımlarındaki Tahribatların Hasarsız (Non-destructive) Test Yöntemleriyle Tespit Edilmesi

Arazide kullanımda olan tel direklerinin iç kısımlarında çürüklük olup olmadığı tel direklerinin dayanıklılığı açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle çürüklüğün ilk aşamalarında ağaç malzeme dışarıdan bakıldığında tamamen sağlam görünmekte ve iç kısımlarda çürüklük olup olmadığı tespit edilememektedir. Bu amaçla tel direklerinin iç kısımlarındaki çürüklük ve tahribatlar IML resistograph cihazı, IML microhammer ve Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı (Şekil 21) ile belirlenmiştir. Bu sayede direkler içerisinde oluşan bölgesel çürüklükler belirlenerek neden olan faktörlerin tespit edilmesine çalışılmıştır.



Şekil 21. Hasarsız test teknik cihazları

2.1.5.1. Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazı

Tomografi, bir cihaz vasıtasıyla nesnenin içinden geçen enerjiyi ölçerek, nesne üzerinde gerçekleştirilen ölçümler sayesinde enine kesitin canlandırımına (rekonstrüksiyonuna) dayanır (Lin vd., 2008). Cihaz ekipmanı; 12 adet duyarlı sensör, 6 adet siyah iletim kutucuğu, bir adet elmas başlı çekiç, 1 adet kauçuk başlı çekiç, 1 adet sensör sökeceği (çakılı olan sensörleri ölçüm bittikten sonra sökmek için), bilgisayar ile sensörler arası teması sağlayan 1 adet USB girişli ultrasonik ses algılayıcısı ve 6 adet kahverengi iletim kablosuna sahiptir. Ayrıca 8.4 voltluk 2 adet pil (1 tanesi yedek) ve pil şarj aleti de bu ekipmanın içerisinde. Bilgisayardan program (Arborsonic 3D 5.0.1) açıldıktan sonra gerekli olan bilgiler (sensör çakma derinliği, çevre uzunluğu, sensörlerin çakıldığı yükseklik, sensör sayısı vb.) girilmiştir. Daha sonra elmas başlı çekiçle sensörlere vurulmuş ve her sensöre (1,2,3,4,5 ve 6 nolu sensörler) 3 defa hafifçe vurularak ultrasonik ses dalgası oluşturulmuştur. Her sensör için alınan bu 3 sağlam veri neticesinde ölçülen ses dalgası hızları bilgisayar vasıtasıyla görüntüye dönüştürülmektedir. Böylece bilgisayar sadece direğin 3D görüntüsünü oluşturmaktadır. Burada elde edilen görüntülere baktığımız zaman mavi renk olan bölgeler içi boş alanları belirtir. Kırmızı-sarı renk olan bölgeler çürümüş alanları, açık yeşil ve koyu yeşil olan alanlar da sağlam bozulmamış bölgeleri temsil etmektedir. Bu çalışmada Hopa ilçesinde 20 adet tel direğinden (10 adet CCA'lı, 6 adet CCB'li ve 4 adet kreozotlu), Borçka ilçesinden 30 adet tel direğinden (9 adet CCA'lı,

10 adet CCB'li ve 11 adet kreozotlu), Ardauç ilçesinden 31 adet tel direğinden (16 adet CCA'lı, 11 adet CCB'li ve 4 adet kreozotlu), Artvin ÇEDAŞ deposundan 5 adet tel direği (kontrol amaçlı, CCB'li) ve Trabzon Arsin deposundan 2 adet tel direğinden (kontrol amaçlı, CCB'li) olmak üzere toplam 88 adet tel direğinden tomografi ölçümü alınmıştır (Şekil.22).

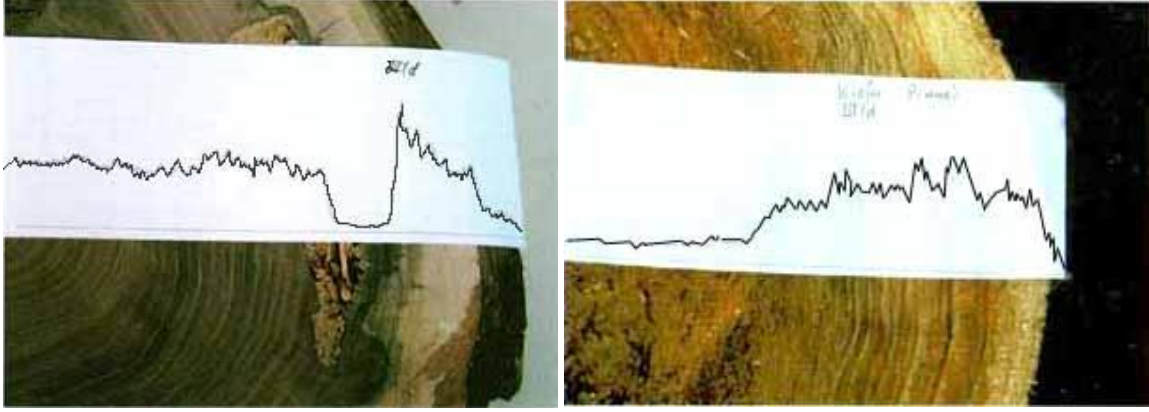


Şekil 22. Çalışma alanındaki (görsel olarak tel direği kullanıma uygun değil) ve ÇEDAŞ deposundaki (solda) tel direklerinden Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla ölçüm yapılması

2.1.5.2. Rezistograf Cihazı

Rezistograf, son zamanlarda geliştirilen bir delme cihazıdır. Bu cihaz (IML- RESI F 300-S) ahşap materyallerde (ağaçlar, direkler, kirişler) kullanılmak üzere dizayn edilmiştir (URL-2; Seavey ve Larson, 2002). Bu teknik yerel kusur bölgelerini incelemek, belirlemek ve boyutunu saptamak açısından etkili bir yöntemdir. Bu cihazla gözle görülebilir durumdaki çatlaklar, şiddetli çürüme alanları, oyuklar, ağaç halka yapıları tespit edilebilir (Lee vd., 2003). Rezistograf cihazının çalışma ilkesi; milin odun içerisinde ilerleme hızının gelişmiş elektronik ve mekanik sensörler sayesinde grafiğe aktarılmasıdır. Bir başka ifade ile odunun özgül ağırlığının yüksek olduğu kısımlarda milin ilerlemesi yavaş olacağından yüksek dirence maruz kalmakta ve yüksek pik vermektedir (Şekil 23). Çürüklük zonlarında ve boşluk bölgelerinde odunun özgül ağırlığı düşük olduğundan milin ilerlemesi ve

karşılaşmış olduğu direnç daha düşük olmaktadır ve daha düşük pik vermektedir. Ayrıca 45° lik açı aparatıyla tel direklerinin toprakla temas eden kısımlarının da incelenmesi mümkün olmaktadır (Şekil 24) (TÜBİTAK, Proje No:108O414).



Şekil 23. Resistograph cihazı ile tel direklerinin iç kısımlarındaki çürüklük ve boşluk alanlarının belirlenmesi



Şekil 24. Rezistograf cihazıyla tel direklerinin göğüs seviyesinin ve toprakla temas eden kısımlarının (cihaza ait 45° lik açı aparatı yardımıyla) incelenmesi

2.1.5.3. Mikroçekiç

Bu cihaz bir ses dalgasının dal veya gövdenin bir tarafından öbür tarafına radyal yöndeki iletim zamanını ölçmektedir (Craighead vd., 2001; Sales vd., 2011). Ayrıca bu cihaz ile ölçüm yaparken incelenecek olan yuvarlak ağaç malzemenin çapını doğru girmek gerekmektedir. Ultrasonik sinyal gövdenin her iki tarafına da yerleştirilen transdüsörler tarafından iletilir ve alınır. Bu arada şayet çürüklük yoksa ölçülen iletim zamanı (uçuş

süresi) iki transdüsör arasında dosdoğru bir yol alacak şekilde bulunur. Bu aralıkta çürüme veya kusurlar varsa oluşturulan titreşim çürük alanın etrafından geçer. Bu yüzden iletim zamanı artar ve artan iletim zamanı da çürüklüğün veya bir kusurun var olduğunu gösterir (Rahman, 2003).

Bu cihazla tel direklerinde ölçüm yaparken öncelikle duyarlı 2 adet transdüsör tel direği üzerinde birbirinin tam karşısında olacak şekilde şarjlı bir el matkabı vasıtasıyla tel direğine monte edilmiştir. Tel direğinin çapı ölçülmüş ve çapın cihaza doğru bir şekilde girilmesine özen gösterilmiştir. Sonra mikroçekiç cihazı üzerindeki çekiç resmi bulunan düğmeye basılmış ve transdüsörlerden birinin üzerine tutturulan (miknatis özelliğinden dolayı) başlığa cihazın kendisine ait olan çekiçle vurulmaya başlanmıştır. Bu vurma sonucu oluşturulan ses hızlarından 3 tanesini cihaz değerlendirerek ortalamalarını hesaplamaktadır. Bu çalışmada 150 adet tel direğinden Mikroçekiç cihazı ile toplam 150 adet veri alınarak (Şekil 25) bu veriler bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 25. Artvin ÇEDAŞ deposu ve çalışma alanında Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümler

2.1.6. Trabzon Arsin Deposu ve Artvin ÇEDAŞ Deposundaki Tel Direklerinin İncelenmesi

Bu tez çalışmasında hizmet alanında yaklaşık 20 yıldır kullanılan tel direklerinden elde edilen verilerin, kullanılmamış direklerle kıyaslamasını yapmak amaçlanmıştır. Bunun içinde çalışma alanına en yakın olan depolarda henüz hizmete sunulmamış 2010 yılına ait CCB ile empenyeli olan 7 adet tel direği üzerinde de hizmet alanındaki direk üzerinde

gerçekleştirilen çalışmaların hepsi uygulanmıştır. Bu depolarda bulunan tel direklerinin direk toprakla temas halinde üst üste istiflendiği ve uygun olan depolama şekillerinin yapılmadığı görülmüştür (Şekil 26).



Şekil 26. Trabzon Arsin deposundaki (a) ve Artvin ÇEDAŞ deposundaki (b) tel direkleri

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Alınan Toprak Örneklerinin Laboratuvara Getirilmesi

Çalışma alanlarından usulüne uygun şekilde toplanan toprak örnekleri AÇÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Koruma Laboratuvarına getirilmiştir. Asit buharları ve tozdan etkilenmeyecek yerlerde serilerek 4 gün beklenerek kurutulmuştur. Daha sonra toprak örnekleri havanda dövülerek 2mm'lik elekten geçirilmiştir. Bu şekilde kökler, toprağın iskelet kısmı 2 mm ve ince kısmı < 2 mm ayrılmıştır. Yapılacak fiziksel ve kimyasal analizlerde toprağın ince kısmı < 2 mm kullanılmıştır (Sevim, 1986; Karaöz, 1989).

2.2.2. Toprak pH'sının Belirlenmesi

Hazırlanan 2 mm'lik elekten geçen toprak örnekleri toprak pH'sının belirlenmesi için 10 gr hava kurusu toprağın ince kısmı < 2 mm tartılmış bir erlenmayerin içine konulmuş ve

üzerine 25 ml saf su ilâve edilmiştir. Daha sonra örneklerin üzeri bir plastik mantar yardımı ile kapatılmış ve örnekler iyice çalkalanarak 1 gece beklenilmiştir. Sonrasında Orion 420 A dijital pH metre ile ölçümler yapılmıştır (Karaöz, 1989). Buradaki pH ölçümlerinde her ilçeden sadece CCA'lı tel direklerinden ölçüm almak suretiyle 10 adet yani 3 ilçeden (Borçka, Hopa, Ardanuç) toplam 30 adet toprak pH'sı ölçülmüştür. Ayrıca 18 adet olan kontrol örneklerinin de pH'sının ölçülmesiyle toplam 48 adet toprak örneğinin pH'sı ölçülmüştür.

2.2.3. Toprak Tekstürünün Belirlenmesi

İşleme başlamadan önce elde edilecek değerlerin hesaplanmasında yardımcı olacak çizelge hazırlanmıştır (Karaöz, 1989). Bu işlemde öncelikle havanda dövüldükten sonra 2 mm'lik elekten geçen ince tekstürlü hava kurusu topraklar tartılmıştır ve 500 ml'lik beher içerisine konulmuştur. Beher içerisindeki 50 gr toprak üzerine 200 ml saf su eklenmiştir. Sonra da dispersleşmeyi kolaylaştırmak için üzerine 10 ml kalgon denilen suya benzer bir sıvı eklenerek bir çubukla karıştırılmış, çubuk bir diğer numune karıştırılmadan önce her seferinde saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra hazırlanan numunelerin hepsi (18 örnek) 1 gece dispersleşmeye terk edilmiştir. Ertesi gün beher içerisinde dispersleşmeye bırakılan numuneler bir karıştırıcı ile 5 dakika karıştırıldıktan sonra 1000 ml'lik mezür içerisine konulmuş ve süspansiyon üzerine 950 ml saf su ilâve edilerek 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Sonra demir bir pompayla mezürün içerisindeki süspansiyon 20 defa alt üst edilmiştir. Karıştırmadan hemen sonra hidrometre dikkatli bir şekilde mezürün (silindirin) içerisine konulmuş ve uluslar arası toprak cemiyetinin tanımlamasına uygun olarak 4' 48'' saniyede ilk okuma yapılmıştır. Termometreyle sıcaklık ölçülerek daha önce hazırlanan çizelgeye kaydedilmiştir. Bu tespit esnasındaki saat bir kâğıda yazılmıştır. Örneğin; 1.okuma saat:18:06 olursa 2.okuma saat:20:01'de yani yaklaşık 2 saat sonra yapılmıştır. Birinci ve ikinci okumalar sonucu elde edilen hidrometre değerlerini düzeltmek için 20 °C'nin üstünde bulunan her derece için hidrometre değerine (+) 0.2, 20 °C'nin altındaki her derece için hidrometre değerine (-) 0.2 ilâve edilmiştir. Daha sonra aşağıdaki formüllere göre düzenlenmiş olan Excel tablosunda hızlı bir şekilde sonuçlar elde edilmiştir (Gülçür, 1972; Midford 1991; Yüksek, 1996). Bu işlem esnasında 3 farklı lokasyondan (Borçka, Hopa, Ardanuç) alınan ve her lokasyondan 6 adet olmak üzere toplam 18 adet kontrol örneğinin toprak tekstürü tespit edilmiştir.

$$(\%)(\text{Toz} + \text{Kil}) = \frac{\text{DHK}(4'48'')}{\text{MKTA}} \text{Kil}(\%) = \frac{\text{DHD}(120')}{\text{MKTA}} \times 100$$

$$\text{Kum}(\%) = 100 - (\text{Toz} + \text{Kil})$$

DHD: Düzeltilmiş hidrometre değeri

MKTA: Mutlak kuru toprak ağırlığı

2.2.4. Organik Madde Tayini

Bu işlemler AÇÜ Orman Fak. Orman Müh. Böl. Toprak laboratuvarında uygulanmıştır. Organik madde tayini Walkley-Black'in ıslak yakma yöntemine göre yapılmıştır. Organik madde miktarını belirlemek için 2mm'lik elekten elenmiş olan topraktan tekrar 50 gr alınmış ve 0.25 mm'lik elekten elenerek, 500 ml'lik erlen içerisine 1 gr tartılarak ilâve edilmiştir. Daha sonra 1 gr'lık toprak örnekleri üzerine potasyumdikromat (turuncu renkli) ilâve edilmiştir. İlâve işleminden sonra arta kalan potasyumdikromat havayla temas ettikten sonra (özellikliğini kaybettiği için) tekrar kabına koyulmadan atılmıştır. Daha sonra 20 ml % 95-97'lik sülfürik asit eklenerek yakma işleminin daha iyi gerçekleşmesi için erlen çalkalanır. Erlen içerisindeki süspansiyonda görülen yeşil renk dönüşümü organik madde miktarının fazla olduğunu gösterir. Daha sonra erlenler laminar air flow içerisine konulmuş ve sonrasında 1 saat çalıştırılmıştır. Böylece meydana gelen yakma olayı neticesinde ısınmış olan numunelerin soğuması sağlanmıştır. Demir sülfat çözeltisi normal turuncu renkli olan çözeltilere yeşil bir renk dönüşümü olana kadar ilâve edilmiştir. Normalde yeşil renkli olan çözeltilerde daha koyu bir yeşil renk dönüşümü olana kadar ilâve edilmiştir. Bu ilâve işleminde belirli bir ölçü yoktur, yeşil renk dönüşümü gözlenene kadar ilâve işlemi yapılır. İlâve işlemi titrasyon aletiyle yapılmıştır. Çözelti ilâve edilirken renk değişimi daha erken olsun diye bir yandan da erlen çalkalanır. Sonra erlen içerisine bir pipet yardımıyla 5-10 damla indikatör (difenil amin) ilâve edilmiştir. İşlem sonuna doğru bütün çözeltilerde koyu yeşil renk dönüşümü gözlenmiştir. Ayrıca titrasyon aleti ile demir sülfat çözeltisi ilâve edildikten sonra titrasyon aleti içerisinde kalan demir sülfat çözeltisinin seviyesi not edilmiştir. Her defasında bu işlem yapılmış ve daha sonra bir önceki değer bir sonraki değerden çıkartılmıştır (Gülçür, 1972). Elde edilen bu değerler bilgisayarda excel formatında hazırlanmış olan hesaplama cetveline yazılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir.

2.2.5. Toprak Örneklerinin Yakılması

Bu işlem sırasında daha önceden hava kurusu hale kadar kurutulan toprak örnekleri getirilir. Bu toprak örneklerinde yıkanan bakır, krom, arsenik ve bor seviyelerinin ICP-OES cihazında ölçülebilmesi ve bununla beraber katyon değişim kapasitesinin tespiti için toprak örnekleri nitrik asit yardımı ile yakma işlemine tabi tutulmuştur. Yakma işlemine başlanmadan önce toprak örnekleri boş bir A-4 kâğıt üzerinde numaralandırılmıştır. Bu numaraların aynısı toprak örneklerinin birbiriyle karışmaması için bir marker yardımıyla cam krozelerin üzerine de yazılmıştır. Daha önce hazırlanmış olan şeffaf kilitli poşetler içerisinde bulunan ve poşetlerin dip kısmında yer alan toprağın en ince kısımları bir spatül yardımıyla alınmıştır. Bu örnekler 2 gr olacak şekilde hassas terazide tartılmış ve cam krozelerin içerisine konulmuştur. Daha sonra 30 ml nitrik asit ilâve edilmiş ve laminar air flow çalıştırılmıştır. Bu çalışmada nitrik asit buharından etkilenmemek ve zarar görmemek için maske, önlük ve eldiven kullanılması gereklidir (Şekil.27). Laminar air flow içerisine yerleştirilen ve 300 °C'ye kadar yüzey ısıtması yapan ocak üzerinde bir defada yaklaşık 40-50 örnek ısıtılacak şekilde yerleştirilmiştir. Sonra ısıtma ocağı 240 °C'ye ayarlanmıştır. Örneklerin bulunduğu cam krozelerin ağız kısmından kahverengi bir buhar yoğun bir şekilde çıkmaya başladığı anlarda (tahmini 20-25 dakika beklenerek) örnekler ocağın üstünden alınmış ve alınan bu krozelerin içerisine 3'er damla H₂O₂ (hidrojen peroksit) eklenerek 5-10 dakika soğuması beklenmiştir. Sonrasında süspansiyon bir mezür içerisine dökülmüş ve saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Daha sonra bu süspansiyonun üst yüzeyinden bir şırınga yardımıyla sıvı kısım çekilmiştir. Şırınganın ucuna özel filtrelerden takılmış ve daha önce verilen numaranın aynısının yazılı olduğu 10 ml'lik deney tüpleri içerisine boşaltılmıştır. Sonra bu tüpler çözelti konsantrasyonunun değişmesini önlemek amacıyla buzdolabına yerleştirilmiştir (Gülçür, 1972). Burada filtre kullanmanın amacı örnek süspansiyonu içerisinde bulunan katı parçacıkların ICP-OES cihazına zarar vermesini engellemek içindir. Bilindiği gibi bu cihazlar çok pahalı ve bakımı zor olan cihazlardır.



Şekil 27. Toprak örneklerinin yakılması

2.2.6. Toprak Örneklerinde Elementel Analiz (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) (ICP-OES)

Asit tarafından yakma-parçalama işlemine maruz bırakılan 337 adet toprak örneğinin bulunduğu deney tüpleri buzdolabından çıkarılarak KTÜ Mühendislik Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümüne götürülmüştür. Burada daha önce hazırlanmış olan Cu, Cr, As ve Bor elementlerine ait standardizasyon işlemleri yapılmıştır. Bu işlem Spectro Genesis ICP-OES cihazında yapılan ölçümlerin doğruluğunun test edilmesi açısından önemlidir.

2.2.7. Toprakta Bulunan Metal ve Ağır Metal Konsantrasyonları

Burada nitrik asit yardımıyla yakma-parçalama işlemine maruz bırakılan 48 adet toprak örneğinin bulunduğu deney tüplerindeki metal (Na, K, Zn, Mn, Co, Ni) seviyeleri Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında ölçülmüştür. Burada ölçüm yapılacak numuneleri seçerken alınan kontrol örneklerinin hepsi (18 adet) ve pH değerleri ölçülen numuneler (30 adet) tercih edilmiştir.

Bu çalışmada 6 adet metal seviyesini belirlerken, bazı metallerin mevcut konsantrasyonlarda tespit edilememesinden dolayı seyreltme işlemi yapılmıştır. Sodyum (Na) ve potasyum (K) miktarı herhangi bir seyreltme yapılmadan Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında ölçülmüş ve burada ölçülen değerler ppm'e çevirilmiştir.

Diğer metaller (Zn, Mn, Co, Ni,) Perkin Elmer 370 Atomik Absorbsiyon cihazında ppm seviyesinde ölçülmüştür. Bu metallere çinko (Zn) ve manganez (Mn) ölçümü yapılırken mevcut deney tüplerimizdeki çözelti konsantrasyonu 100 kat seyreltilmiştir. Kobalt (Co), nikel (Ni) seviyeleri ölçülürken ise herhangi bir seyreltme yapılmasına gerek olmadığı görüldüğünden direk olarak mevcut konsantrasyonda ölçüm yapılmıştır.

2.2.8. Artım Burgusu Örneklerinden Yararlanarak Laboratuvarda Tel Direği Rutubetinin ve Koruyucu Penetrasyonunun Ölçülmesi

Bu çalışmada artım burgusu örnekleri hassas terazide tartılmış ve ilk ağırlık değerleri not edilmiştir. Daha sonra bir petri kabı içerisinde 103 ± 2 °C'de bir etüv içerisinde 8 saat bekletilmiştir. Sonra tekrar hassas terazide tartılmış ve bu değerler de son ağırlık olarak not edilmiştir. Bütün artım burgusu örnekleri için bu işlemler tek tek yapılmış ve aşağıdaki formüle göre elde edilen değerler rutubet ağırlığı olarak kaydedilmiştir (Rahman, 2003). Ayrıca bu değerler, bir odun rutubet ölçer cihazından elde edilen sonuçlarla kontrol amaçlı olarak karşılaştırılmış ve sonuçların hemen hemen aynı olduğu görülmüştür (Tablo 9). Bundan sonra rutubet değerleri ölçülen artım burgusu örnekleri alınmış ve empenye maddesi nüfuz derinliğinin ne kadar olduğu 20 cm'lik bir cetvel yardımıyla tek tek ölçülerek not edilmiştir.

$$\text{Nem Oranı (\%)} = \frac{m_i - m_s}{m_i} \times 100$$

m_i : İlk ağırlık

m_s : Son ağırlık

2.2.9. Tel Direklerindeki CCA (Bakır, Krom, Arsenik) Seviyelerinin XRF (X-Ray Floresans Spektrometresi) Cihazıyla Tespit Edilmesi

Rutubet değeri ve koruyucu penetrasyonu ölçülen artım burgusu örnekleri, KTÜ Orman Fak. Orman End. Müh. Böl. Odun Koruma Laboratuvarında bir willey değirmeni içerisinde öğütülerek toz haline getirilmiştir. Elde edilen odun tozları tel direği bünyesinde bulunan Cu, Cr ve As miktarlarını XRF cihazında ölçmek amacıyla uygun şekilde hazırlanmıştır. Bu hazırlama işleminde öncelikle odun tozu örnekleri hassas terazide 1 gr tartılmış ve jelatinle kaplanan özel bir XRF cihaz aparatı içerisine konularak preslenerek

ölçüme uygun hale getirilmiştir. Daha sonra XRF cihazının standardizasyonu yapılmış ve cihazın kapağı açılarak örnek yerleştirilmiştir. İşlem başlatıldıktan 200 saniye sonra cihaz verileri bir çıktı halinde alınmıştır. Bu işlem hazırlanmış olan 157 adet örneğin her biri için tekrarlanmıştır. Elde edilen verilerden hangi elementin önünde (-) eksi işareti varsa o elementin mevcut olmadığı anlaşılmaktadır.

CCA ile emprenye edilmiş olan bir tel direği 9.6 kg/m^3 retensiyona sahiptir. Yani bu tel direğinin bünyesindeki krom, bakır ve arsenik miktarları sırasıyla; 10000 ppm, 4130 ppm ve 7580 ppm'dir. Bu çalışmada XRF cihazıyla elde ettiğimiz ölçümler % olarak tel direği bünyesinde bulunan Cu, Cr ve As miktarlarına ait (örneğin; 0.0359, 0,0224 vb.) ölçümlerdir. Bu ölçümler öncelikle 10.000 ile çarpılarak ppm seviyesinde hesaplandıktan sonra yıkanan Cu, Cr ve As seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.2.10. Meteoroloji Verileri

Çalışma alanlarına ait veriler Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler Artvin ve Hopa'ya ait veriler diye 2 başlık altında bulunmaktadır. Bu çalışmadaki lokasyonlardan Borçka ve Ardanuç ilçesi Artvin'e ait verilere göre, Hopa ilçesi de Hopa'ya ait verilere göre değerlendirilmiştir.

2.2.11. İstatistiksel Yöntemler

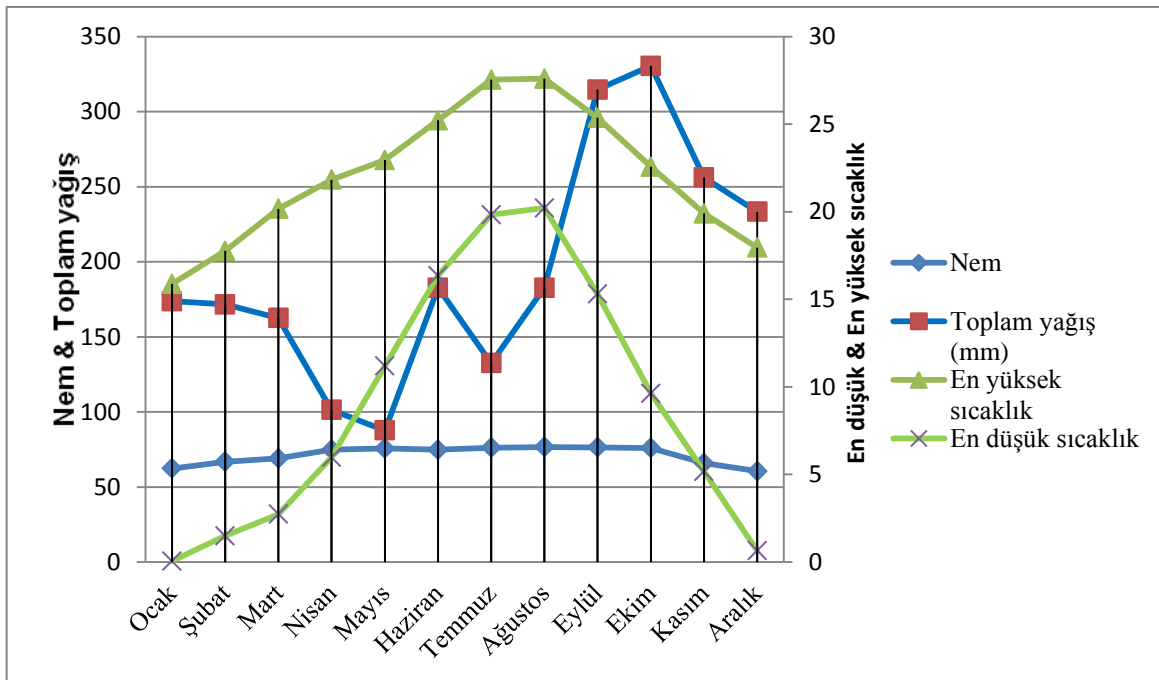
İncelenen parametreler yönünden lokasyonlar ve örnekleme noktaları arasındaki farklılıkların ortaya konulmasında varyans analizi, ortalamaların karşılaştırılmasında ise Duncan testi kullanılmıştır. İncelenen parametrelerin birbirleriyle olan ilişki derecelerinin belirlenmesinde korelasyon analizi, tel direklerinin görsel olarak kalite derecelerindeki farklılıkların ortaya konulmasında ise Ki-kare (chi square) analizi kullanılmıştır. İstatistiksel hesaplamalarda JMP 5.0 yazılımından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Artvin İli ve Hopa İlçesi İklim Sonuçlarına Ait Bulgular

Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilen son 10 yıla ait iklim verilerinde görüldüğü üzere Ardanuç ve Borçka ilçelerinin ikisi de Artvin ili adı altında yer almasına rağmen Hopa ayrı bir başlık altında yer almaktadır.

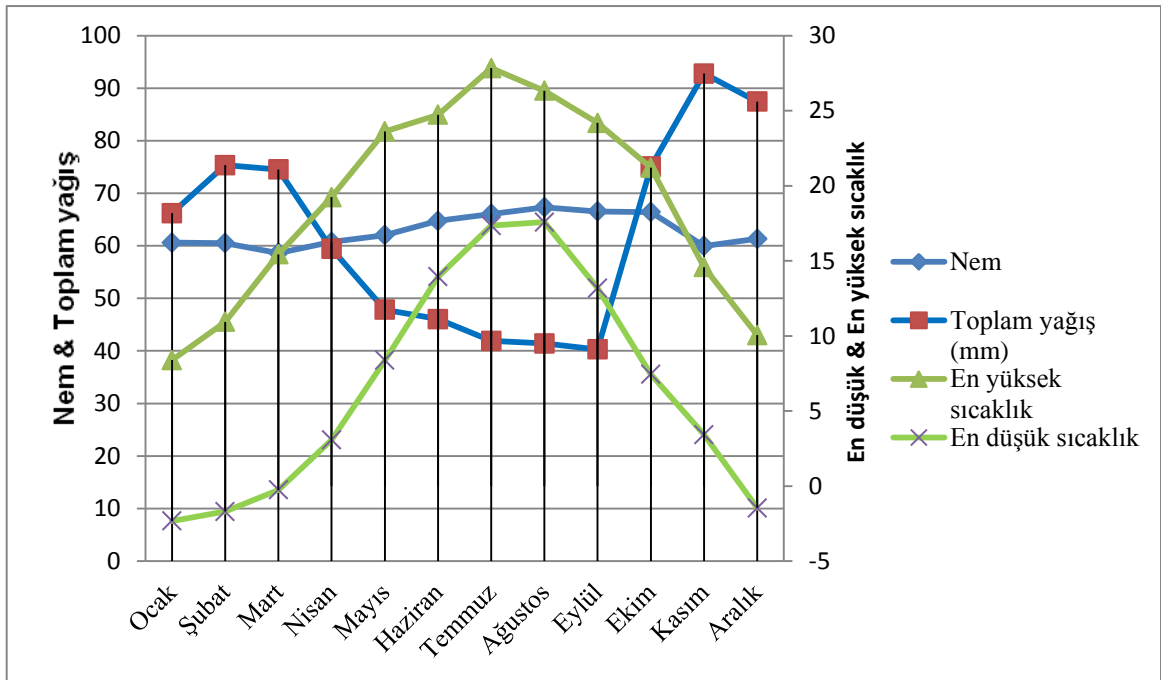
Hopa ilçesindeki toplam yağış 2330 mm, ortalama yıllık nispi nem % 67.5, yıllık ortalama sıcaklık 17.6 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 28). Artvin ili (Borçka ve Ardanuç) iklim verilerinde ise toplam yıllık yağış 748.29 mm, ortalama yıllık nispi nem % 56.2, yıllık ortalama sıcaklık 14.85 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 29).



Şekil 28. Hopa ilçesine ait uzun yıllar iklim verileri

Buradaki iklimsel verilere dayanarak Hopa ilçesinde rakımın düşük (deniz seviyesine yaklaştıkça rakım düşer), ortalama yıllık yağışın ve nispi nemin yüksek olmasından dolayı tel direklerinde görülen yıkanmanın fazla olması beklenmektedir. Avustralya'nın güneybatı kıyılarından elde edilen veriler, buradaki ağaç malzemelerin yenisiyle değiştirilme

oranının denizden uzak kesimlere nazaran daha yüksek olduğunu göstermiştir (Rahman, 2003). Gezer ve ark. (2004c), CCA ile emprenyeli ağaç malzemelerin yıkanmasında emprenye yöntemi, fiksasyon, ortam koşulları, odun örneği veya ağaç malzeme boyutları, odun türü, ağaç malzemenin hizmette bulunma süresi, çözelti pH'sı, çözeltinin tuzluluk derecesi ve sıcaklığın etkili olduğundan bahsetmiştir. Hingston ve arkadaşlarına göre (2001) yıkanma oranlarını birçok faktör etkiler. Bunlar arasında; yerel iklim, yıkanma ortamı, odun özellikleri ve emprenye uygulama teknikleri başlıcalarıdır.



Şekil 29. Artvin iline ait uzun yıllar iklim verileri

Tel direklerdeki bozulma işleminde etkili olan çevresel faktörler; toprak durumu (killi, kumlu veya asidik), iklim ve dış hava koşulları, ıslanma ve kuruma döngüsü, rüzgâr hızı, yağış miktarı ve sıcaklıktır (Rahman, 2003). Topraktaki yüksek metal içerikleri hem CCA ile emprenyeli odun yapıların ilk hizmette kullanılmaya başladığı yıllarda önemli miktarlarının yıkanmasına hem de hizmette kullanıldığı periyot esnasındaki yüksek yıllık yağış ilişkisine dayandırılabilir (Kim ve ark., 2007). Zamanla dış hava koşulları ve yıkanma kombinasyonu daha önce kullanımda olan direklerde etkisini azaltmış olabilir (Ma ve arkadaşları, 2003).

3.2. Toprak Nemi ve Tel Direği Rutubet Değerlerine Ait Bulgular

Burada ölçülen farklı lokasyonlara ait tel direği rutubet değerleri ve her direk için farklı derinlik ve mesafelerden alınmış olan 2 adet toprak örneklerinin rutubet değerinin (0-5 cm derinlik, 50 cm mesafe) ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 8’de verilmiştir.

Bu çalışmada tel direk rutubet değerleri hem artım burgusuyla hem de bir rutubet ölçer cihazı (GANN Hydromette HT 85 T) ile tespit edilmiştir. Rutubet ölçer cihazı ile elde edilen sonuçların, artım burgusu örneklerinden elde edilen değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 9). Ortalama tel direk rutubet değerleri Hopa’da % 19.4, Borçka’da % 15.8 ve Ardanuç’ta % 10.1 olarak tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 8. Her 3 lokasyonda ölçülen toprak nemi ve tel direği rutubet değerlerine ait saptamalar

Lokasyon	Derinlik-Mesafe	Toprak nemi (%)		Tel direk rutubeti (%)	
		Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
Hopa	0-5 cm derinlik	32.7	5.83	19.4	4.41
	50 cm mesafe	33.0	9.14		
Borçka	0-5 cm derinlik	4.9	3.98	15.8	4.70
	50 cm mesafe	6.1	4.73		
Ardanuç	0-5 cm derinlik	6.8	4.111	10.1	2.59
	50 cm mesafe	6.4	4.38		

Tablo 9. Tel direklerinden alınan artım burgusu örneklerinden yararlanılarak elde edilen rutubet değerleri ile rutubet ölçer cihazıyla elde edilen rutubet değerlerinin karşılaştırılması

Lokasyon	Alınan Artım Burgusu Örneklerinden Elde Edilen Rutubet Değerleri (%)		Rutubet Ölçer Cihazı kullanılarak Elde Edilen Rutubet Değerleri (%)	
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
HOPA	19.4	4.4	24.7	2.6
BORÇKA	15.8	4.71	20.4	3.5
ARDANUÇ	10.1	2.6	10	2.1

Tablo 8’de görüldüğü gibi Borçka ilçesinde toprak nem değerlerinin düşük çıkmasında özellikle Çoruh nehri kenarında yer alan tel direklerinin bulunduğu toprak zemininin insan eliyle yapay olarak doldurulmuş olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber elde edilen bulgulara göre Borçka’daki toprakların kum içeriğinin fazla olması da burada en büyük etken olarak düşünülmüştür. Toprağın rutubet yüzdesi; yağışlara, hava sıcaklığına ve su çekme özelliğine (draft) bağlıdır. Yağışlı mevsimlerde topraktaki nem içeriği, kuru mevsime nazaran daha yüksek olmaktadır (Rahman, 2003). Bu yüzden iklim değişikliklerinden dolayı farklı mevsimlerde aynı alanlarda toprak örneği hazırlamak gereklidir. Toprak nem içeriği arttıkça tel direklerindeki bozulmada da artma görülmektedir. Toprak içinde gömülü olan ahşap malzeme bileşeninin güvenilirliği hususunda toprağın nem içeriği önemli bir özelliktir. Rahman (2003) yaptığı çalışmada Avustralya’da Caboolture, Holland Park ve Chelmer bölgelerinde topraklardaki rutubet değerlerini sırasıyla % 16.73, % 11.58 ve % 10.88 bulmuştur. Buna bağlı olarak da bu alanlardaki ortalama tel direk ömrünü sırasıyla 22, 27 ve 32 yıl olarak tespit etmiştir. Böylece tel direğinin etrafındaki toprak neminin tel direk hasarı ya da çürümesi üzerine etkisi olduğunu belirlemiştir.

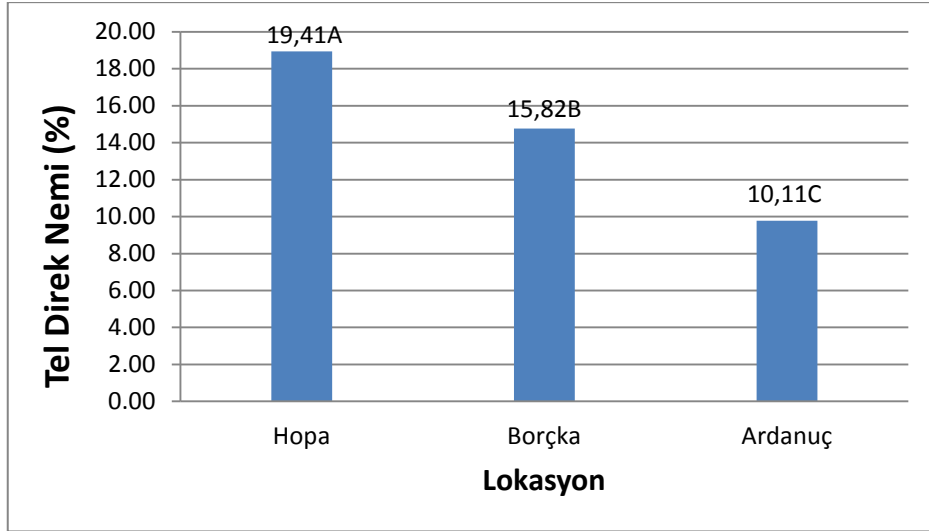
3.2.1. Lokasyonların Tel Direği Rutubet Değerleri Bakımından Değerlendirilmesi

Yapılan basit varyans analizinde tel direği rutubetleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($p<0,01$) (Tablo 10).

Tablo 10. Tel direk rutubetleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	2069	2	1034.5	219.25	0.0001
Gruplar içi	670.02	142	4.72		
Toplam	2739	144			

Duncan testine göre en yüksek tel direk rutubet değeri Hopa lokasyonunda (19,41) tespit edilmiştir, bunu sırası ile Borçka (15,82) ve Ardanuç (10,11) lokasyonları takip etmiştir.



Şekil 30. Duncan testine göre tel direk rutubetleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

Şekil 30'da görüldüğü gibi tel direği rutubet değerleri oranı iklim sonuçlarıyla ilişkili olarak Hopa>Borçka>Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Odundan CCA'nın yıkanmasında birtakım reaksiyonlar rol oynamaktadır. İlk reaksiyonlar odun içerisine suyun penetrasyonu neticesinde olmakta ve böylece odun yüzeyinde koruyucuların çözülmesi ya da hidroliziyle, fikse olmayan bileşenlerin kaybı söz konusu olmaktadır (Cooper, 1994). Odun rutubet içeriği, basınç yükü değeri ve ultrasonik dalgaların hızını etkilemesinden dolayı ölçülmelidir (Benoit ve Sandoz, 2007). Rutubet içeriği mevsimsel olarak değişebilir ve potansiyel çürüme yerlerini teşhis etmek için su lekelerinin görünmesi önemlidir (Seavey ve Larson, 2002). Elde edilen tel direklerine ait rutubet değerlerinin yüksek olmasıyla, tel direklerindeki hasarların yüksek olması arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir.

Tel direklerinin dayanıklılığı direğin sahip olduğu rutubet içeriğinden etkilenmektedir. Rutubet içeriği % 30 civarına düştüğü zaman lif doygunluk noktası oluşmaktadır. Odun materyalinin çürümesi oksijen ve rutubet varlığında yoğun olmaktadır. Çünkü bu durum aerobik mikroorganizmaların (bakteri, mantar vb.) gelişmesine ve

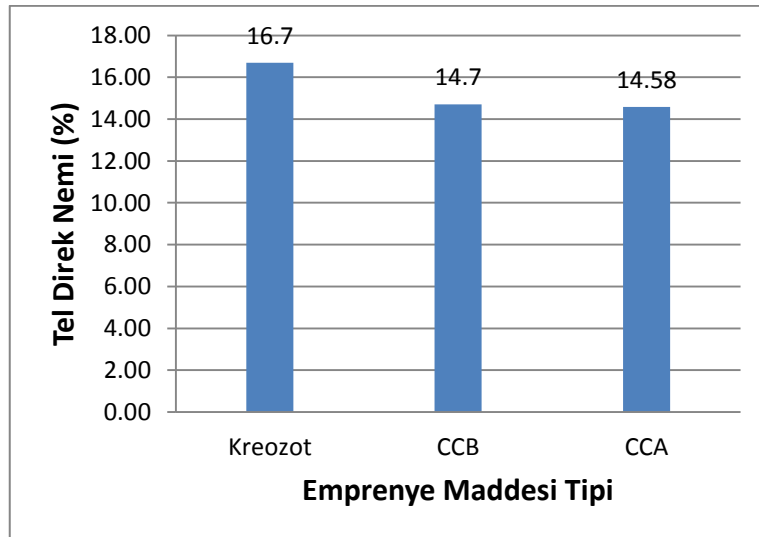
metabolik aktivitesine olanak sağlamaktadır. Tel direği nem içeriği % 20'den daha fazlaysa mantarların odunu degrade edebilme süresi uzayabilmektedir (Rahman, 2003).

3.2.2. Kullanılan Emprenye Maddeleriyle Tel Direği Rutubet Değerleri Arasındaki İlişki

Yapılan basit varyans analizinde tel direklerinin emprenyesi için kullanılan CCA, CCB ve kreozot bakımından tel direklerinin rutubet değerleri arasında istatistiki anlamda bir farklılık bulunamamıştır (Tablo 11).

Tablo 11. Kullanılan emprenye maddeleriyle tel direği rutubet değerleri arasındaki ilişki

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	4.2256	2	2.1128	1.8387	0.9836
Gruplar içi	30.428	142	0.2142		
Toplam	34.6536	144			

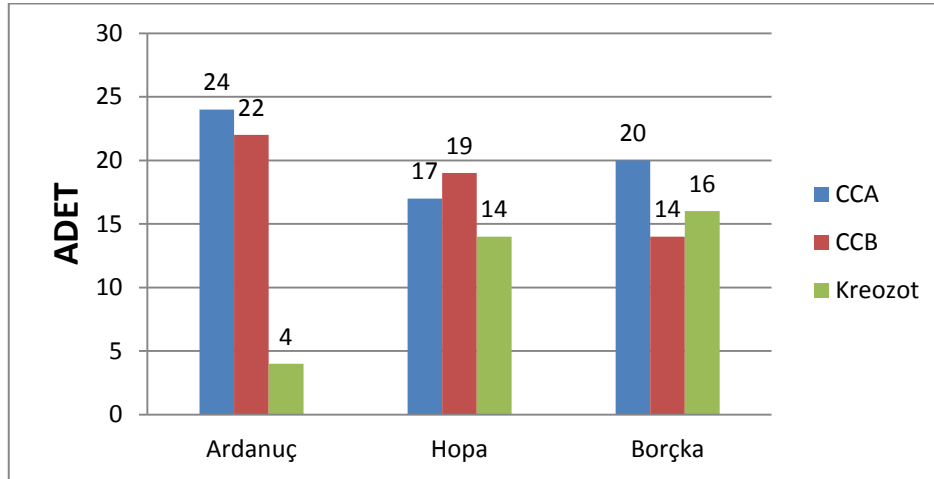


Şekil 31. Kullanılan emprenye maddeleriyle tel direği rutubet değerleri arasındaki ilişki

3.3. Farklı Lokasyonlarda Yapılan Tel Direklerine İlişkin Bulgular

3.3.1. Artvin-Ardanuç, Artvin-Borçka ve Artvin-Hopa Yöresindeki Tel Direklerinde Kullanılan Emprenye Maddeleri ve Hizmet Yıllarına Ait Bulgular

Ardanuç ilçesinde incelenen tel direklerinin 24 adetinin CCA'lı, 22 adetinin CCB'li ve 4 adetinin de kreozotlu olduğu tespit edilmiştir. Borçka ilçesinde incelenen tel direklerinin 20 adetinin CCA'lı, 14 adetinin CCB'li ve 16 adetinin de kreozotlu olduğu ve Hopa ilçesindeyse incelenen tel direklerinin 17 adetinin CCA'lı, 19 adetinin CCB'li ve 14 adetinin de kreozotlu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 32).



Şekil 32. İncelenen tel direklerinin lokasyonlara ve uygulanan emprenye maddesi çeşidine göre dağılımı (adet olarak)

Çalışma alanlarında incelenen tel direklerinin sarıçam odunundan elde edildiği ve çoğunun 1992 ve 1993 yıllarında hizmete sunulduğu tespit edilmiştir ve bu sonuçlar Tablo 17'de verilmiştir. Bu tespitler haricinde Hopa ilçesindeki tel direklerinin bir kısmının çay yetişen bahçelerde yer aldığı ve Ardanuç ilçesindeki tel direklerinin ise bir kısmının dip kısmında otsu bitkiler ve yakınlarında meyve ağaçlarının mevcut olduğu gözlenmiştir. Borçka ilçesindeki tel direklerinin de birçoğunun dip kısmının taşlık olduğu ve Çoruh nehrinin kenarında yer aldığı gözlenmiştir.

Tablo 17’de incelenen tel direklerinin çoğunun 1992 ve 1993 yıllarında hizmete sunulduğu görülmektedir. Buradaki amaç her bir lokasyonda incelenen tel direklerinin aynı yılda hizmette kullanılmaya başlamış olmasına dikkat ederek aynı sürede ne kadar hasara uğradıklarını kıyaslayabilmektir. Çünkü en az 15 yıl önce hizmete sunulan tel direklerinde görülen hasar gelişiminin zamanla doğru orantılı olmasından dolayı elde edilecek verilerin daha sağlıklı olacağı düşünülmüştür. Kullanım yaşı tel direklerinin dayanıklılığını etkilemektedir. Genelde, direğin yenisiyle değiştirilme oranı direk popülasyonunun yaşı ile artmaktadır (Rahman, 2003). Direklerin yaşından dolayı koruyucuların etkinliği azalmaya başlamakta ve böylece dış tarafta çürüklük gelişimi olabilmektedir (Hamm, 1992).

Robinson ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada tel direk yaşı ve CCA yıkanması arasında önemli bir pozitif korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir. Gezer ve ark. (2004c), CCA ile emprenyeli ağaç malzemelerin yıkanmasında emprenye yöntemi, fiksasyon, ortam koşulları, odun örneği veya ağaç malzeme boyutları, odun türü, ağaç malzemenin hizmette bulunma süresi, çözelti pH’sı, çözeltinin tuzluluk derecesi ve sıcaklığın etkili olduğunu bildirmişlerdir.

3.4. Tel Direklerindeki Tahribatlara İlişkin Görsel Olarak Elde Edilen Bulgular

Her 3 lokasyonda bulunan tel direkleri üzerinde yapılan görsel incelemeler sonucu hangi hasarın tel direğinde yüzde kaç oranında mevcut olduğu ve ortalama penetrasyon değerleri gibi bulgular kullanılan emprenye maddesi tipleri esas alınarak ve lokasyonlara bağlı olarak Tablo 12, 13 ve 14’de verilmiştir. Ayrıca Artvin ÇEDAŞ ve TEDAŞ Trabzon Arsin depolarındaki kullanılmamış tel direkleri CCB ile emprenyeli oldukları için bu direklere ait gözlemlerde Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 12. Her 3 lokasyonda CCA ile emprenyeli tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucu elde edilen bulgular

Lokasyon	İncelenen direk sayısı (adet)	Penetrasyon (cm)		Aşırı çatlak (%)	Küçük çatlak (%)	Çürüklük (%)	Böcek hasarı (%)	İnsan hasarı (%)	Renk değişimi (%)	Standart dışı direk oranı*(%)
		Ort	Std**							
HOPA	17 adet	1.9	1.1	29	24	41	35	12	41	0
BORÇKA	20 adet	1.8	0.7	15	65	30	30	5	30	15
ARDANUÇ	24 adet	2.1	0.78	54	46	4	13	0	8	0

* TS 56 Standartlarına (Kullanıma) uygun olmayan tel direği oranı

**Standart sapma

Tablo 13. Her 3 lokasyonda ve depolarda CCB ile emprenyeli tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucu elde edilen bulgular

Lokasyon	İncelenen direk sayısı (adet)	Penetrasyon (cm)		Aşırı çatlak (%)	Küçük çatlak (%)	Çürüklük (%)	Böcek hasarı (%)	İnsan hasarı (%)	Renk değişimi (%)	Standart dışı direk oranı (%)
		Ort	Std.							
HOPA	19 adet	2.9	1.2	11	26	32	36	16	53	11
BORÇKA	14 adet	2.0	0.8	7	64	28	28	14	36	21
ARDANUÇ	22 adet	2.9	0.8	32	50	0	14	0	9	0
ÇEDAŞ	5 adet	1.3	1.26	40	40	40	40	0	60	0
ARSİN Deposu	2 adet	2.7	1.3	0	0	50	0	0	0	0

Tablo 13’de görüldüğü gibi görsel olarak yapılan incelemelerde Trabzon TEDAŞ Arsin deposundaki kullanılmamış tel direklerinin, Artvin ÇEDAŞ deposunda yer alan tel direklerine nazaran daha fazla hasarlı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerden elde edilen bulgular her 2 yerdeki depolama koşullarının da aynı oranda uygun olmadığını göstermiştir. Bu durumda farklı depolarda görülen tel direklerindeki farklı hasar miktarı üzerinde tel direği rutubet değerlerinin etkili olabileceğini akla getirmektedir. Ortalama tel direği rutubet değeri Artvin ÇEDAŞ deposundaki direklerde % 34.1, Trabzon TEDAŞ Arsin deposundaki direklerde % 43.6 olarak tespit edilmiştir.

Tel direklerinin dayanıklılığı direk rutubet içeriğinden etkilenir ve rutubet içeriği % 30 civarına düştüğü zaman lif doyum noktası oluşur. Odun materyalinin çürümesi

oksijen ve rutubet varlığında yoğun olmaktadır. Çünkü bu durum aerobik mikroorganizmaların (bakteri, mantar vb.) gelişmesine ve metabolik aktivitesine olanak sağlamaktadır. Tel direği rutubet içeriği % 20'den daha fazlaysa mantarların odunu degrade edebilme süresi uzayabilmektedir (Rahman, 2003).

Tablo 14. Her 3 lokasyonda Kreozot ile emprenyeli tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucu elde edilen bulgular

Lokasyon	İncelenen direk sayısı (adet)	Penetrasyon (cm)		Aşırı çatlak (%)	Küçük çatlak (%)	Çürüklük (%)	Böcek hasarı (%)	İnsan hasarı (%)	Renk değişimi (%)	Standart dışı direk oranı (%)
		Ort	Std.							
HOPA	19 adet	2.9	1.2	11	26	32	36	16	53	11
BORÇKA	14 adet	2.0	0.8	7	64	28	28	14	36	21
ARDANUÇ	22 adet	2.9	0.8	32	50	0	14	0	9	0

Tablo 12, 13 ve 14' de görüldüğü gibi Ardanuç ilçesindeki tel direklerinin yaklaşık % 75-80'inde (bu ilçede sıcaklıklar arasındaki farkın yüksek olmasından dolayı) aşırı büyük ve/veya küçük çatlaklar gözlenmiştir. Hopa ilçesindeki direklerin yaklaşık % 65'inde büyük ve/veya küçük çatlaklar gözlenmiştir. Borçka ilçesindeki direklerin ise yaklaşık % 60'ında aşırı büyük ve/veya küçük çatlaklar gözlenmiştir. Hizmette kullanılan 5-8 yıllık bir direk, iletişim hatlarına ve kabloları destek görevinden dolayı üzerine uygulanan yüklerin etkisi altında zayıflamakta ve daha sonra çevresel değişimler ile ıslanma ve kuruma döngülerinden dolayı çatlamaktadır. Bunun haricinde kurutma ve yüksek basınç altında emprenye etme gibi uygulamalar sonucunda da çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu ve bunun gibi çatlaklardan içeri giren zararlılar odunu degrade ederek tel direklerinin direncini ve kullanım ömrünü azaltmaktadır (Rahman, 2003).

Görsel olarak yapılan incelemelerde çürüklük oranı en fazla sırasıyla; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçesinde tespit edilmiştir. Böcek ve insan hasarı da aynı şekilde en fazla sırasıyla; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçesinde gözlenmiştir (Tablo 12, 13 ve 14). Böceklerin açtığı yarıklarından içeriye çürüklük mantarları girebilmekte ve böylece oduna birlikte zarar verebilmektedirler (Hamm, 1992).

Tel direklerinde görülen renk değişimi olayı en fazla sırasıyla; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçelerinde gözlenmiştir. Kreozotla emprenyeli direklerde kanama olayı ise en

fazla sırasıyla; Hopa, Ardanuç ve Borçka ilçelerinde gözlenmiştir. Bu durumda en fazla hasarın sırasıyla; Hopa>Borçka>Ardanuç lokasyonlarında görüldüğüne dair elde edilen bulguları destekler niteliktedir. Bununla beraber elde edilen bulgular tel direklerinde görülen çürüklük, böcek hasarı, renk değişimi ve kanama gibi olayların, tel direkleri üzerinde görülen çatlaklara nazaran tel direği dayanıklılığını daha fazla etkilediğini düşündürmektedir.

3.4.1. Görsel Olarak Elde Edilen Tel Direklerindeki Tahribatların Lokasyonlar Arası Farklılıklarının Belirlenmesi

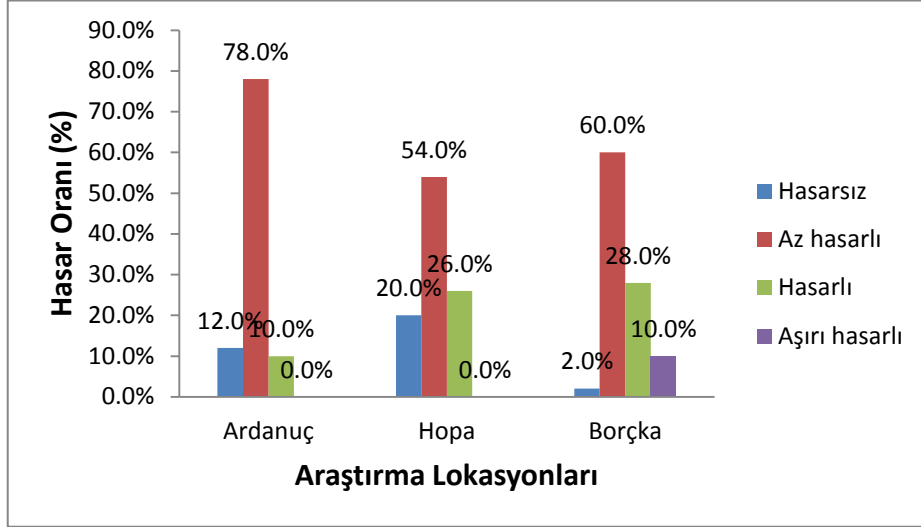
Burada tüm lokasyonlardaki tel direklerine ait görsel incelemeler sonucu yapılan tespitlerden (renk değişimi, kanama, aşırı çatlak, ufak tefek çatlak, çürüklük, böcek hasarı, insan hasarı, standart dışı olma) hiçbirine sahip olmayan direkler hasarsız olarak sınıflandırılmıştır. Bununla beraber sadece 1 çeşit hasar tespit edilen direkler az hasarlı, 2 çeşit hasarın bir arada tespit edildiği direkler hasarlı, 3 veya daha fazla hasarın bir arada görüldüğü direklerde aşırı hasarlı olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre istatistiksel analizler yapılmıştır.

3.4.1.1. Ki-kare (Chi-Square) Görsel Kalite Analizi (Lokasyonlar arası farklılık)

Hasarsız direk oranının en fazla olduğu lokasyon Hopa lokasyonu (% 20) olmuştur, az hasarlı direk oranı en fazla Ardanuç lokasyonunda (% 78), hasarlı direk oranı en fazla Borçka lokasyonunda (% 28) ve aşırı hasarlı direk oranı da en fazla yine Borçka (% 10) lokasyonunda tespit edilmiştir. Yapılan Ki-kare analizinde, direklerin görsel kaliteleri arasında lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (Ki-kare: 24.18; $p < 0.01$).

Tablo 15. Ki-kare lokasyonlar arası görsel kalite analiz testi

	Değer	Serbestlik derecesi	Önemlilik derecesi
Pearson Ki-kare	24,176 ^a	6	0,000
Likelihood Oranı	27,127	6	0,000
Gözlem sayısı	150		



Şekil 33. Ki-kare görsel kalite analizi (Lokasyonlar arası farklılık)

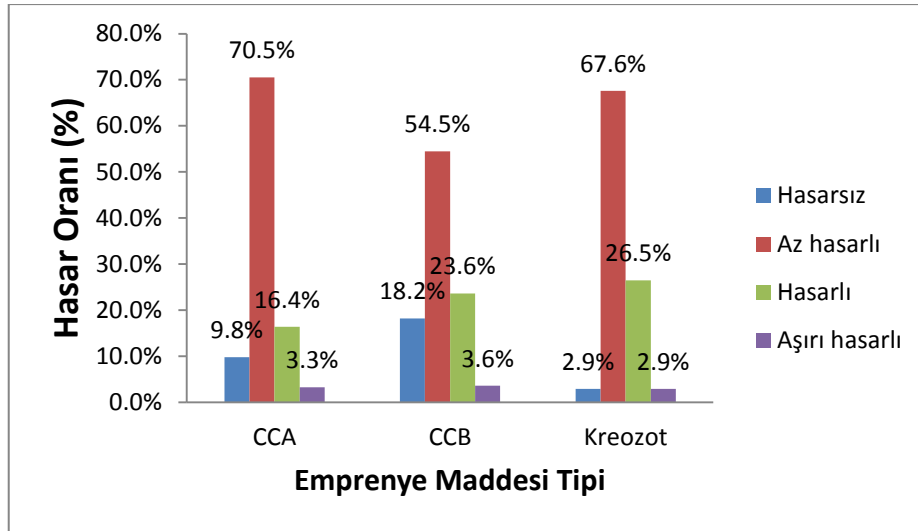
Şekil 33’de görüldüğü gibi görsel olarak aşırı hasarlı ve hasarlı tel direği sırasıyla; Borçka>Hopa≥Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber hasarsız tel direği sırasıyla; Hopa>Ardanuç>Borçka olarak tespit edilmiştir. Ayrıca az hasarlı tel direği sayısı sırasıyla; Ardanuç>Borçka>Hopa olarak tespit edilmiştir.

3.4.2. Tel Direklerindeki Tahribatlara Ait Görsel Tespitlerin Uygulanan Emprenye Maddesi Tipine Bağlı Olarak Farklılıklarının Belirlenmesi

Hasarsız direk oranının en yüksek görüldüğü emprenye maddesi CCB (% 18.2), az hasarlı direk oranının en yüksek görüldüğü emprenye maddesi CCA (% 70.5), hasarlı direk oranının en yüksek görüldüğü emprenye maddesi kreozot (% 26.5) ve aşırı hasarlı direk oranının en yüksek görüldüğü emprenye maddesi ise CCB (% 3.6) olarak tespit edilmiştir. Fakat yapılan chi-square analizinde, direklerin görsel kaliteleri arasında kullanılan emprenye maddeleri arasında istatistiki anlamda bir farklılık bulunamamıştır (ki-kare: 7.04: $p>0.05$).

Tablo 16. Ki-kare uygulanan empenye maddesi tipine bağlı görsel kalite analiz testi

	Değer	Serbestlik derecesi	önemlilik derecesi
Pearson Ki-kare	7,037 ^a	6	0,317
Likelihood Oranı	7,635	6	0,266
Gözlem sayısı	150		



Şekil 34. Görsel incelemeler sonucu elde edilen bulguların uygulanan empenye maddesi trine bağlı olarak değişimi

Her 3 lokasyonda görsel olarak hasarsız ve aşırı hasarlı görünen tel direklerinin genellikle bor içeren empenye maddeleriyle (CCB>CCA>Kreozot) empenyeli olduğu belirlenmiştir (Şekil 34). Bununla beraber hasarlı görünen tel direklerinin Kreozot>CCB>CCA olduğu belirlenmiştir. Ayrıca az hasarlı görünen tel direklerinin CCA>Kreozot>CCB olduğu belirlenmiştir (Şekil 34).

3.5. Tel Direklerindeki Tahribatlara İlişkin Bulgular

Bu çalışmada incelenen toplam 150 adet tel direği (Tablo 17) arasından Hopa ilçesindeki 20 adet tel direğinden (10 adet CCA'lı, 6 adet CCB'li ve 4 adet kreozotlu), Borçka ilçesindeki 30 adet tel direğinden (9 adet CCA'lı, 10 adet CCB'li ve 11 adet

kreozotlu), Ardanuç ilçesindeki 31 adet tel direğinden (14 adet CCA'lı, 13 adet CCB'li ve 4 adet kreozotlu), Artvin ÇEDAŞ deposundaki 5 adet tel direği (kontrol amaçlı, CCB'li) ve Trabzon Arsin deposundaki 2 adet tel direğinden (kontrol amaçlı, CCB'li) olmak üzere toplam 88 adet tel direğinden (1 adet tel direğinden sadece tomografi almak yaklaşık 2 saat zaman alıyor) tomografi ölçümü alınmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasında 3 lokasyonda (Borçka, Hopa, Ardanuç) toplam 150 adet tel direğinden hem 45° lik açı aparatıyla tel direklerinin toprakla temas eden kısımlarından hem de gövde zonundan olmak üzere toplam 314 adet (7 adet tel direği depolarda) Rezistograf ölçümü alınmıştır. Bununla birlikte, 157 adet tel direğinden ise Mikroçekiç cihazıyla ölçüm alınmıştır. Böylece tel direklerinin iç kısımlarında çürüklük olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Odunun çürümesine neden olan mantarlar meydana getirdikleri çürüklük tiplerine göre sınıflandırılabilir. Çürüklük tipleri çoğunlukla hücre çeperi bileşenlerindeki bozuşmaya göre tanımlanmaktadır. Beyaz çürüklük mantarları tüm odun bileşenlerini tahrip ve metabolize etme yeteneğine sahiptir. Araştırmalara göre, enzimatik kapasiteleri değişiklik gösteren farklı beyaz çürüklük mantarları hücre çeperi bileşenlerini değişik oranda degrade etmektedir. II. Tip beyaz çürüklük mantarları tüm bileşenleri aynı oranda tahrip ederken, I. tipte olanlar öncelikle lignini daha hızlı biçimde bozundurmaktadır. Geriye kalan odun beyaz renkte ve lifli bir hal almaktadır (Şekil 35) (TÜBİTAK, Proje No:108O414).



Şekil 35. TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda CCA ile emprenyeli tamamen misellerle sarılmış bir tel direği ve başka bir tel direğinde tespit edilen beyaz çürüklük

Tablo 17. Her 3 lokasyonda incelenen tel direklerinin hangi yılda ve ne tür emprenye maddesiyle işleme tabi tutulduğuna ait bulgular

Lokasyon	Emprenye mad.	Lokasyon	Emprenye mad.	Lokasyon	Emprenye mad.
B-1	CCA-92	A-1	CCA-92	H-1	CCA-94
B-2	KREOZOT-92	A-2	CCA-93	H-2	CCA-94
B-3	KREOZOT-92	A-3	CCA-92	H-3	CCB-94
B-4	KREOZOT-92	A-4	CCA-92	H-4	CCB-94
B-5	CCA-92	A-5	KREOZOT-76	H-5	CCA-89
B-6	KREOZOT-92	A-6	CCA-92	H-6	KREOZOT-94
B-7	KREOZOT-92	A-7	CCB-92	H-7	CCA-89
B-8	CCA-92	A-8	CCA-92	H-8	CCA-89
B-9	KREOZOT-94	A-9	CCA-92	H-9	KREOZOT-94
B-10	CCA-94	A-10	CCA-92	H-10	CCB-94
B-11	KREOZOT-92	A-11	KREOZOT-90	H-11	KREOZOT-92
B-12	KREOZOT-92	A-12	CCB-92	H-12	CCA-94
B-13	KREOZOT-96	A-13	CCB-91	H-13	KREOZOT-92
B-14	KREOZOT-95	A-14	CCB-92	H-14	CCA-94
B-15	KREOZOT-96	A-15	KREOZOT-95	H-15	KREOZOT-89
B-16	CCA-94	A-16	CCB-92	H-16	CCA-89
B-17	CCB-99	A-17	CCA-92	H-17	CCB-89
B-18	CCA-99	A-18	KREOZOT-77	H-18	CCB-89
B-19	CCB-91	A-19	CCB-91	H-19	KREOZOT-93
B-20	CCB-99	A-20	CCB-91	H-20	CCA-93
B-21	CCB-99	A-21	CCA-92	H-21	CCB-89
B-22	CCB-99	A-22	CCB-92	H-22	CCA-94
B-23	CCB-99	A-23	CCB-92	H-23	CCB-89
B-24	CCA-99	A-24	CCB-92	H-24	CCA-94
B-25	CCB-91	A-25	CCB-92	H-25	CCB-89
B-26	CCA-91	A-26	CCA-92	H-26	KREOZOT-94
B-27	CCB-93	A-27	CCA-92	H-27	CCB-89
B-28	CCB-93	A-28	CCA-92	H-28	CCB-89
B-29	CCA-93	A-29	CCA-92	H-29	CCB-89
B-30	CCB-93	A-30	CCA-92	H-30	CCB-89
B-31	CCA-99	A-31	CCA-93	H-31	CCA-94
B-32	CCB-87	A-32	CCB-92	H-32	KREOZOT-94
B-33	CCB-93	A-33	CCA-93	H-33	CCA-89
B-34	CCB-91	A-34	CCB-91	H-34	KREOZOT-94
B-35	KREOZOT-96	A-35	CCB-92	H-35	KREOZOT-87
B-36	CCA-94	A-36	CCB-92	H-36	KREOZOT-94
B-37	KREOZOT-94	A-37	CCA-93	H-37	KREOZOT-93
B-38	KREOZOT-94	A-38	CCB-91	H-38	CCB-88
B-39	KREOZOT-94	A-39	CCB-92	H-39	CCA-92
B-40	KREOZOT-94	A-40	CCB-93	H-40	CCB-94

Tablo 17'nin Devamı

Lokasyon	Emprenye mad.	Lokasyon	Emprenye mad.	Lokasyon	Emprenye mad.
B-41	CCA-95	A-41	CCA-93	H-42	CCA-94
B-42	CCA-95	A-42	CCB-9	H-42	CCB-94
B-43	CCA-95	A-43	CCB-84	H-43	CCA-89
B-44	CCA-95	A-44	CCB-92	H-44	CCB-95
B-45	CCB-93	A-45	CCB-78	H-45	CCB-95
B-46	CCA-95	A-46	CCA-92	H-46	CCB-95
B-47	CCA-95	A-47	CCA-92	H-47	KREOZOT-95
B-48	CCA-93	A-48	CCA-92	H-48	KREOZOT-92
B-49	CCA-95	A-49	CCA-93	H-49	CCA-92
B-50	CCA-95	A-50	CCA-92	H-50	CCB-77

Esmer çürüklük mantarları öncelikle hücre çeperi karbonhidratlarını degradasyona uğratmaktadır. Geriye modifiye edilmiş lignin kalmaktadır. Çürüklüğün erken aşamasında hemiselülozlar selülozlardan daha hızlı bir şekilde tüketilmektedir. Esmer çürüklük, çürümenin daha erken aşamalarında sekonder çeperdeki karbonhidratların yoğun bir şekilde tahrip edilmesiyle beyaz çürüklükten farklılaşmaktadır (TÜBİTAK, Proje No:108O414) (Şekil 36).



Şekil 36. Artvin ÇEDAŞ ve Trabzon TEDAŞ Arsin Deposunda atıl halde bulunan CCA ile emprenyeli sarıçam tel direklerinin toprak zonunda tespit edilen esmer çürüklükler

Yumuşak çürüklük mantarlarının hücre çeperi bileşenlerinde yaptığı tahribat dikkate değer ölçüde bir çeşitlilik göstermektedir. Birçok yumuşak çürüklük mantarının

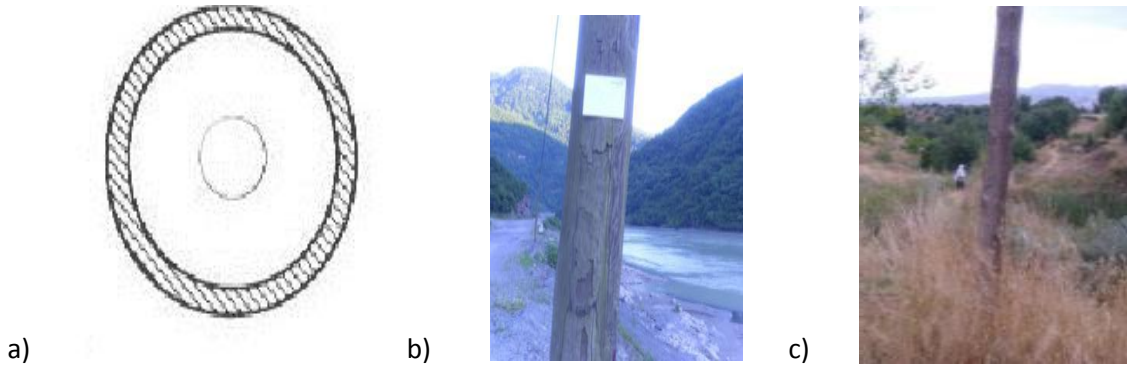
temel hedefi odun karbonhidratlarıdır. Lignin sınırlı miktarda tahrip edilir ve bu anlamda esmer çürüklük tahribatını andırırlar. Fakat diğer bazı yumuşak çürüklük mantarları beyaz çürüklük mantarlarına benzer şekilde, iğne yapraklı ağaçlardaki lignini karbonhidratlardan daha fazla miktarda tahrip etmektedir. Yumuşak çürüklük mantarlarının birçoğu birkaçı istisna olmakla birlikte, selüloz birimlerini hemiselüloz birimlerinden daha hızlı bir oranda bozundurmaktadır. Yumuşak çürüklük mantarı ise selülozun kristal zonunu degrade edebilme yeteneğine sahiptir. Sekonder çeperin S2 tabakasında meydana getirilen karakteristik oyuklar bunun göstergesidir. Yumuşak çürüklüğün geniş bir tanımı, hücre çeperi bileşenlerinin mikro mantarlar tarafından degradasyona uğratılması olarak kabul edilmektedir. Yumuşak çürüklük genellikle tel direklerin yüzeyinde ve toprak zonunda tespit edilmiştir (TÜBİTAK, Proje No:108O414) (Şekil.37).



Şekil 37. TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda atıl haldeki tel direklerinde görülen yumuşak çürüklük (Esmer ve Beyaz Çürüklükle bir arada oluşmuş)

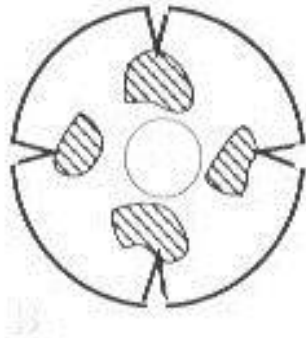
Yapılan incelemeler sonucunda tel direklerinin enine kesitinde yaygın olarak tespit edilen çürüklük modelleri aşağıda verilmektedir.

1. Yüzeysel çürüklük: Genellikle çürüklüğün yeni başladığı, ilk aşamasında görülen veya aşırı rutubete maruz kalan tel direklerinin yüzeylerinde meydana gelen yumuşak çürüklük sonucu görülen modeldir (Şekil 38).



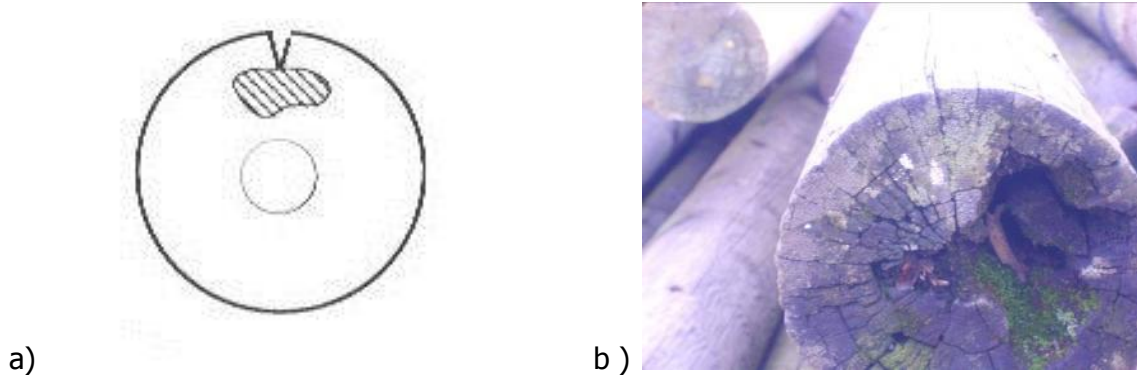
Şekil 38. a) Yüzeysel çürüklük (Wang ve Zabel, 1990) b) Borçka ve c) Ardanuç ilçesinde tel direklerinde tespit edilen yüzeysel çürüklük tipi

2. Küçük çürüklük zonları: Genellikle tel direklerinin yüzeylerinde bulunan çatlak ve yarıklardan mantar misellerinin direğin iç kısımlarına girmesiyle empenyesiz kısımlarda küçük çürüklük bölgelerinin oluşturulmasıdır (Şekil 39).



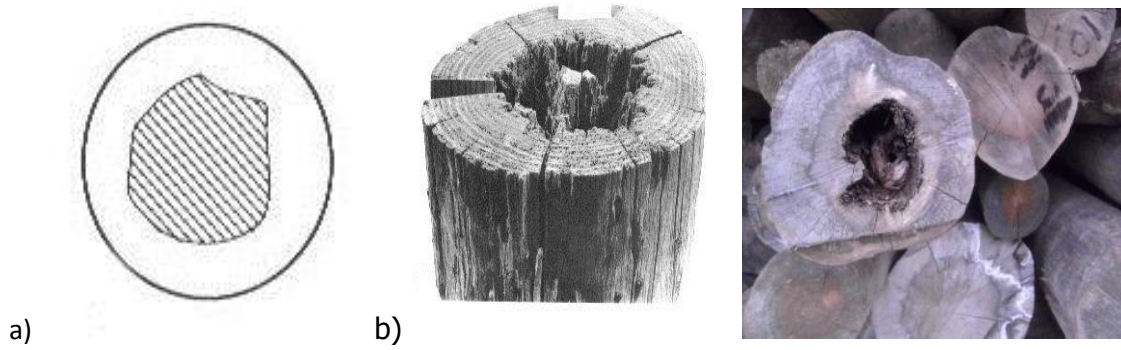
Şekil 39. Tel direklerinde tespit edilen küçük çürüklük zonları (Wang ve Zabel, 1990)

3. Büyük çürüklük zonları: Bu tip çürüklük modelinde de mantar miselleri tel direklerinin yüzeylerinde bulunan derin çatlaklardan girerek empenyesiz kısımlarda çürüklük bölgesi oluşturmaktadır. 2 nolu maddede açıklanan çürüklük modeli tipinin ilerlemiş aşamasıdır (Şekil 40).



Şekil 40. a) Tel direklerinde tespit edilen büyük çürüklük zonları (Wang ve Zabel, 1990).
b) Trabzon Arsin deposunda tespit edilen büyük çürüklük zonları

4. Oyuk tipi çürüklük: Tel direklerinin emprenye edilmesinden önce mantar misellerinin direklerin iç kısımlarına girmesi ve uygun ortam oluştuğunda bu iç kısımları çürütmesiyle büyük oyuklar oluşmaktadır. Diğer yandan, tel direklerinin uç kısımlarının aşırı yağış ve güneşe maruz kalmasından dolayı da bu tip çürüklük yapısı tel direklerinin uç/tepe kısımlarında tespit edilmiştir (Şekil 41).



Şekil 41. a) Oyuk tipi çürüklük (Wang ve Zabel, 1990) b) Arsin deposunda bulunan tel direklerinde tespit edilen oyuk tipi çürüklük

3.6. Gerek Kullanımda Bulunan Gerekse Atıl Haldeki CCA, CCB ve Kreozot ile Emprenyeli Tel Direklerinde Tespit Edilen Diğer Tahribat ve Kusurlar

3.6.1. Böcek Tahribatı: Bu çalışma kapsamında yapılan incelemeler sonucunda kullanımda bulunan özellikle Ardanuç yöresindeki tel direklerinde böcek tahribatının yaygın olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 42). Böcek tahribatı genellikle direklerin

emprenye işlemine hazırlanması sırasında dış kabuk ve kambiyum tabakasının uzaklaştırılması işleminin tam olarak yapılmadığı direklerde tespit edilmiştir. Bununla birlikte; mantar tahribatına uğramış tel direklerinde böcek tahribatının yoğun olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, atıl haldeki depolarda bekletilen tel direklerinde böcek tahribatının aşırı seviyede olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 43).



Şekil 42. Artvin-Borçka yöresinde ve ÇEDAŞ deposunda yoğun bir şekilde böcek tahribatına uğramış tel direği



Şekil 43. Trabzon Arsin deposunda atıl haldeki tel direklerinde görülen böcek hasarları

3.6.2. Yakılma: Kullanımda bulunan tel direklerinde görülen tahribatlardan biriside tel direklerinin dibinde yakılan ateşten kaynaklanmaktadır. Özellikle şehir merkezi dışındaki direklerde bu tahribat gözlemlenmiştir. Yakılan ateş sonucu tel direklerinin toprak zonunda özellikle tel direklerinin emprenyeli dış kısmında büyük hasar oluşmakta

buda mantar ve böcek zararlılarının tel direğini tahrip etmelerini kolaylaştırmaktadır (Şekil.44).



Şekil 44. Yakılan ateş sonucu tel direklerinin toprak zonunda ve daha üst kısımlarında meydana gelen yanmalar

3.6.3. Tel direklerinde Derin Çatlak ve Yarıklar: Kullanımda bulunan CCA ile emprenyeli tel direklerinde belirlenen kusurlardan biriside derin çatlak ve yarıklardır. Bu çalışma kapsamında incelenen tel direklerin % 85'inde derin çatlaklar tespit edilmiştir (Şekil 45). Özellikle, toprak zonuna yakın kısımlardaki çatlaklar, tel direklerinin çürümeye en hassas olan bu kısımlarına mantar misellerinin girmesini kolaylaştırmakta ve tel direklerinin çürümelerine neden olarak beklenen kullanım süresinden daha kısa sürede atıl hale gelmelerine neden olmaktadır.



Şekil 45. Artvin-Ardanuç yöresindeki tel direklerinde tespit edilen çatlak ve yarıklar

Tel direklerinde tespit edilen derin çatlaklar ve yarıkların oluşmasının iki önemli nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tel direklerinin empenyesi sırasında uygulanan basıncın hızla yükseltilmesi tel direklerinde çatlaklara neden olmaktadır. Diğer neden ise, empenye işleminden sonra yüksek rutubete sahip tel direklerinin aşırı rutubet kaybetmesidir. Bu durum çatlakların oluşmasına sebep vermektedir. Ayrıca, tel direklerinin kullanım yerlerinde aşırı yağış ve güneşe maruz kalmalarının bu çatlakları oluşturduğu düşünülmektedir. Tel direklerine insanlar tarafından verilen hasarlar da tel direklerinin kullanım sürelerinin beklenenden daha kısa olmasına neden olmaktadır (Şekil 46,47).



Şekil 46. Artvin-Borçka ve Ardanuç yöresindeki tel direklerinde tespit edilen insanların neden olduğu kusurlar



Şekil 47. Artvin-Merkez, Borçka ve Ardanuç yöresindeki tel direklerinde tespit edilen insanların neden olduğu kusurlar (saçma sıkılmış bir tel direği ve kişisel amaçlar için kullanılan tel direkleri)

3.6.4. Tel Direklerinde Gerçekleştirilen İşlemler: TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda kullanıma hazır CCA ile emprenyeli tel direklerinde yapılan incelemelerde, tel direklerindeki elektrik aksamlarının takılması için gerekli olan deliklerin açılmadığı tespit edilmiştir. Bu deliklerin emprenye işleminden sonra açılması nedeniyle, emprenyesiz kısımlar açığa çıkmaktadır. Bu açılan delikler mantar misellerinin ve böcek zararlılarının kolayca direklerin emprenyesiz iç kısımlarına ulaşmasına ve böylece tel direklerinin tahrip edilmesine neden olmaktadır (Şekil 48).



Şekil 48. Trabzon TEDAŞ Arsin Deposunda henüz kullanılmaya başlanmamış tel direklerindeki elektrik aksamlarının takılması için gerekli olan deliklerin açılmadığının tespit edilmesi

3.6.5. Emprenye Maddesinin Nüfuz Derinliği: Gerek kullanımda bulunan CCA ile emprenyeli tel direklerinden artım burgusuyla alınan örneklerden gerekse TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin ve Artvin ÇEDAŞ Deposunda kullanılmamış ve atıl haldeki tel direklerinden alınan örneklerde emprenye maddesinin nüfuz derinliği incelenmiştir. Borçka, Ardanuç ve Hopa ilçesindeki tel direklerinde ortalama penetrasyon değerleri sırasıyla; 1,9 cm, 2,5 cm ve 2,3 cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 49) ve (Tablo 18).

Tablo 18. Her 3 lokasyondaki tel direklerinin penetrasyon, çap ve rakım değerlerine ait ortalama ve standart sapma değerleri

Lokasyon	Penetrasyon (cm)		Direk çapı (cm)		Rakım (m)	
	Ortalama	Std sapma	Ortalama	Std sapma	Ortalama	Std sapma
Hopa	2.3	1.10	18	2.67	117	66.74
Borçka	1.9	1.15	17	1.96	164	101.68
Ardanuç	2.5	0.85	18	2.58	355	20.25

Ortalama tel direk çapı Borçka'da; 17 cm, Hopa'da; 18 cm ve Ardanuç'ta; 18 cm ve ortalama rakım değerleri Borçka'da; 164 m, Hopa'da; 117 m ve Ardanuç'ta; 355m olarak tespit edilmiştir (Tablo 18).



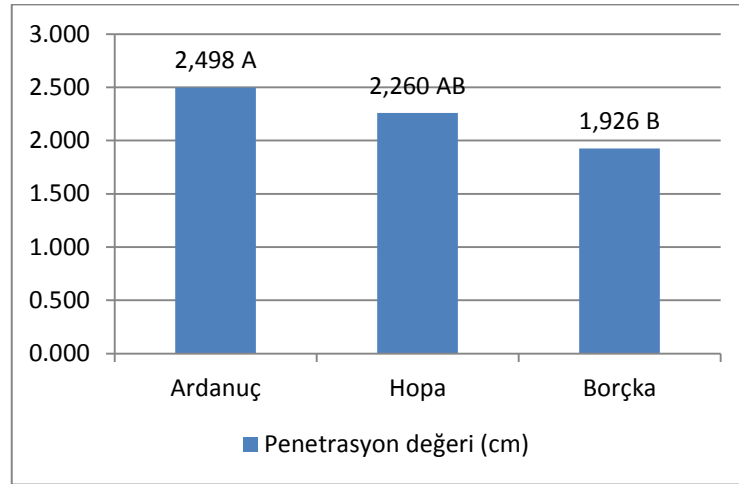
Şekil 49. Tel direklerinde ortalama penetrasyon değerleri

3.6.5.1. Penetrasyon Değerleri Bakımından Lokasyonlar Arasındaki Farklılığın Belirlenmesi

Yapılan varyans analizinde penetrasyon değerleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p > 0,01$; Tablo 19). Duncan testine göre en yüksek penetrasyon değeri Ardanuç lokasyonunda (2,498 cm) tespit edilmiştir, bunu sırası ile Hopa (2,260 cm) ve Borçka (1,926 cm) lokasyonlar takip etmiştir (Şekil 50).

Tablo 19. Penetrasyon değerleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	8,256	2	4,128	5.04	0.0076
Gruplar içi	120.266	147	0.818		
Toplam	128.522	149			



Şekil 50. Duncan testine göre lokasyonlar arası penetrasyon değerleri

Şekil 50’de görüldüğü gibi penetrasyon değerleri en yüksek Ardanuç>Hopa>Borçka olarak tespit edilmiştir. Tel direklerinin hizmet alanına ilk dikildiği andaki penetrasyon değerlerinin eşit olduğu düşünülürse en fazla yıkanma Hopa ve Borçka’da görüleceği için buradaki penetrasyon değerlerinin düşük, Ardanuç ilçesinin ise yüksek olması beklenmekteydi ve sonuçlar beklenildiği gibi bulunmuştur. Fakat iklimsel özelliklere dayanarak Hopa ilçesindeki penetrasyon değerinin beklenenin aksine, Borçka ilçesinden daha yüksek olması ise bu durumun toprak özelliklerinden veya tel direklerinin hizmete sunulduğu ilk aşamalarda eşit penetrasyon değerlerine sahip olmamalarından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Toprak bileşimi ve özellikleri (fiziksel ve kimyasal) gibi çevresel faktörlerin topraktaki çürümeye etkisi iyice araştırılmamıştır (Rahman, 2003). Toprağın kimyasal bileşimi ve o yöredeki anakayanın yapısına bağlı olarak toprak tekstürü ve pH değişkenlik gösterebilir (Çepel, 1988). Tel direklerindeki bozulma işlemlerinde etkili olan çevresel faktörler; toprak durumu (killi, kumlu veya

asidik), iklim ve dış hava koşulları, ıslanma ve kuruma döngüsü, rüzgâr hızı, yağış miktarı ve sıcaklık olarak bildirilmiştir (Rahman, 2003).

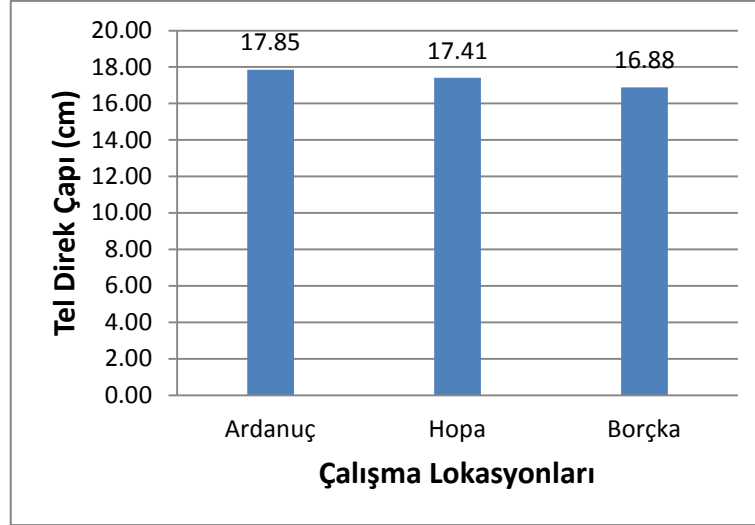
Robinson ve ark., (2006) bildirdiğine göre, direklerin toprak altında olan kısımlarından alınan örnekler, toprak üstündeki kısımlarından alınan örneklere nazaran daha düşük CCA konsantrasyonlarına sahip olmuştur. Fakat bu durum henüz kullanıma sunulmamış direklerde farklılık göstermemiştir. Bu durumda bize yıkanmanın olduğunu göstermektedir (Robinson ve ark., 2006). Tel direklerindeki çatlaklardan içeri giren zararlılar odunu degrade ederek tel direklerinin direncini ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca yıkanmanın etkisiyle uzaklaşan koruyucular da bu duruma olanak sağlamaktadır (Rahman, 2003).

3.6.5.2. Lokasyonların Tel Direk Çapları Bakımından Değerlendirilmesi

Yapılan basit varyans analizinde direk çapları bakımından lokasyonlar arasında istatistiki anlamda önemli seviyede bir farklılık bulunamamıştır ($p>0,05$) (Tablo 20).

Tablo 20. Tel direk çapları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	23.325	2	11.663	2,349	0.0992
Gruplar içi	715.09	144	4.966		
Toplam	738.422	146			



Şekil 51. Duncan testine göre tel direk çapları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

Şekil 51’de görüldüğü gibi tel direği çap değerleri Ardanuç>Hopa>Borçka şeklindedir. Ayrıca yapılan korelasyon analizi sonuçları penetrasyonla tel direği çapının doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Etkili toprak faktörlerinden dolayı direğin lif dayanıklılığında ve çapında azalma başlamaktadır. Bu faktörler artan mantar ve böcek (termit) saldırısıyla merkezden dışa doğru ya da dıştan merkeze doğru liflerin çürümesine sebep olabilmektedir (Rahman, 2003).

3.7. Tel Direklerinin İç Kısımlarındaki Tahribatların Tespiti

3.7.1. Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Bulgular

Artvin-Hopa, Artvin-Borçka ve Artvin-Ardanuç yöresinde Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla ölçülen tel direklerinden elde edilen ortalama çürümüş alan oranları kullanılan emprenye maddesi tipine bağlı olarak Tablo 21, 22 ve 23’de verilmiştir. Bununla beraber tel direklerindeki hasar oranının belirlenmesinde yapılan istatistiksel analizlerde, sensörler arasındaki ultrasonik hızlardan 2 nolu sensörden→5 nolu sensöre doğru hareket eden ultrasonik hız, Mikroçekiç cihazıyla elde edilen ultrasonik hıza yakın olması nedeniyle tercih edilmiştir (Şekil.56 ve Şekil.60). Tomografi cihazı ölçümlerine ait istatistiksel analizler hem bu hıza hem de çürümüş alan oranına göre yapılmıştır. Ayrıca

farklı lokasyonlara ait Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen 2 nolu sensörden→5 nolu sensöre doğru hareket eden ortalama ultrasonik hız değerleri de Tablo 21, 22 ve 23’de verilmiştir. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tel direkleri üzerinde yapılan ölçümlere göre direkler; sağlam olan direkler, çürüklük başlangıcında olan direkler, çürük veya hasarlı direkler olarak 3 kalite sınıfına ayrılmıştır. Bu sınıflandırma işleminde Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla depolarda henüz kullanıma sunulmamış tel direkleri (7 adet) üzerinde yapılan ölçümler sonucunda, kullanılmamış tel direklerindeki ortalama değer 0.0110 m^2 olarak tespit edildiği için bu değer esas alınarak tel direk kalite sınıflandırılması yapılmıştır (Tablo 21, 22 ve 23).

Tablo 21. CCA ile empenyeli tel direklerinden alınan Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı ölçümlerinin lokasyonlara bağlı değişimi

Lokasyon	İncelenen direk sayısı	Ölçülen çürük alanlar (m^2)		Ölçülen hız değerleri (m/s)		Sağlam tel direk sayısı (0.0110 m^2 ’den az çürük alan)	Çürüklük başlangıcında olan tel direk sayısı (0.0110-0.0200 m^2 arası)	Çürük veya hasarlı tel direk sayısı (0.0200 m^2 ’den fazla çürük alan)
		*Ort.	**Std.	Ort.	Std.			
HOPA	10	0.0160	0.0050	1114.6	260.52	2	6	2
BORÇKA	9	0.0118	0.0052	1038.88	302.04	4	4	1
ARDANUÇ	14	0.0129	0.0024	1037.85	228.97	3	11	0

*Ortalama

**Standart sapma

Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla CCA ile empenyeli tel direklerinden alınan ölçümler neticesinde Hopa’daki tel direklerinin % 20’sinin , Borçka’daki tel direklerinin % 11’inin, Ardanuç’taki tel direklerinin ise % 0’ının hasarlı veya çürük olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber Hopa’daki tel direklerinin % 60’ının , Borçka’daki tel direklerinin % 44’ünün, Ardanuç’taki tel direklerinin ise % 79’unun çürüklük başlangıcında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Hopa’daki tel direklerinin % 20’sinin , Borçka’daki tel direklerinin % 44’ünün, Ardanuç’taki tel direklerinin ise % 21’inin sağlam olduğu tespit edilmiştir (Tablo 21).

Tablo 22. CCB ile empenyeli tel direklerinden alınan Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı ölçümlerinin lokasyonlara bağlı değişimi

Lokasyon	İncelenen direk sayısı	Ölçülen çürük alan (m ²)		Ölçülen hız değeri (m/s)		Sağlam tel direk sayısı (0.0110 m ² 'den az çürük alan)	Çürüklük başlangıcında olan tel direk sayısı (0.0110-0.0200 m ² arası)	Çürük veya hasarlı tel direk sayısı (0.0200 m ² 'den fazla çürük alan)
		Ort.	Std.	Ort.	Std.			
HOPA	6	0.0181	0.0057	1210.83	195.10	0	3	3
BORÇKA	10	0.0143	0.0031	1046.9	280.58	1	9	0
ARDANUÇ	13	0.0177	0.0055	1032.69	207.93	2	6	5

Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla CCB ile empenyeli tel direklerinden alınan ölçümler neticesinde Hopa'daki tel direklerinin % 50'sinin , Borçka'daki tel direklerinin % 0'mın, Ardanuç'taki tel direklerinin ise % 38'inin hasarlı veya çürük olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber Hopa'daki tel direklerinin % 50'sinin , Borçka'daki tel direklerinin % 90'ının, Ardanuç'taki tel direklerinin ise % 46'sının çürüklük başlangıcında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Hopa'daki tel direklerinin % 0'ının , Borçka'daki tel direklerinin % 10'unun, Ardanuç'taki tel direklerinin ise % 15'inin sağlam olduğu tespit edilmiştir (Tablo 22).

Tablo 23. Kreozot ile empenyeli tel direklerinden alınan Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı ölçümlerinin lokasyonlara bağlı değişimi

Lokasyon	İncelenen direk sayısı	Ölçülen çürük alan (m ²)		Ölçülen hız değeri (m/s)		Sağlam tel direk sayısı (0.0110 m ² 'den az çürük alan)	Çürüklük başlangıcında olan tel direk sayısı (0.0110-0.0200 m ² arası)	Çürük veya hasarlı tel direk sayısı (0.0200 m ² 'den fazla çürük alan)
		Ort.	Std.	Ort.	Std.			
HOPA	4	0.0121	0.0025	1020.5	211.77	1	3	0
BORÇKA	11	0.0111	0.0029	1336.3	237.88	4	7	0
ARDANUÇ	4	0.0169	0.0050	973.5	292.55	0	2	2

Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla kreozot ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümler neticesinde Hopa'daki tel direklerinin % 0'ının , Borçka'daki tel direklerinin % 0'ının, Ardanuç'taki tel direklerinin ise % 50'sinin hasarlı veya çürük olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber Hopa'daki tel direklerinin % 75'inin , Borçka'daki tel direklerinin % 64'ünün, Ardanuç'taki tel direklerinin ise % 50'sinin çürüklük başlangıcında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Hopa'daki tel direklerinin % 25'inin , Borçka'daki tel direklerinin % 36'sının, Ardanuç'taki tel direklerinin ise % 0'ının sağlam olduğu tespit edilmiştir (Tablo 23).

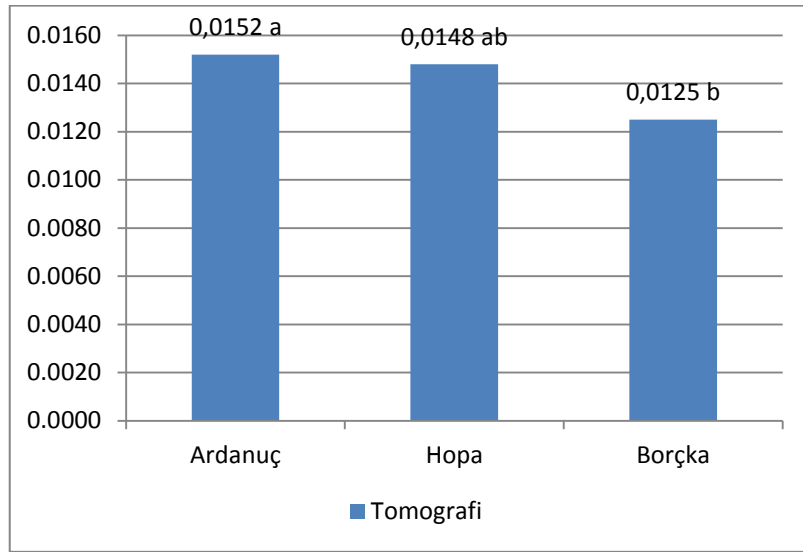
Tablo 21, 22 ve 23'de Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tel direklerinden alınan ölçüm sonuçları bir arada (lokasyonlar göz önüne alınmaksızın) ve sadece emprenye maddeleri (CCA, CCB ve Kreozot) kendi aralarında değerlendirildiğinde şu sonuçlar tespit edilmiştir: CCA ile emprenyeli tel direklerinde sağlam direk oranı % 27, çürüklük başlangıcında olan direk oranı % 64, çürük veya hasarlı direk oranı % 9 olarak belirlenmiştir. CCB ile emprenyeli tel direklerinde sağlam direk oranı % 10, çürüklük başlangıcında olan direk oranı % 62, çürük veya hasarlı direk oranı % 28 olarak belirlenmiştir. Kreozot ile emprenyeli tel direklerinde sağlam direk oranı % 26, çürüklük başlangıcında olan direk oranı % 63, çürük veya hasarlı direk oranı % 11 olarak belirlenmiştir. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla yapılan bu tespitler neticesinde en az çürüklüğün CCA ile emprenyeli tel direklerinde görüldüğü saptanmıştır.

3.7.1.1. Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Çürümüş Bölgelerin Alanlarına Bağlı Olarak Lokasyonlar Arası Hasar Farklılığının Belirlenmesi

Yapılan basit varyans analizinde Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen çürümüş bölgelerin alanları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,05$; Tablo 24). Duncan testine göre en yüksek tomografi çürüklük değeri Ardanuç lokasyonunda (0.0152) tespit edilmiştir, bunu sırası ile Hopa (0,0148) ve Borçka (0,0125) lokasyonları takip etmiştir.

Tablo 24. Tomografi ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	0.00012	2	0.00006	3.603	0.0320
Gruplar içi	0.0013	75	0.000017		
Toplam	0.0014	77			



Şekil 52. Duncan testine göre tomografi cihazıyla elde edilen çürümüş bölgelerin alanlarına bağlı olarak elde edilen lokasyonlar arası hasar farklılığı sonuçları

Şekil 52’de görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki tel direklerinde Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla yapılan ölçümler neticesinde çürük alan miktarı esas alınarak en fazla hasarın sırasıyla; Ardanuç>Hopa>Borçka lokasyonlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Rezistograf ve Mikroçekiç cihazlarıyla elde edilen sonuçları yansıtmamaktadır. Bu cihazlarla (Rezistograf ve Mikroçekiç) yapılan hasar ölçümleri sonucunda elde edilen bulgulara göre; en fazla Hopa>Borçka>Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Bu durumunda tel direklerindeki aşırı çatlağın en fazla Ardanuç’ta görülmesinden, yani Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazının bu aşırı çatlakları da çürüklük olarak algılamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca, gerek rezistograf gerekse mikroçekiç ile gerçekleştirilen ölçümler iki boyutlu (2D) olması ve ölçüm yapılan hattın üstünde veya

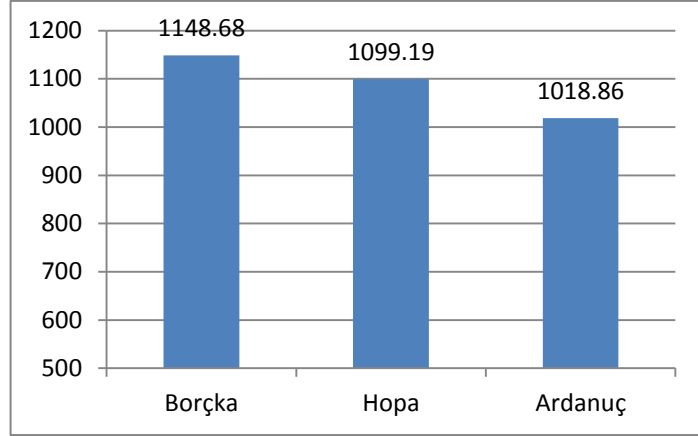
altındaki bölgelerdeki çürüklük veya kusurları tespit edememesinden dolayı 3D Akustik Tomografi sonuçları ile mikroçekiç ve rezistograf sonuçları arasında farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber bu bölgede kullanılan tel direklerinin veya farklı toprak özelliklerinin de bu sonuç üzerinde etkisi olabildiği düşünülmektedir. Tel direklerinde görülen bozulma işlemlerinde etkili olan çevresel faktörler; toprak durumu (killi, kumlu veya asidik), iklim ve dış hava koşulları, ıslanma ve kuruma döngüsü, rüzgâr hızı, yağış miktarı ve sıcaklıktır (Rahman, 2003).

3.7.1.2. Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Hız Ölçümlerine Bağlı Olarak Lokasyonlar Arasındaki Hasar Farklılığının Belirlenmesi

Yapılan basit varyans analizi sonucunda (Tablo 25), tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur (F: 1,798; $p>0,05$). Lokasyonlara göre hız değişimleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

Tablo 25. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	229445	2	114723	1.7644	0.1781
Gruplar içi	56602	77	65021		
Toplam	5236047	79			



Şekil 53. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

Şekil 53’de görüldüğü gibi, her 3 lokasyondaki tel direklerinde Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla yapılan ölçümler neticesinde 2 nolu sensörden→5 nolu sensöre doğru hareket eden ultrasonik hız değerleri esas alınarak en fazla hasarın sırasıyla; Ardanuç>Hopa>Borçka lokasyonlarında olduğu tespit edilmiştir.

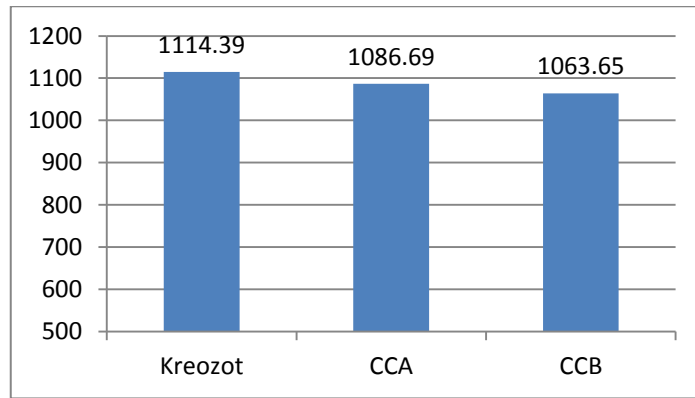
Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla ultrasonik hız değerleri esas alınarak elde edilen sonuçlar ile çürük alan miktarları esas alınarak elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

3.7.1.3. Fakopp 3D Akustik Tomografi Cihazıyla Elde Edilen Hız Ölçümlerinin Uygulanan Emprenye Maddesi Tipine Bağlı Olarak Değişiminin Belirlenmesi

Yapılan basit varyans analizi sonucunda (Tablo 26), tomografi hızları bakımından emprenye maddeleri arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur (F: 0,223; $p>0,05$). Emprenye maddelerine göre hız değişimleri Şekil 54’de gösterilmiştir.

Tablo 26. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümlerinin uygulanan empenye maddesi tipine bağlı olarak değişimi

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	199975.1	2	99987.5	1.5288	0.2233
Gruplar içi	5036072.7	77	65403.5		
Toplam	5236047.8	79			

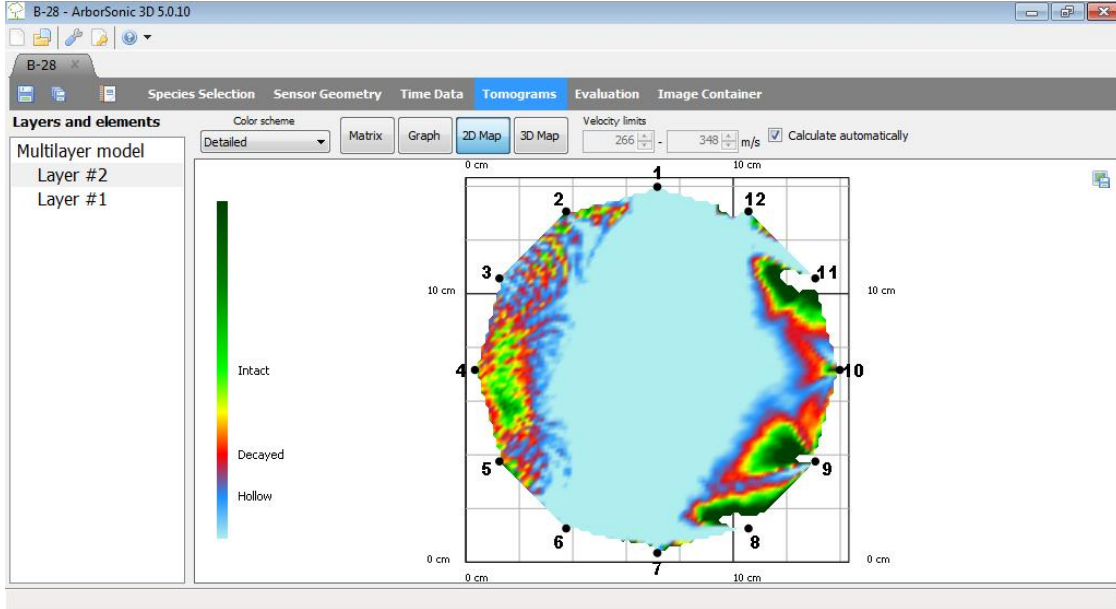


Şekil 54. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen hız ölçümlerinin uygulanan empenye maddesi tipine bağlı olarak değişimi

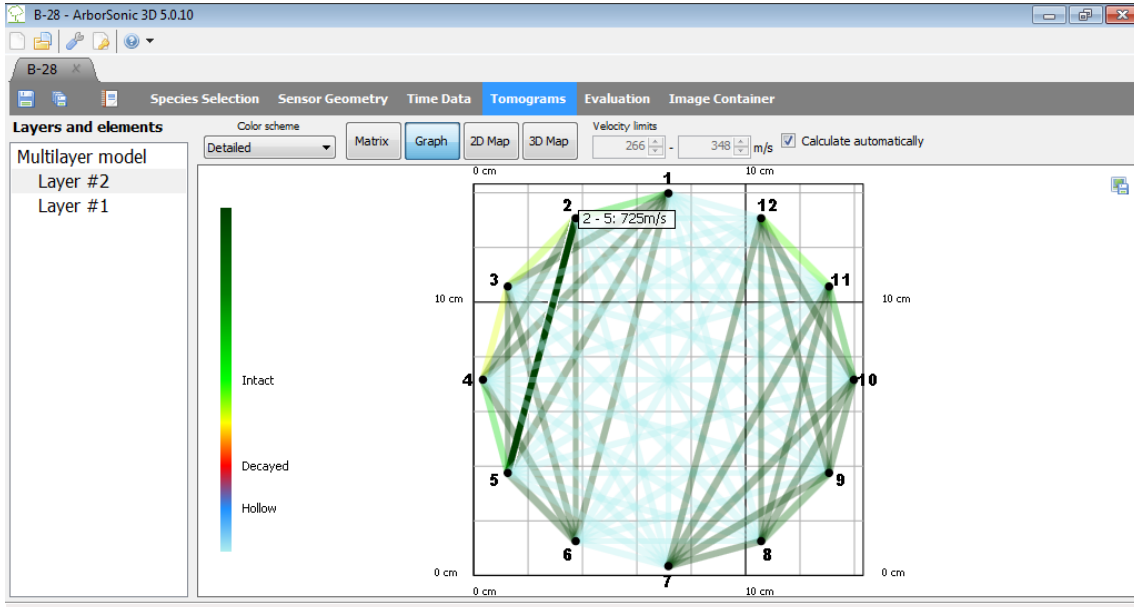
Şekil 54’de görüldüğü gibi tomografik ultrasonik hızın en yüksek olduğu empenye maddeleri sırasıyla; Kreozot>CCA>CCB olarak belirlenmiştir. Ses dalga hızları farklı türlerde, farklı mevsimlerde, farklı su içerikleri gibi durumlarda değişmektedir, bazı zamanlar aynı ağaç içinde bile değişebilmektedir. Bu problemten kaçınmak için yazılım bağıl hızı hesaplamaktadır (URL-3).

Artvin-Hopa, Artvin-Borçka ve Artvin-Ardanuç yöresinde incelenen toplam 88 adet tel direğinden en fazla hasarlı (Şekil.55) ve en az hasarlı (Şekil.59) olan tel direklerine ait Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazı çıktıları aşağıda verilmiştir. Burada en fazla hasarlı olan tel direği % 89.7 oranında çürümüş (Şekil.58) ve en az hasarlı olan direk ise % 18.2 oranında çürümüş halde tespit edilmiştir (Şekil 62). Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla elde edilen aşağıdaki görüntülerde (tel direğinin enine kesiti) açık-koyu yeşil

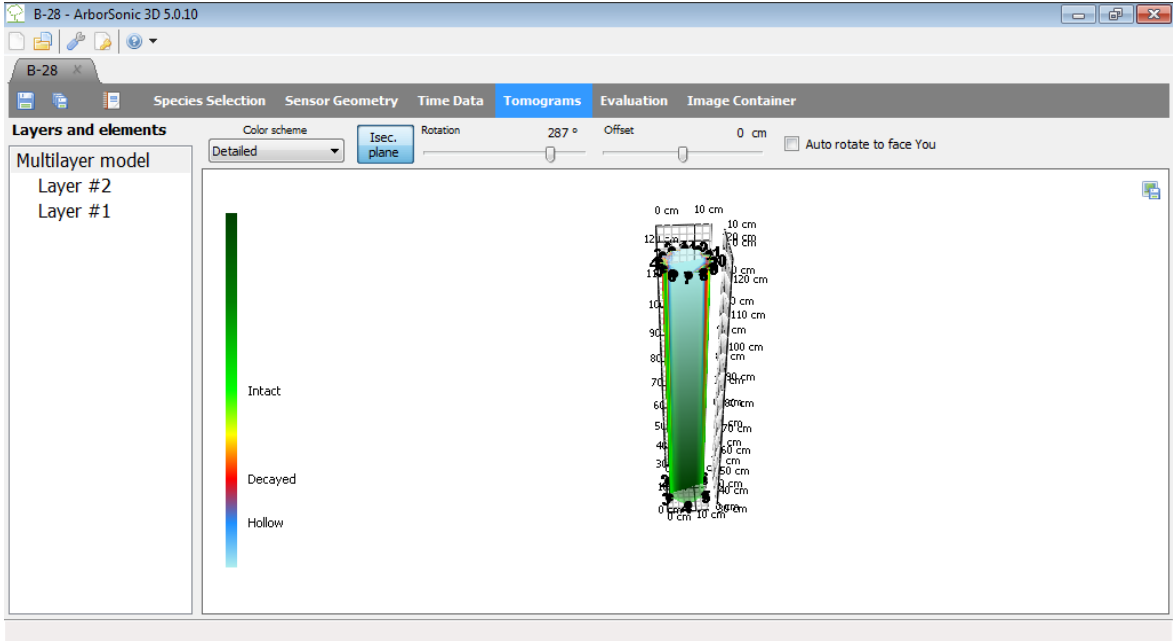
bölgeler tel direğinin sağlam kısımlarını, kırmızı-sarı bölgeler çürümüş ve çürümekte olan kısımlarını, mavi bölgeler ise tel direğinin çatlak ve oyuk olan kısımlarını göstermektedir.



Şekil 55. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait 2 boyutlu görüntü



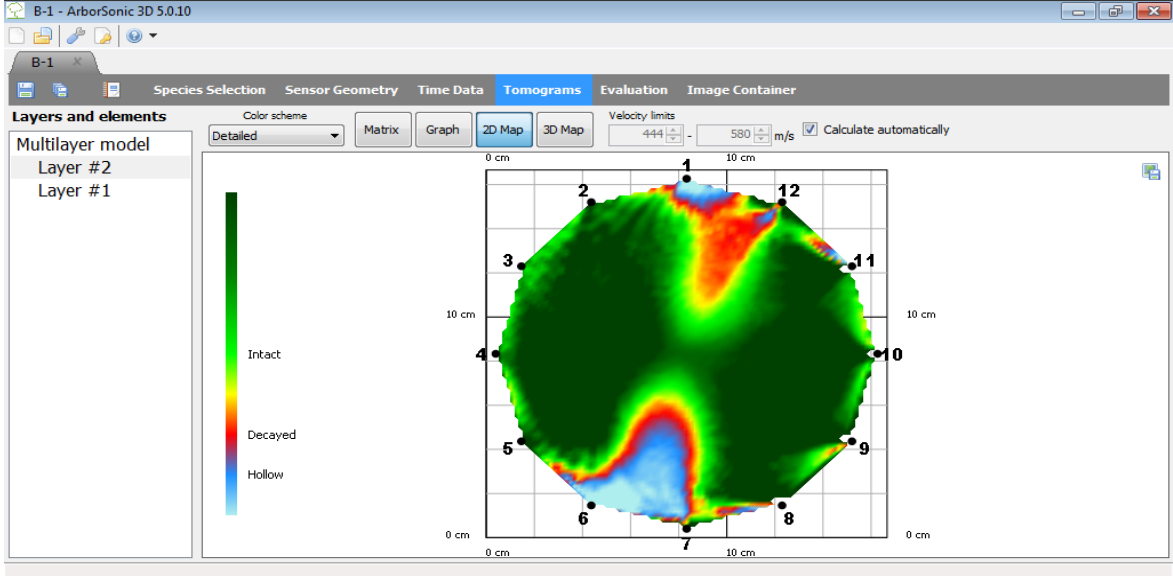
Şekil 56. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait sensörler arasındaki (2 nolu sensörden→5 nolu sensöre) ultrasonik hız (725 m/s)



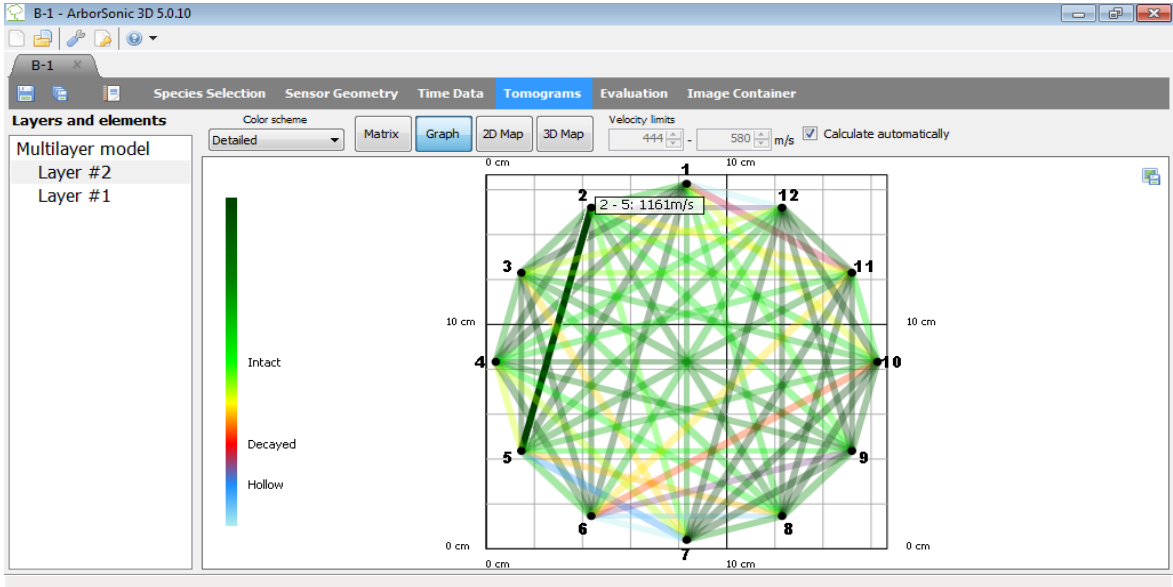
Şekil 57. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait 3 boyutlu hareket ettirilebilir görüntü

Layer name	Height	Decayed area	State
Layer #2	1.2	89.7 %	Bad
Layer #1	0.3	0.2 %	Good

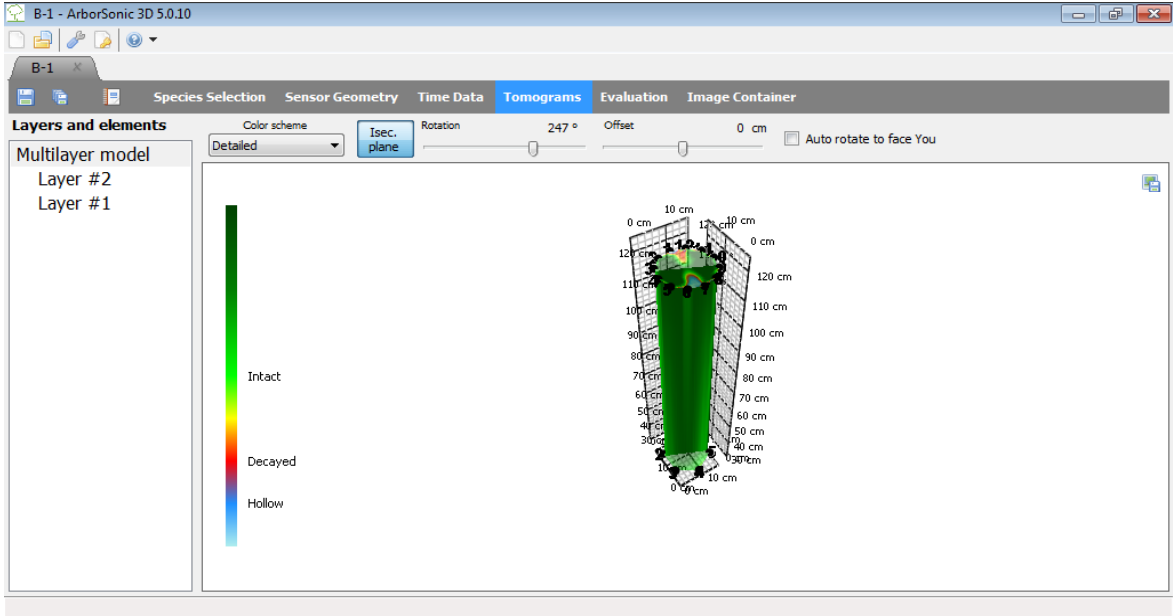
Şekil 58. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en fazla çürümüş tel direğine (B-28) ait hasar durum değerlendirmesi



Şekil 59. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait 2 boyutlu görüntü



Şekil 60. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait sensörler arasındaki (2 nolu sensörden→5 nolu sensöre) ultrasonik hız (1161 m/s)



Şekil 61. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait 3 boyutlu hareket ettirilebilir görüntü

Layer name	Height	Decayed area	State
Layer #2	1.2	18.2 %	Caution
Layer #1	0.3	0 %	Good

Şekil 62. Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla tespit edilen en az çürümüş tel direğine (B-1) ait hasar durum değerlendirmesi

3.7.2. Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulgular

Arazide kullanımda olan tel direklerinin iç kısımlarında çürüklük olup olmadığı da büyük önem arz etmektedir. Özellikle çürüklüğün ilk aşamalarında ağaç malzeme dışarıdan bakıldığında tamamen sağlam görünmekte ve iç kısımlarda çürüklük olup olmadığı tespit edilememektedir. Bu amaçla tel direklerinin iç kısımlarındaki çürüklük ve tahribatlar Rezistograf cihazı ile belirlenmiştir. Bu sayede direkler içerisinde oluşan bölgesel çürüklükler belirlenerek neden olan faktörlerin tespit edilmesine çalışılmıştır. Tel direklerinin dıştan gözlemlenmesiyle yapılan denetlemeler her zaman doğru sonucu vermeyebilir. Bazı durumlarda çürüme direklerin iç kısımlarından başlayarak ilerler ve çürüklüğün ilk aşamalarında bunu dışarıdan tespit etmek oldukça zordur. Tel direklerinin iç kısımlarının çürümesi ciddi hasarlara neden olmaktadır. Bu amaçla, rezistograf cihazıyla tel direklerinin iç kısımlarındaki çürüklük zonları ve boşluk (derin çatlaklardan dolayı) alanları ve direğin dış kısmından ne kadar mesafe de oldukları belirlenmeye çalışılmıştır (TÜBİTAK, Proje No:108O414).

Bu tez çalışmasında 3 lokasyonda (Borçka, Hopa, Ardanuç) toplam 150 adet tel direğinden hem 45° lik açı aparatıyla tel direklerinin toprakla temas eden kısımlarından hem de göğüs seviyesinden olmak üzere toplam 314 adet (7 adet tel direği depolarda) Rezistograf ölçümü alınmıştır.

Rezistograf cihazıyla elde edilen bulguların istatistiksel analizlerini yapabilmek amacıyla Rezistograf çıktısındaki (göğüs seviyesi ve toprak zonu) yatay eksendeki mesafe 5'e (0-4, 4-8, 8-12, 12-16 ve 16-20) ve dikey yöndeki Amplitude (%) eksenini 4'e (0-20= Aşırı çürük, 20-40= Çürük, 40-60= Sağlam, 60-80= Aşırı sağlam) bölünmüştür. Bu bölünmeyle elde edilen aralıklardaki pik yüksekliğine göre derecelendirme puanları (Aşırı çürük =1, Çürük=2, Sağlam= 3, Aşırı sağlam=4 puan olacak şekilde) verilmiştir. Bu şekildeki derecelendirme puanları hem göğüs yüksekliğinden hem de toprak zonundan alınan Rezistograf ölçümlerinde ayrı ayrı uygulanmış ve yatay yöndeki aralıklarda gözlenen (0-4, 4-8, 8-12, 12-16 ve 16-20) pik yüksekliği hangi derecelendirme puanına denk geliyorsa o derecelendirme puanının bulunduğu sütuna X işareti konulmuştur. (Tablo 27, 28, 29). Buradan elde edilen verilere göre de istatistiksel analizler yapılmıştır (Tablo 30).

Tablo 27. CCA ile emprenyeli tel direklerinden göğüs seviyesi ve toprak zonu bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerinin lokasyonlara göre değişimi

Lokasyon	Tel direği göğüs seviyesi (adet olarak)				Tel direği toprak bölgesi (adet olarak)				İncelenen direk sayısı (adet)
	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	
HOPA	7	10	0	0	4	13	0	0	17
BORÇKA	2	16	2	0	2	12	6	0	20
ARDANUÇ	8	14	2	0	1	6	15	2	24

CCA ile emprenyeli tel direklerinden göğüs seviyesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerine göre aşırı çürük direk sayısı Hopa'da % 41, Borçka'da % 10 ve Ardanuç'ta % 33 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Hopa'da % 59, Borçka'da % 80 ve Ardanuç'ta % 58 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber sağlam direk sayısı Hopa'da % 0, Borçka'da % 10 ve Ardanuç'ta % 8 olarak tespit edilmiştir. Aşırı sağlam direk sayısı ise Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir (Tablo 27).

CCA ile emprenyeli tel direklerinden toprak zonundan alınan Rezistograf cihazı ölçümlerine göre aşırı çürük direk sayısı Hopa'da % 24, Borçka'da % 10 ve Ardanuç'ta % 4 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Hopa'da % 76, Borçka'da % 60 ve Ardanuç'ta % 25 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber sağlam direk sayısı Hopa'da % 0, Borçka'da % 30 ve Ardanuç'ta % 63 olarak tespit edilmiştir. Aşırı sağlam direk sayısı ise Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 8 olarak tespit edilmiştir (Tablo 27).

Tablo 28. CCB ile emprenyeli tel direklerinden göğüs seviyesi ve toprak zonu bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerinin lokasyonlara göre değişimi

Lokasyon	Tel direği göğüs seviyesi (adet olarak)				Tel direği toprak bölgesi (adet olarak)				İncelenen direk sayısı (adet)
	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	
HOPA	4	13	2	0	2	17	0	0	19
BORÇKA	10	4	0	0	2	12	0	0	14
ARDANUÇ	4	13	4	1	0	8	10	4	22

CCB ile emprenyeli tel direklerinden göğüs seviyesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerine göre aşırı çürük direk sayısı Hopa'da % 21, Borçka'da % 71 ve Ardanuç'ta %

18 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Hopa'da % 68, Borçka'da % 29 ve Ardanuç'ta % 59 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber sağlam direk sayısı Hopa'da % 11, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 18 olarak tespit edilmiştir. Aşırı sağlam direk sayısı ise Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 5 olarak tespit edilmiştir (Tablo 28).

CCB ile emprenyeli tel direklerinden toprak bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerine göre aşırı çürük direk sayısı Hopa'da % 11, Borçka'da % 14 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Hopa'da % 89, Borçka'da % 86 ve Ardanuç'ta % 36 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber sağlam direk sayısı Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 45 olarak tespit edilmiştir. Aşırı sağlam direk sayısı ise Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 18 olarak tespit edilmiştir (Tablo 28).

Tablo 29. Kreozot ile emprenyeli tel direklerinden göğüs seviyesi ve toprak zonu bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerinin lokasyonlara göre değişimi

Lokasyon	Tel direği göğüs seviyesi (adet olarak)			Tel direği toprak bölgesi (adet olarak)				İncelenen direk sayısı (adet)	
	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı		Aşırı sağlam direk sayısı
HOPA	10	4	0	0	7	7	0	0	14
BORÇKA	10	6	0	0	7	9	0	0	16
ARDANUÇ	4	0	0	0	0	3	1	0	4

Kreozot ile emprenyeli tel direklerinden göğüs seviyesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerine göre aşırı çürük direk sayısı Hopa'da % 71, Borçka'da % 63 ve Ardanuç'ta % 100 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Hopa'da % 29, Borçka'da % 38 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber sağlam direk sayısı Hopa'da; % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir. Aşırı sağlam direk sayısı ise Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir (Tablo 29).

Kreozot ile emprenyeli tel direklerinden toprak bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümlerine göre aşırı çürük direk sayısı Hopa'da % 50, Borçka'da % 44 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Hopa'da % 50, Borçka'da % 56 ve Ardanuç'ta; % 75 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber sağlam direk sayısı Hopa'da %

0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 25 olarak tespit edilmiştir. Aşırı sağlam direk sayısı ise Hopa'da % 0, Borçka'da % 0 ve Ardanuç'ta % 0 olarak tespit edilmiştir (Tablo 29).

Tablo 27, 28 ve 29'da Rezistograf cihazıyla tel direklerinin göğüs seviyesinden alınan ölçüm sonuçları bir arada (lokasyonlar göz önüne alınmaksızın) ve sadece emprenye maddeleri (CCA, CCB ve Kreozot) kendi aralarında değerlendirildiğinde şu sonuçlar tespit edilmiştir. CCA ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümlere göre aşırı çürük direk oranı % 28, çürük direk oranı % 66, sağlam direk oranı % 7, aşırı sağlam direk oranı % 0 olarak tespit edilmiştir. CCB ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümlere göre aşırı çürük direk oranı % 33, çürük direk oranı % 55, sağlam direk oranı % 11, aşırı sağlam direk oranı % 2 olarak tespit edilmiştir. Kreozot ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümlere göre aşırı çürük direk oranı % 71, çürük direk oranı % 29, sağlam direk oranı % 0, aşırı sağlam direk oranı % 0 olarak tespit edilmiştir. Rezistograf cihazıyla tel direklerinin göğüs bölgesinde yapılan bu tespitler neticesinde en az çürüklüğün CCB ile emprenyeli tel direklerinde görüldüğü saptanmıştır.

Tablo 27, 28 ve 29'da Rezistograf cihazıyla tel direklerinin toprak zonundan alınan ölçüm sonuçları bir arada (lokasyonlar göz önüne alınmaksızın) ve sadece emprenye maddeleri (CCA, CCB ve Kreozot) kendi aralarında değerlendirildiğinde şu sonuçlar tespit edilmiştir. CCA ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümlere göre aşırı çürük direk oranı % 11, çürük direk oranı % 51, sağlam direk oranı % 34, aşırı sağlam direk oranı % 3 olarak tespit edilmiştir. CCB ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümlere göre aşırı çürük direk oranı % 7, çürük direk oranı % 67, sağlam direk oranı % 18, aşırı sağlam direk oranı % 7 olarak tespit edilmiştir. Kreozot ile emprenyeli tel direklerinden alınan ölçümlere göre aşırı çürük direk oranı % 41, çürük direk oranı % 56, sağlam direk oranı % 7, aşırı sağlam direk oranı % 0 olarak tespit edilmiştir. Rezistograf cihazıyla tel direklerinin toprak bölgesinde yapılan bu tespitler neticesinde en az çürüklüğün CCA ile emprenyeli tel direklerinde görüldüğü saptanmıştır.

3.7.2.1. Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulgulara Ait Varyans Analiz Sonuçları

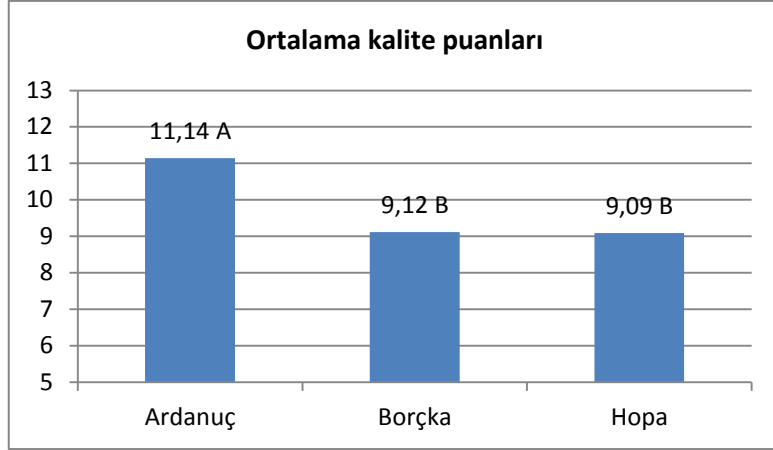
Burada Rezistograf cihaz çıktısında (göğüs ve toprak) yatay eksendeki mesafe 5'e, dikey yöndeki Amplitude (%) eksenini 4'e (0-20= Aşırı çürük, 20-40= Çürük, 40-60= Sağlam, 60-80= Aşırı sağlam) bölünmüştür. Bu bölünmeyle elde edilen aralıklardaki pik yüksekliğine göre kalite derecelendirme puanları (Aşırı çürük =1, Çürük=2, Sağlam= 3,

Aşırı sağlam=4 puan olacak şekilde) verilmiştir. Örneğin; yatay yöndeki 5 aralıkta da pik yüksekliği 0-20 aralığında ise (Aşırı çürük=1 puan) bu tel direği 5 defa 1 puan alır ve dolayısıyla $5 \times 1 = 5$ işlemi neticesinde 5 puan (en düşük puanı) almış olur. Diğer bir taraftan yatay yöndeki 5 aralıktada pik yüksekliği 60-80 arasında ise (Aşırı sağlam=4 puan) bu tel direği 5 defa 4 puan alır ve dolayısıyla $5 \times 4 = 20$ işlemi neticesinde 20 puan (en yüksek puanı) almış olur. Yani buradaki kalite derecelendirme puan skalası 5 puan ila 20 puan arasındadır. Direklerin kalite derecelendirme puanları bakımından lokasyon, emprenye maddesi tipi, göğüs seviyesi ve toprak zonları arasındaki farklılığın belirlenebilmesi için varyans analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda alınan puanlar bakımından incelenen bağımsız değişkenler arasında istatistiki anlamda önemli farklılıklar belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçları Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Direklerin kalite derecelendirme puanları bakımından lokasyonlar, emprenye maddeleri ve zonlar (toprak ve göğüs) arasındaki farklılık

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	Önem seviyesi
Lokasyon	234,92	2	117,46	19,77	0,01
Emprenye	261,43	2	130,715	22,00	0,01
Zon	525,36	1	525,36	88,44	0,01

Yapılan Duncan testinde lokasyon ortalamaları bazında en yüksek kalite puanını Ardanoç (11,14) almıştır, bunu sırası ile aynı grupta yer alan Borçka (9,12) ve Hopa (9,09) lokasyonları takip etmiştir.



Şekil 63. Rezistograf cihazıyla elde edilen bulgulara ait lokasyonlar arası varyans analiz sonuçları

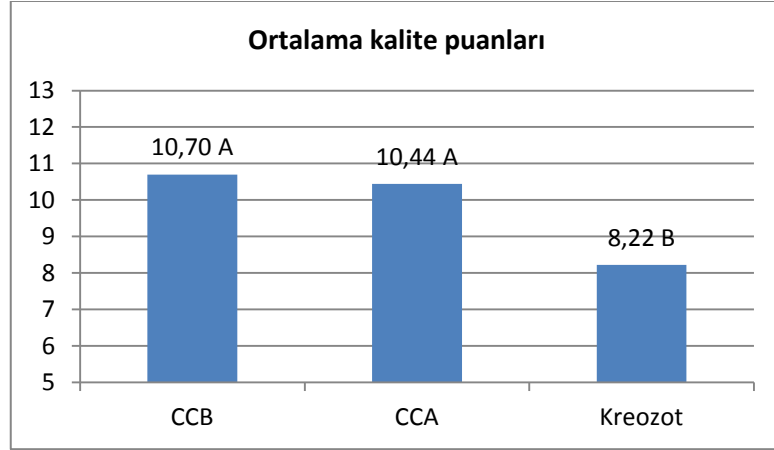
Tablo 27, 28, 29 ve Şekil 63’de görüldüğü gibi Rezistograf cihazıyla yapılan ölçümlerde elde edilen verilerde en fazla hasarlı tel direkleri Hopa> Borçka> Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Burada etkili olan faktörler; yağış, nem ve toprak özellikleri olarak düşünülmüştür.

Yapılan çalışmalarda toprak asitliği Hopa>Borçka>Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Hopa ilçesindeki toprak ortalama pH değeri: 4.93, Borçka ilçesinin ortalama pH değeri: 6.75, Ardanuç ilçesinin ortalama pH değeri:7.00 olarak saptanmıştır. Yani tel direklerinin sağlamlığıyla toprak pH’sı arasında ters orantı olduğu saptanmıştır. Toprakta zemin suyunun aşırı asidik veya bazik oluşu toprakta gömülü vaziyette bulunan odun, beton veya metalden yapılmış bileşenlerde zararlı etkiler gösterebilmektedir. Asidiklik veya baziklik toprak suyunun pH değerine göre tanımlanmaktadır (Rahman, 2003).

Elde edilen bulgulara göre tel direği hasar oranının en fazla Hopa’da görülmesindeki etkenler arasında buradaki toprak içeriğinde bulunan kum içeriğinin düşük olmasının da yer aldığı sanılmaktadır. Kumlu toprakların permeabilitesinden (geçirgenlik) ve kohezyonsuz (öz yapışkanlığı olmayan) özelliklerinden dolayı kumlu topraklar biyolojiksel saldırıdan korunmaya ve drenaja (suyun akıp gitmesine) olanak sağlamaktadır (Rahman, 2003).

3.7.2.1.1. Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulguların Kullanılan Emprenye Maddesi Türüne Göre Değişiminin Belirlenmesi

Kullanılan emprenye maddesi türüne göre yapılan Duncan testinde, en yüksek ortalama puanı aynı grupta yer alan CCB (11,14) ve CCA (9,12), en düşük puanı ise kreozot (9,09) almıştır.

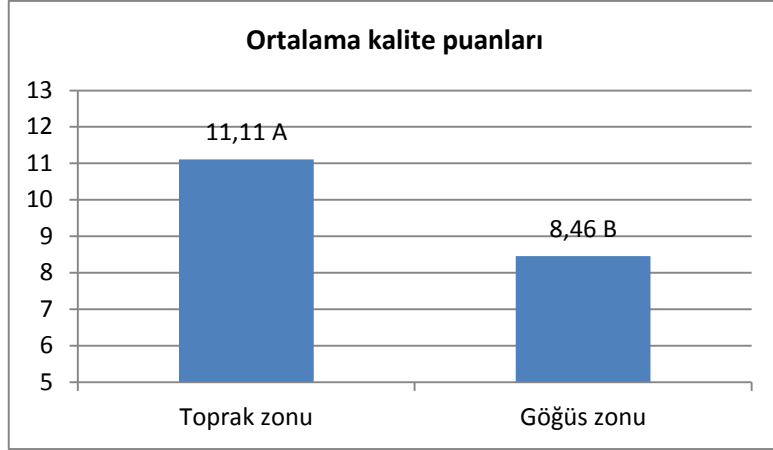


Şekil 64. Rezistograf cihazıyla elde edilen bulguların kullanılan emprenye maddesi türüne göre yapılan Duncan testi

Şekil 64'de görüldüğü gibi Rezistograf cihazıyla elde edilen bulgular, kullanılan emprenye maddesi türüne göre en sağlam tel direkleri sıralamasının CCB>CCA>Kreozot şeklinde olduğunu göstermektedir.

3.7.2.1.2. Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Direklerin Toprakla Temas Ettikleri Kısımlarının Ortalama Kalite Puanları ile Göğüs Seviyesine Bağlı Ortalama Kalite Puanlarının Karşılaştırılması

Uygulanan Duncan testi sonucuna göre direklerin toprakla temas ettikleri kısımlarının ortalama kalite puanları (11,11), göğüs seviyesinden (8,46) daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 65. Uygulanan Duncan testi sonucuna göre direklerin toprakla temas ettikleri kısımlarının ortalama kalite puanları ile göğüs seviyesine bağlı ortalama kalite puanlarının karşılaştırılması

Şekil 65’de görüldüğü gibi uygulanan Duncan testi sonucuna göre direklerin toprakla temas ettikleri kısımlarının ortalama kalite puanları (11,10), göğüs seviyesinden (8,46) daha yüksek olmuştur. Burada tel direklerinin toprakla temas halinde olan kısımlarından alınan Rezistograf ölçümlerinin göğüs seviyesinden alınan ölçümlere nazaran kalite puanlarının daha düşük olması beklenirken tersi bir sonuç elde edilmiştir. Bunun nedeninin, direklerdeki aşırı yarık ve çatlaklar olduğu düşünülmektedir. Elde edilen bulgulara göre, incelenen direklerin büyük çoğunluğunda büyük yarık ve çatlaklar tespit edilmiş ve bu da göğüs seviyesinde ölçülen rezistograph sonuçlarını etkilemektedir. Toprak altında kalan kısımlarda yarık ve çatlakların daha az olmasından dolayı (kuruma ve ıslanma döngüsünün daha az olmasından dolayı) toprak zonunda alınan rezistograph sonuçlarının daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki ağaç tel direklerindeki bozulmaların çoğu toprak seviyesinin altında ve direk direncindeki azalmadan dolayı meydana gelmektedir. Bu nedenle direğin toprak hattındaki durumu oldukça kritiktir (Rahman, 2003). Dış yüzey çürüklüğü toprak seviyesinde veya altında çok yaygındır. Direklerin yaşından dolayı koruyucuların etkinliği azalmaya başlamakta ve böylece dış tarafta çürüklük gelişimi olabilmektedir (Hamm, 1992).

3.7.2.2. Depolardaki Tel Direklerinden Rezistograf Cihazıyla Elde Edilen Bulgular

Tablo 31. Artvin ÇEDAŞ deposu (D-1, D-2, D-3,D-4, D-5) ve Trabzon Arsin deposu tel direklerinden göğüs ve toprak bölgesinden alınan Rezistograf cihazı ölçümleri

Lokasyon	Tel direği göğüs seviyesi (adet olarak)				Tel direği toprak bölgesi (adet olarak)				İncelenen direk sayısı (adet)
	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	Aşırı çürük direk sayısı	Çürük direk sayısı	Sağlam direk sayısı	Aşırı sağlam direk sayısı	
ÇEDAŞ	4	1	0	0	2	3	0	0	5
ARSİN DEPO	2	2	0	0	1	3	0	0	4

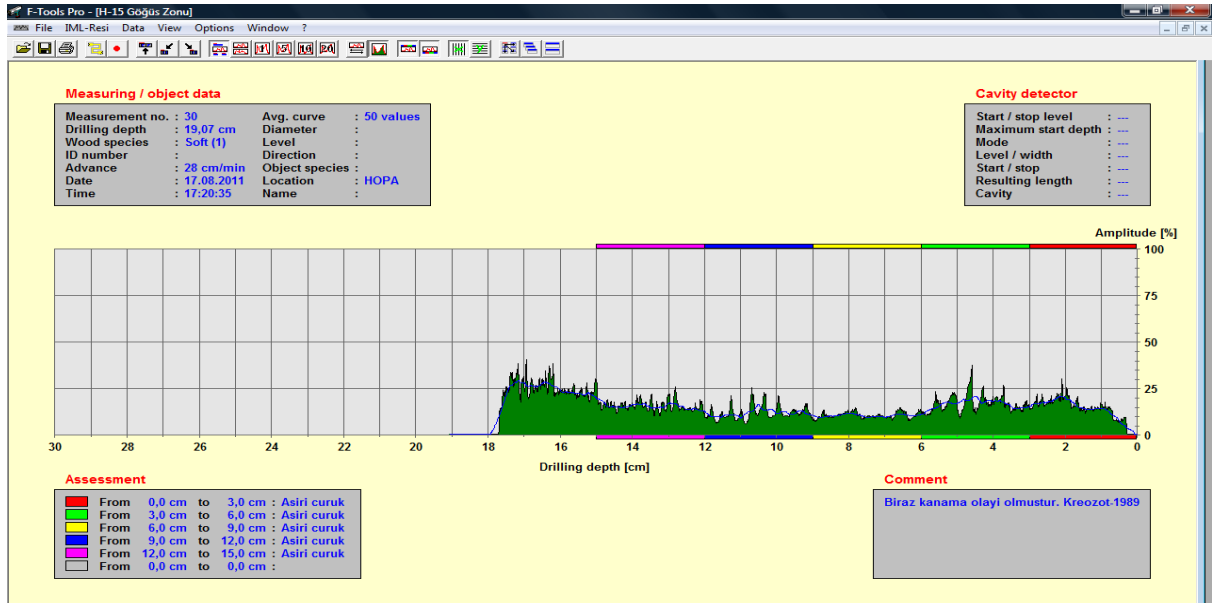
Depolarda bulunan kullanılmamış tel direkleri üzerinde yapılan incelemelerde tel direği toprak içindeymiş gibi farz edilerek hem göğüs seviyesinden hem de cihazın 45°'lik aparatı takılarak dip kısmına yakın bir bölgede ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler neticesinde toprak bölgesinden alınan Rezistograf ölçümlerinin, göğüs bölgesinden alınan ölçümlere nazaran daha yüksek pikler verdiği görülmüştür. Depolardaki tel direkleri toprak içerisinde gömülü olmadığı için toprak zonundan alınmış olan ölçümlerin toprak faktörlerinden etkilenmeleri beklenemez. Bu yüzden yapılan bu ölçümler sonucundaki tespitler Rezistograf iğnesinin oduna 45°'lik bir eğimle ilerlemesiyle karşılaştığı direncin, tel direği odununa dikey yönde ilerlerken karşılaştığı dirence nazaran daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu durumda tel direği toprak zonundan alınan ölçümlerin, göğüs seviyesinden daha yüksek pikler vermesinden dolayı sağlam görünmesine dair elde edilen bulgularla az da olsa bir ilişkisi olduğu düşünülmüştür.

Depolarda incelenen CCB ile empenyeli tel direklerinin göğüs bölgesinde Rezistograf cihazıyla yapılan ölçümlerde aşırı çürük direk sayısı Artvin ÇEDAŞ deposunda; % 80, Trabzon Arsin deposunda; %50 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Artvin ÇEDAŞ deposunda; % 20, Trabzon Arsin deposunda; % 50 olarak tespit edilmiştir (Tablo 31).

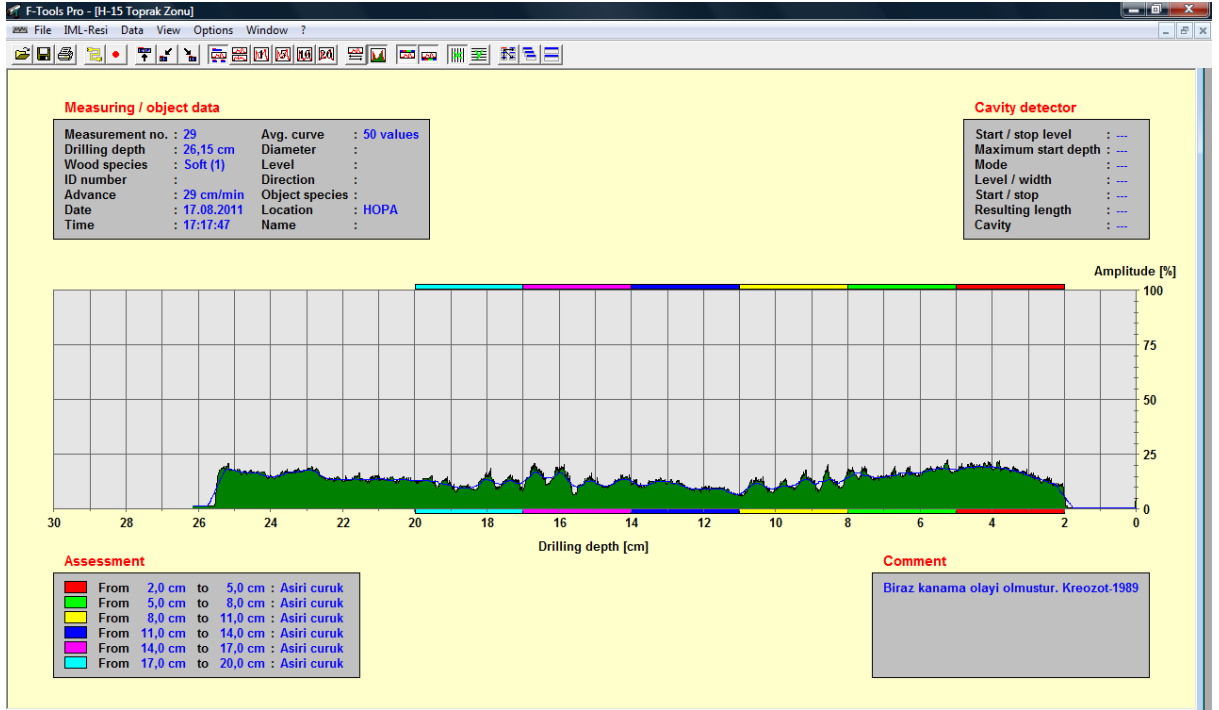
Depolarda incelenen CCB ile empenyeli tel direklerinin toprak bölgesinde Rezistograf cihazıyla yapılan ölçümlerde aşırı çürük direk sayısı Artvin ÇEDAŞ deposunda; % 40, Trabzon Arsin deposunda; % 25 olarak tespit edilmiştir. Çürük direk sayısı ise Artvin ÇEDAŞ deposunda; % 60, Trabzon Arsin deposunda; % 75 olarak tespit edilmiştir (Tablo 31).

Depolarda bulunan tel direkleri üzerinde yer alan tanıtım pulu incelenmiş ve bu direklerin 2010 yılında CCB ile empenyeli olduğu tespit edilmiştir. Buradaki tel direklerinin daha henüz depodayken bile hasarlı olduğu dikkate alınırsa bunun sebepleri arasında; tel direklerinin uygun şekilde istiflenmemesi, direklerin toprakla temaslarının kesilmemesi, ve borun kolaylıkla yıkanabilmesinin yer aldığı düşünülmektedir.

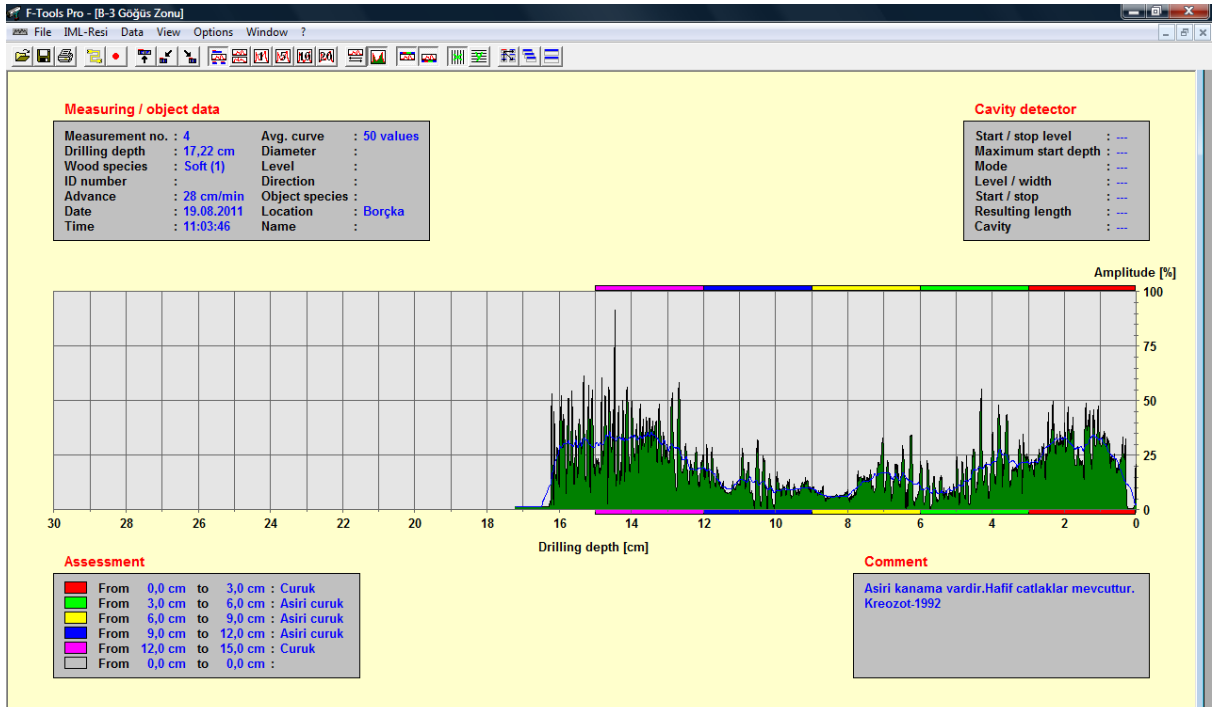
Artvin-Hopa, Artvin-Borçka ve Artvin-Ardanuç yöresinde incelenen toplam 150 adet tel direğinden her lokasyondaki en fazla hasarlı (Sırasıyla; Şekil.66- 67, Şekil.68-69, Şekil.70-71) olan tel direklerine ait Rezistograf cihazı çıktıları verilmiştir. Ayrıca her 3 lokasyon içerisindeki en sağlam tel direğine ait rezistograf cihazı çıktıları da verilmiştir (Şekil.72 ve Şekil.73).



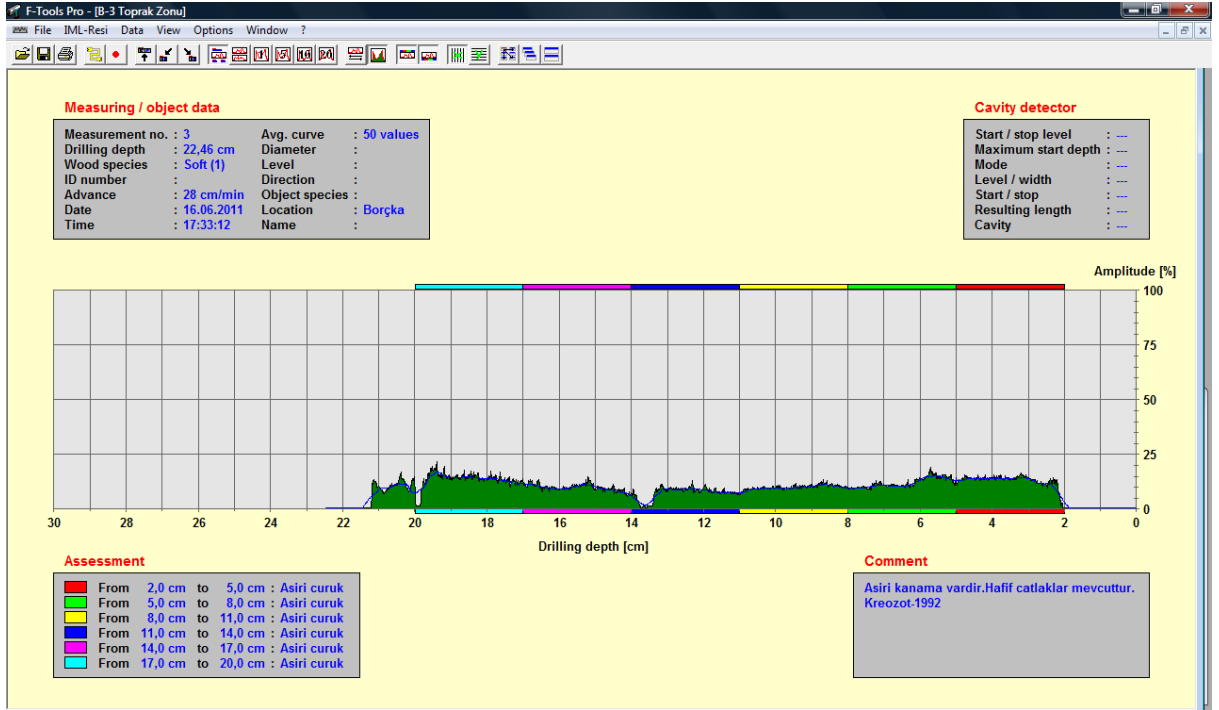
Şekil 66. Hopa lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (H-15 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı



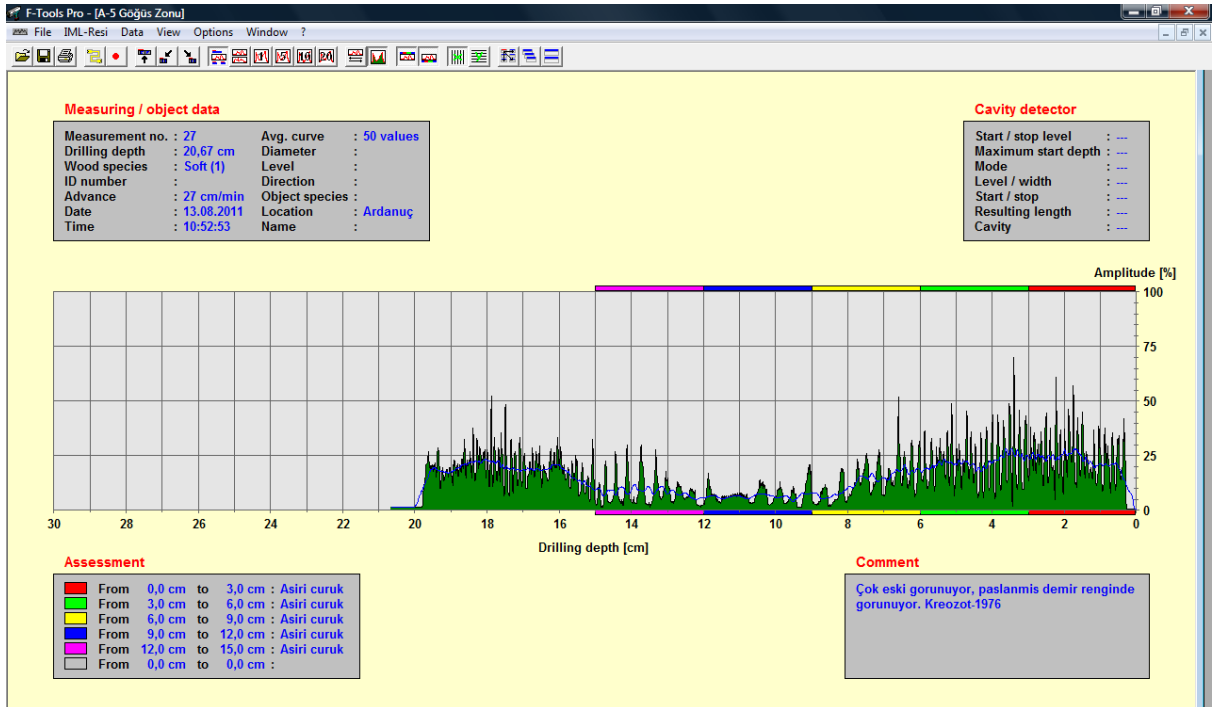
Şekil 67. Hopa lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (H-15 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı



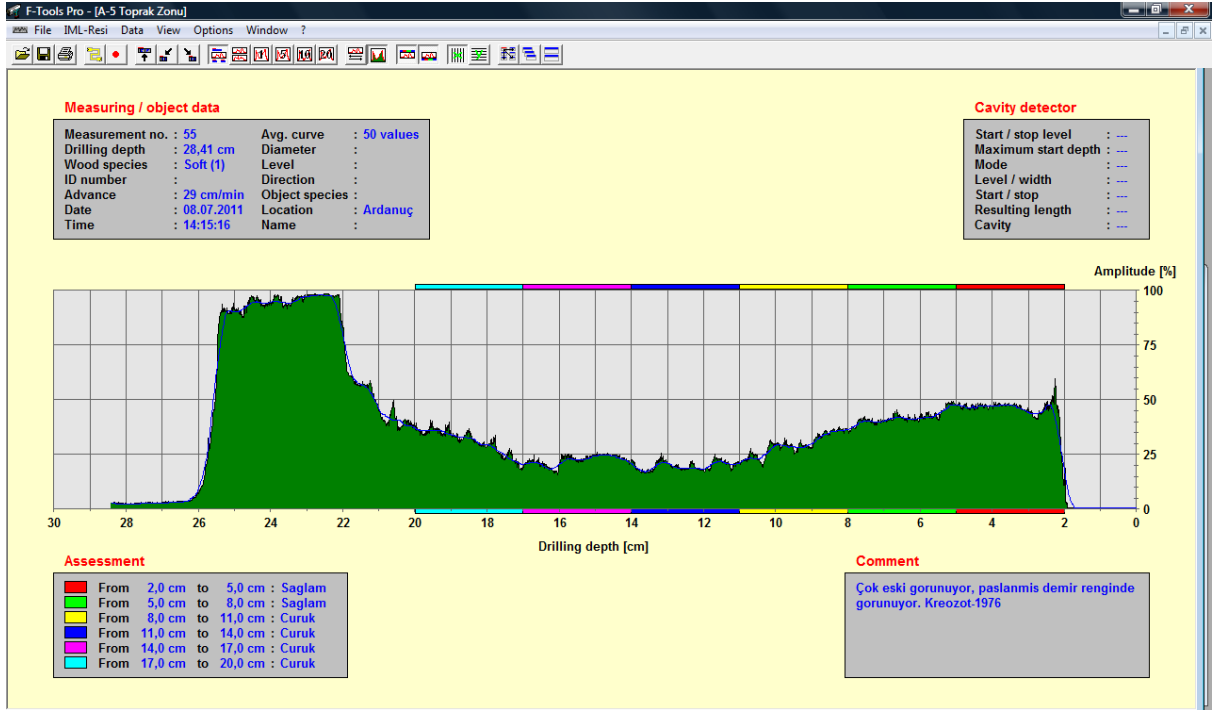
Şekil 68. Borçka lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (B-3 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı



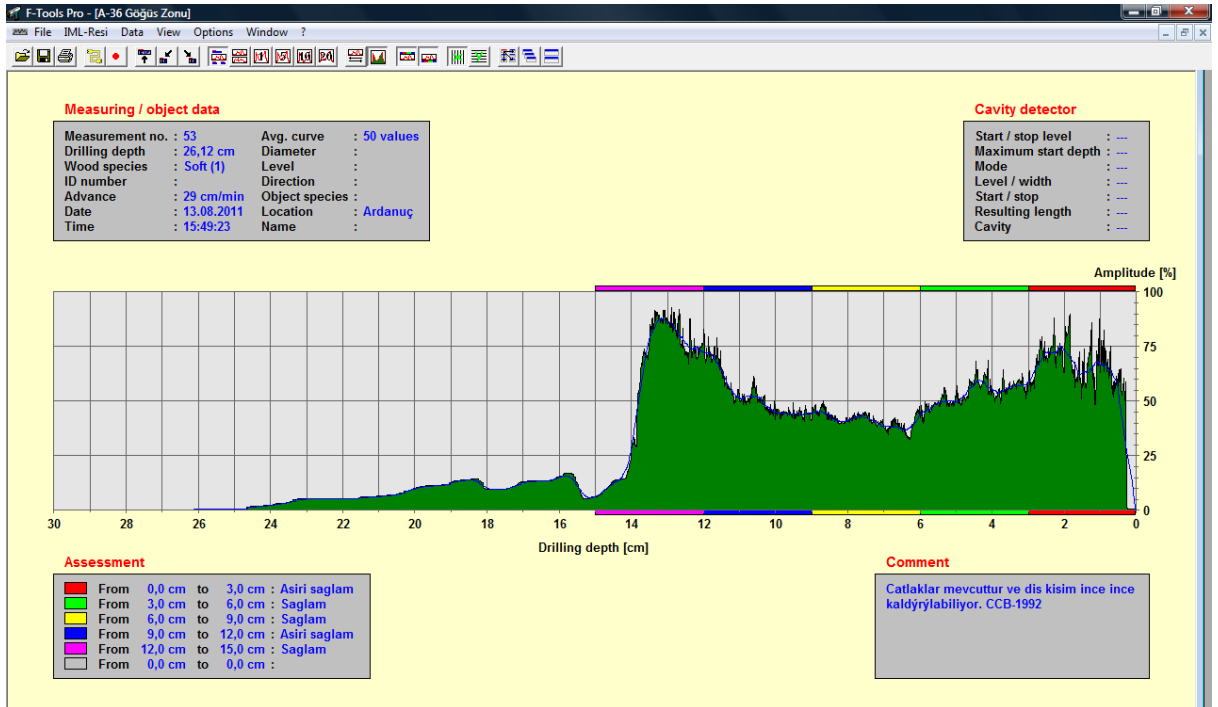
Şekil 69. Borçka lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (B-3 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı



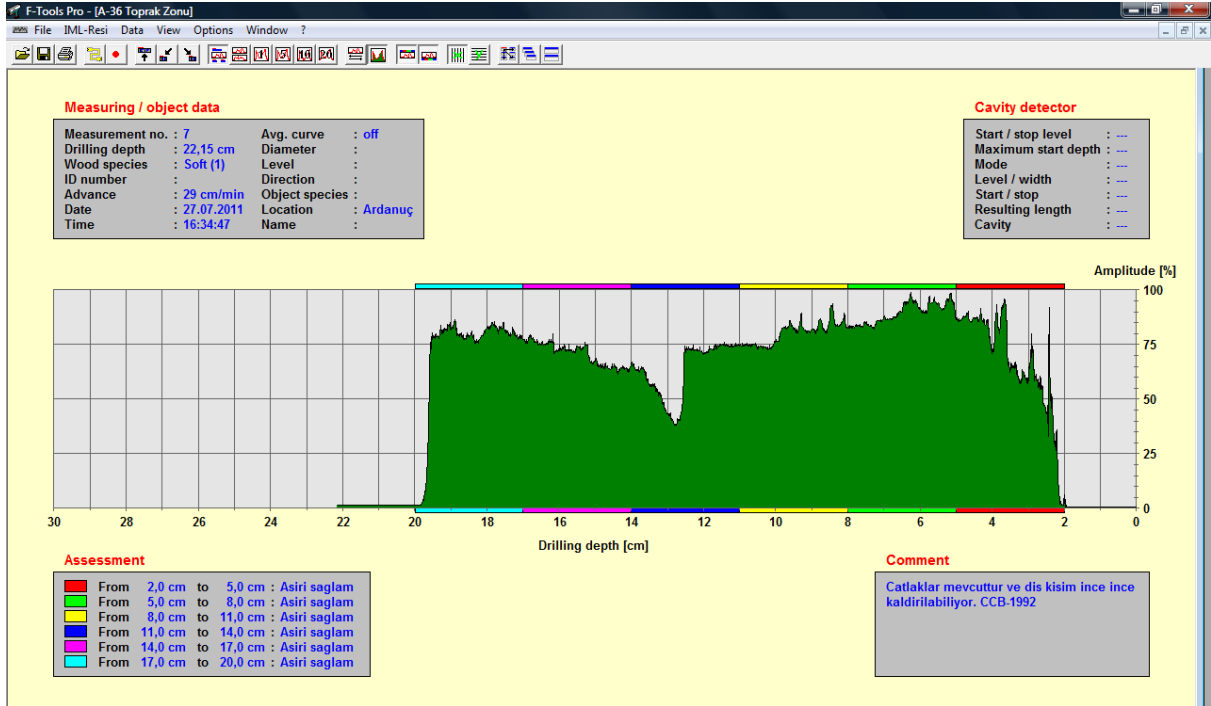
Şekil 70. Ardanuç lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (A-5 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı



Şekil 71. Ardanuç lokasyonunda en fazla hasara uğramış tel direğinin (A-5 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı



Şekil 72. Her 3 lokasyon arasındaki mevcut en sağlam tel direğinin (A-36 nolu) göğüs seviyesinden alınan rezistograf çıktısı



Şekil 73. Her 3 lokasyon arasındaki mevcut en sağlam tel direğinin (A-36 nolu) toprak zonundan alınan rezistograf çıktısı

3.7.3. Mikroçekiç Cihazıyla Elde Edilen Bulgular

Bu çalışmada 3 lokasyonda toplam 157 adet tel direğinden mikroçekiç cihazıyla ölçüm alınmıştır. Bu cihazla tel direklerinde ölçüm yaparken öncelikle duyarlı 2 adet transdüser tel direği üzerinde birbirinin tam karşısında olacak şekilde şarjlı bir el matkabı vasıtasıyla tel direğine gömülmüştür. Bu gömme işlemi transdüser üzerinde işaretlenen yere kadar yapılmıştır. Sonrasında tel direğinin çapı ölçülmüş ve çapın cihaza doğru bir şekilde girilmesine özen gösterilmiştir.

Bu çalışmada Ardanuç ilçesindeki tel direklerine ait ortalama hız (velocity) değeri 1528 m/s, Borçka ilçesindeki tel direklerine ait ortalama hız (velocity) değeri 1446 m/s ve Hopa ilçesindeki tel direklerine ait ortalama hız (velocity) değeri 1310 m/s olarak tespit edilmiştir (Tablo 32). Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümlerde hız ne kadar yüksek olursa tel direği o derece sağlam demektir. Bir yerde çürüme varsa normal olarak elastisite ile yoğunluğun oranı değişmekte, dolayısıyla uçuş süresi artmakta ve hız azalmaktadır (Rahman, 2003;URL-7; Dzbeński ve Wiktorski, 2007).

Tablo 32. Her 3 lokasyona ait ortalama Mikroçekiç ultrasonik hız ölçümleri

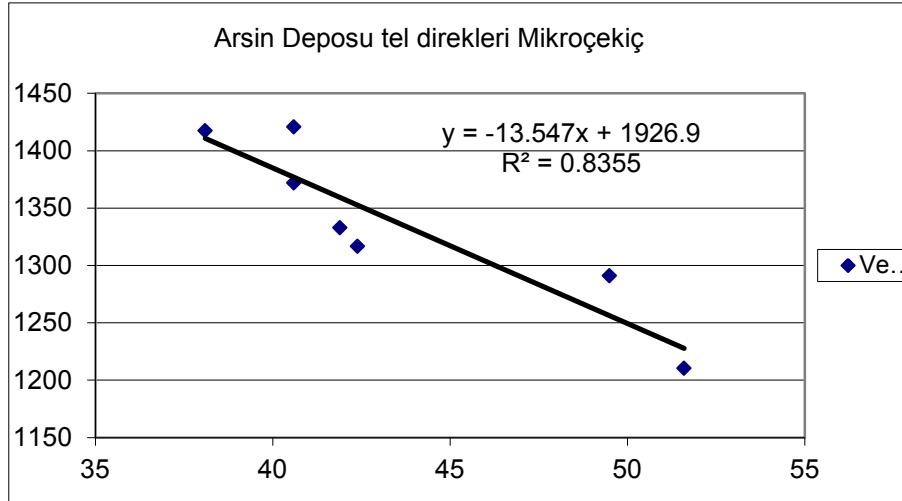
		Hopa	Borçka	Ardanuç
Mikroçekiç hız (velocity)	Ortalama	1310 (m/s)	1446 (m/s)	1528 (m/s)
	Standart sapma	110	150	195

Artvin ÇEDAŞ deposundaki kullanılmamış tel direklerine (5 adet) ait ortalama hız (velocity) değeri 1398 m/s ve Trabzon Arsin deposundaki tel direklerine (7 adet) ait ortalama hız (velocity) değeri 1337 m/s olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber ortalama tel direği rutubet değeri Artvin ÇEDAŞ deposundaki direklerde % 34.1, Trabzon TEDAŞ Arsin deposundaki direklerde % 43.6 olarak tespit edilmiştir. Burada elde edilen düşük hız değerleri de depolarda uygun olmayan istifleme ve depolama koşullarından dolayı tel direklerinin henüz depodayken bile hasarlı hale geldiğinin açık bir göstergesi olarak düşünülmüştür. Ses dalga hızları farklı türlerde, farklı mevsimlerde, farklı su içerikleri gibi durumlarda değişebildiği gibi, bazı zamanlar aynı ağaç içinde bile değişebilmektedir. Bu problemten kaçınmak için, cihaz yazılımı bağıl hızı hesaplamaktadır (URL-3). Kontrol amaçlı olarak depolardaki tel direklerinde gerçekleştirilen rutubet ölçümleri neticesinde ortalama tel direk rutubet değeri % 43.6 (Arsin deposu) olarak ölçülmüştür. Tel direklerindeki rutubet oranının Mikroçekiç cihazıyla ölçülen uçuş süresini (velocity hızını) etkilediği gerçeği dikkate alınarak ölçüm yapılan tüm tel direklerinin hava kurusu rutubet değerlerinde (% 12) iletim zamanını tespit etmek amacıyla bir kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 74). Tahmin edilen velocity (ultrasonik hız) değerleri;

$$y = -13.547 \times X + 1926.9 \quad (r^2 = 0.8355) \quad \text{Formülü sayesinde hesaplanmıştır.}$$

$$y = \text{Velocity hız değeri}$$

$$x = \text{Tel direk rutubet değeri}$$



Şekil 74. Tel direklerinin hava kurusu haldeki (% 12) iletim zamanını tespit etmede kullanılan kalibrasyon eğrisi

Çalışma yapılan alanlardaki ve depolardaki tel direklerinde ölçülen rutubet değerlerinin lokasyonlara göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda Mikroçekiç cihazıyla elde edilen velocity değerlerinin de bu farklılıktan etkilendiği gerçeği göz önüne alınarak oluşturulan kalibrasyon eğrisine göre Hopa lokasyonundaki ölçümlerde değişiklik yapma gereği duyulmuştur. Çünkü Borçka ve Ardanuç ilçelerinde bulunan tel direklerinde ölçülen ortalama rutubet değerleri (sırasıyla; % 16 ve % 10) hava kurusu rutubet değerine (% 12) yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Hopa ilçesindeki tel direklerinde ölçülen ortalama rutubet değerleri (% 19) ve depolardaki tel direklerinde ölçülen ortalama rutubet değerleri (% 34 ve % 43) hava kurusu rutubet değerine (% 12) nazaran daha yüksek tespit edilmiştir. Bu yüzden Hopa'daki ve depolardaki tel direklerinden alınan Mikroçekiç ölçümleri yukarıdaki formüle uygun bir şekilde modifiye edilmiştir. Bu modifiye işlemi sonucunda Artvin ÇEDAŞ deposundaki kullanılmamış tel direklerine (5 adet) ait esas ortalama hız (velocity) değeri 1691 m/s ve Trabzon Arsin deposundaki tel direklerine (7 adet) ait ortalama hız (velocity) değeri 1762 m/s olarak tespit edilmiştir.

Tablo 33. CCA ile emprenyeli tel direklerinde ölçülen Mikroçekiç cihazına ait ölçümlerin lokasyonlara göre değişimi

Lokasyon	Tel direk rutubet değeri (%)		İncelenen direk sayısı	Ölçülen hız değeri (m/s)		Sağlam tel direk sayısı (1500 m/s hızın üzerinde olan direkler)	Çürüklük başlangıcındaki tel direk sayısı (1200-1500 m/s arasında olan direkler)	Çürük veya hasarlı tel direk sayısı (1200 m/s hızın altında olan direkler)
	Ort.	Std.		Ort.	Std.			
HOPA	20	3	17	1277	112	2	13	2
BORÇKA	15	2	20	1432	129	6	12	2
ARDANUÇ	10	3	24	1430	197	12	10	2

CCA ile emprenyeli tel direklerinde ölçülen Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümlerde 1500 m/s ultrasonik hızın üzerindeki ölçümler sağlam, 1200-1500 m/s arası ölçümler çürüklük başlangıcında, 1200 m/s altındaki ölçümler çürük veya hasarlı direk olarak belirlenmiştir (Craighead vd., 2001). Bu ölçümlere dayanarak sağlam direk oranları; Hopa'da % 12, Borçka'da % 30, Ardanuç'ta ise % 50 olarak tespit edilmiştir. Çürüklük başlangıcında olan direk oranları; Hopa'da % 76, Borçka'da % 60, Ardanuç'ta ise % 42 olarak tespit edilmiştir. Çürük veya hasarlı direk oranları; Hopa'da % 12, Borçka'da % 10, Ardanuç'ta ise % 8 olarak tespit edilmiştir (Tablo 33).

Tablo 34. CCB ile emprenyeli tel direklerinde ölçülen Mikroçekiç cihazına ait ölçümlerin lokasyonlara göre değişimi

Lokasyon	Tel direk rutubet değeri (%)		İncelenen direk sayısı	Ölçülen hız değeri (m/s)		Sağlam tel direk sayısı (1500 m/s hızın üzerinde olan direkler)	Çürüklük başlangıcındaki tel direk sayısı (1200-1500 m/s arasında olan direkler)	Çürük veya hasarlı tel direk sayısı (1200 m/s hızın altında olan direkler)
	Ort.	Std.		Ort.	Std.			
HOPA	20	6	19	1371	80	1	18	0
BORÇKA	15	1	14	1434	178	5	8	1
ARDANUÇ	10	2	22	1626	157	20	2	0

CCB ile emprenyeli tel direklerinde ölçülen Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümlerde sağlam direk oranları; Hopa'da, % 5, Borçka'da, % 36, Ardanuç'ta ise % 91 olarak tespit edilmiştir. Çürüklük başlangıcında olan direk oranları; Hopa'da, % 95, Borçka'da, % 57, Ardanuç'ta ise % 9 olarak tespit edilmiştir. Çürük veya hasarlı direk oranları; Hopa'da, % 0, Borçka'da, % 7, Ardanuç'ta ise % 0 olarak tespit edilmiştir (Tablo 34).

Tablo 35. Kreozot ile emprenyeli tel direklerinde ölçülen Mikroçekiç cihazına ait ölçümlerin lokasyonlara göre değişimi

Lokasyon	Tel direk rutubet değeri (%)		İncelenen direk sayısı	Ölçülen hız (Velocity) değeri (m/s)		Sağlam tel direk sayısı (1500 m/s hızın üzerinde olan direkler)	Çürüklük başlangıcındaki tel direk sayısı (1200-1500 m/s arasında olan direkler)	Çürük veya hasarlı tel direk sayısı (1200 m/s hızın altında olan direkler)
	Ort.	Std.		Ort.	Std.			
HOPA	17	2	14	1269	112	0	11	3
BORÇKA	17	8	16	1487	146	7	9	0
ARDANUÇ	12	1	4	1575	58	4	0	0

Kreozot ile emprenyeli tel direklerinde ölçülen Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümlerde sağlam direk oranları; Hopa'da, % 0, Borçka'da, % 44, Ardanuç'ta ise % 100 olarak tespit edilmiştir. Çürüklük başlangıcında olan direk oranları; Hopa'da, % 79, Borçka'da, % 56, Ardanuç'ta ise % 0 olarak tespit edilmiştir. Çürük veya hasarlı direk oranları; Hopa'da, % 21, Borçka'da, % 0, Ardanuç'ta ise % 0 olarak tespit edilmiştir (Tablo 35).

Tablo 33, 34 ve 35'de Mikroçekiç cihazıyla tel direklerinden alınan ölçüm sonuçları bir arada (lokasyonlar göz önüne alınmaksızın) ve sadece emprenye maddeleri (CCA, CCB ve Kreozot) kendi aralarında değerlendirildiğinde şu sonuçlar tespit edilmiştir: CCA ile emprenyeli tel direklerinde sağlam direk oranı % 30, çürüklük başlangıcında olan direk oranı % 58 çürük veya hasarlı direk oranı % 12 olarak belirlenmiştir. CCB ile emprenyeli tel direklerinde sağlam direk oranı % 47, çürüklük başlangıcında olan direk oranı % 51, çürük veya hasarlı direk oranı % 2 olarak belirlenmiştir. Kreozot ile emprenyeli tel direklerinde sağlam direk oranı % 32, çürüklük başlangıcında olan direk oranı % 59, çürük

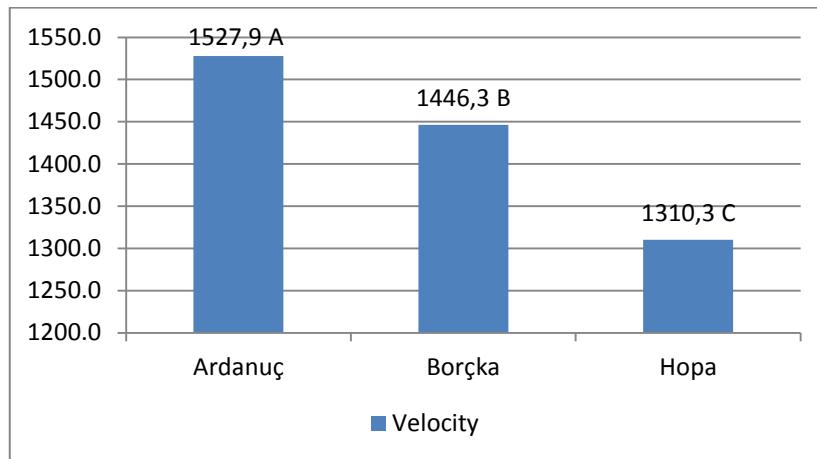
veya hasarlı direk oranı % 9 olarak belirlenmiştir. Mikroçekiç cihazıyla yapılan bu tespitler neticesinde en az çürüklüğün CCB ile emprenyeli tel direklerinde görüldüğü saptanmıştır.

3.7.3.1. Mikroçekiç Cihazıyla Elde Edilen Velocity (Hız) Ölçümleri Bakımından Lokasyonlar Arası Tel Direği Tahribatlarının Değerlendirilmesi

Yapılan basit varyans analizinde velocity değerleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,01$; Tablo 36). Duncan testine göre en yüksek velocity değeri Ardanuç lokasyonunda (1527,9) tespit edilmiştir, bunu sırası ile Borçka (1446,3) ve Hopa (1310,3) lokasyonlar takip etmiştir.

Tablo 36. Velocity değerleri bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	1873817,6	2	936939	40.41	0.0001
Gruplar içi	3361539,5	145	23183		
Toplam	5235357,1	147			

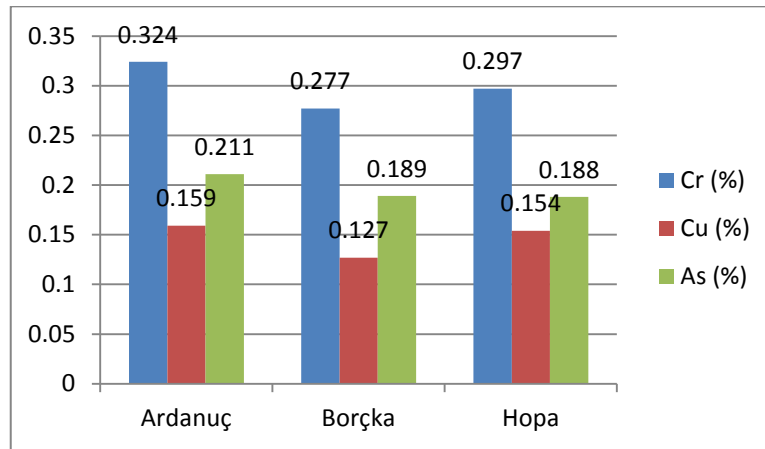


Şekil 75. Mikroçekiç cihazıyla elde edilen Velocity (Hız) ölçümleri bakımından lokasyonlar arası farklılık

Şekil 75’de görüldüğü gibi Mikroçekiç cihazıyla yapılan ölçümlerden elde edilen bulgulara göre; en sağlam tel direkleri sırasıyla Ardanuç>Borçka>Hopa şeklinde tespit edilmiştir. Ultrasonik hızlar sağlam direkte hızlıdır ve yaklaşık 2000 m/s olmaktadır. Çürümüş odun kesitlerinde çürüklüğün etrafından geçtiği zaman hız 1200-1500 m/s arasına düşmektedir. İletim zamanı çürümüş materyalin varlığına bir kanıt olabilmektedir. Bu yöntem yapı kerestelerinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır, fakat tel direklerinde karışık bir başarı elde edilmiştir. Aletin maliyeti ve bir direkte araştırma yapmak için gereken zaman aletin çok yaygın kullanılmasını sekteye uğratmıştır (Craighead vd., 2001). Nicolotti ve ark. (2003) yaptıkları çalışmalarda dikili ağaçlar üzerinde uygulanan Mikroçekiç ölçümlerinde, dikili ağaçlardaki çürümüş alanlarda hesaplanan hızlar 600 ve 1200 m/s olurken, sağlam bölgelerdeki hızlar daha yüksek yani 1200 ve 2000 m/s arasında ya da daha fazla çıkmıştır. Sandoz ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada buna uygun değerler bulmuşlardır (Nicolotti vd. , 2003).

Kullanılan Mikroçekiç cihazıyla elde edilen bulgulara göre; tel direklerindeki hasarların en fazla Hopa’da tespit edilmesinde etkili olan faktörlerin başında yüksek yağış, bağıl nem ve toprak özelliklerinin olduğu düşünülmektedir. Bu tez kapsamında araştırma yapılan çalışma bölgelerinde, toprak pH’sı en düşük Hopa’da, daha sonra Borçka ve takiben Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Toprağın asitliği arttıkça tel direklerinde görülen hasar oranı da artış göstermektedir (Rahman, 2003). Elde edilen bulgulara göre tel direği hasar oranının en fazla Hopa’da görülmesindeki etkenler arasında buradaki % kil miktarının ve toprak rutubet miktarının en yüksek çıkmasının da yer aldığı sanılmaktadır. Topraktaki yüksek nem içeriği biyolojiksel saldırıları tetiklemektedir. Killi topraklarda nem ve kimyasallar toprak içerisinde tutulur. Bu durum alg, yosun ve mantar gelişmesine ve bu canlılarında oduna saldırarak hızla bozundurmalarına olanak sağlamaktadır (Rahman, 2003).

3.8. Tel Direği Bünyesinde Yer Alan Cu, Cr, As Değerlendirmesi



Şekil 76. Lokasyonlar arasında tel direği bünyesinde yer alan Cu, Cr, As değerlendirme

Şekil 76'da görüldüğü gibi yapılan varyans analizinde tel direkleri bünyesinde tespit edilen krom, bakır, arsenik miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistikî anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Tel direği bünyesinde bulunan bakır, krom ve arsenik seviyelerinin normalden düşük olma sebebinin ya yıkanmadan ya da ilk emprenye işlemi sırasında tel direğinin yeterli retensiyon miktarına sahip olmamasından kaynaklandığı sanılmaktadır.

Tablo 37. Her 3 lokasyondaki CCA ile emprenyeli tel direklerinin bünyesinde bulunan bakır, krom ve arsenik seviyeleri

Lokasyon	İncelenen tel direk sayısı	Tel direk yaşı En düşük-En yüksek	Krom (%)		Bakır (%)		Arsenik (%)	
			Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
HOPA	17	17-22	0.26	0.17	0.12	0.08	0.18	0.13
BORÇKA	20	12-20	0.28	0.17	0.13	0.07	0.21	0.16
ARDANUÇ	24	18-19	0.31	0.16	0.14	0.07	0.24	0.15
Retensiyon*			0.999	0.066	0.413	0.014	0.758	0.082

*Minimum tel direklerinde olması gereken retensiyon miktarı (9.6 kg/m^3)

CCA ile emprenye edilmiş ve henüz kullanıma sunulmamış olan bir tel direğin 9.6 kg/m³ retensiyona sahip olması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile, tel direğinin bünyesindeki krom, bakır ve arsenik miktarları sırasıyla; 9990 ppm, 4130 ppm ve 7580 ppm'olması gerekmektedir. Bu tespit çalışmasına göre Hopa (17 adet), Borçka (20 adet) ve Ardanoç'ta (24 adet) ölçüm yapılan CCA ile emprenyeli tel direklerinin hepsinin kullanılmamış bir tel direğinde bulunması gerekenden daha az Cu, Cr ve As içerdiği anlaşılmıştır.

Tablo 37'de görüldüğü gibi her 3 lokasyonda bulunan CCA ile emprenyeli tel direklerinin tamamı normal içermesi gereken miktarın çok altında bakır, krom ve arsenik içermektedir.

3.8.1. Krom

Yapılan basit varyans analizinde tel direkleri bünyesinde tespit edilen krom miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$; Tablo 38).

Tablo 38. Tel direkleri bünyesinde tespit edilen krom miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	0.0420256	2	0.21013	0.6980	0.4999
Gruplar içi	3.0706831	102	0.030105		
Toplam	3.1127086	104			

3.8.2. Bakır

Yapılan basit varyans analizinde tel direkleri bünyesinde tespit edilen bakır miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$; Tablo 39).

Tablo 39. Tel direkleri bünyesinde tespit edilen bakır miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	0.0211	2	0.010	1.5198	0.2236
Gruplar içi	0.716	103	0.0069		
Toplam	0.7372	105			

3.8.3. Arsenik

Yapılan basit varyans analizinde tel direkleri bünyesinde tespit edilen arsenik miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık istatistikî anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$; Tablo 40).

Tablo 40. Tel direkleri bünyesinde tespit edilen arsenik miktarları bakımından lokasyonlar arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	0.0074	2	0.0037	0.2682	0.7657
Gruplar içi	0.7547	55	0.0137		
Toplam	0.7621	57			

3.9. Korelasyon analizi

Değişken	Değişken	Korelasyon	Değişken sayısı	Önem derecesi	
Velocity	Tomografi	0,1623	81	0,1476	
Penetrasyon	Tomografi	0,4844	81	0,0000	
Penetrasyon	Velocity	0,0321	81	0,7759	
Direk rutubeti	Tomografi	0,1013	81	0,3680	
Direk rutubeti	Velocity	-0,4409	81	0,0000	
Direk rutubeti	Penetrasyon	0,0186	81	0,8692	
Rakım	Tomografi	0,2253	81	0,0432	
Rakım	Velocity	0,2858	81	0,0097	
Rakım	Penetrasyon	0,1669	81	0,1364	
Rakım	Direk rutubeti	-0,5760	81	0,0000	
Çap	Tomografi	0,7808	81	0,0000	
Çap	Velocity	0,1442	81	0,1989	
Çap	Penetrasyon	0,4668	81	0,0000	
Çap	Direk rutubeti	0,1023	81	0,3635	
Çap	Rakım	0,1506	81	0,1795	

Yapılan korelasyon analizinde penetrasyon değeri ile tomografi değeri arasında, rakım ile velocity arasında, çap ile tomografi ölçümü arasında ve çap ile penetrasyon arasında 0.01 anlamlılık düzeyinde, rakım ile tomografi değeri arasında da 0.05 anlamlılık düzeyinde pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Bunun yanında direk rutubeti ile velocity arasında ve rakım ile direk rutubeti arasında ise yine 0.01 anlamlılık düzeyinde negatif bir korelasyon tespit edilmiştir.

3.10. Çalışma Yapılan Alanlardaki Toprak Özellikleri ve pH Değerlerine Ait Bulgular

3.10.1. Toprak pH'sı

Tel direklerinden bakır, krom, arsenik ve borun yıkanmasında toprak özelliklerinin etkisini tespit etmek amacıyla topraktaki organik madde miktarı ve toprağın kil, toz, kum içeriği belirlenmiştir (Tablo 46, 47, 48, 49). Burada her lokasyondaki 5 adet CCA ile emprenye edilmiş olan tel direğine bitişik (5 cm ve 20 cm derinlikten olmak üzere) toprak örneklerinin pH'sı (Tablo 41) ve her lokasyondaki kontrol örneklerinin pH'sı (toplam 48 adet pH) ölçülmüştür (Tablo 49). Buradaki amaç CCA'nın yıkanmasında pH etkisini tespit etmektir. Bu çalışmada sadece kontrol toprak örneklerine ait toprak tekstürü ve organik madde miktarı tespit edilmiştir.

Tablo 41. Her 3 lokasyondan alınan tel direğine bitişik toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde farklı derinlikteki toprak pH'sına ait ölçümler

Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	5	6.5540	0.18202	6.31	6.79
Borçka 20 cm	5	6.6200	0.17720	6.35	6.81
Ardanuç 5 cm	5	6.8740	0.22876	6.63	7.25
Ardanuç 20 cm	5	6.9420	0.12377	6.78	7.12
Hopa 5 cm	5	4.7580	0.69980	3.60	5.44
Hopa 20 cm	5	4.5880	0.67968	3.71	5.33
Hopa Kontrol 20 cm	3	5.1967	0.76160	4.62	6.06
Hopa Kontrol 5 cm	3	5.1800	0.74505	4.73	6.04
Borçka Kontrol 5 cm	3	6.9000	0.15875	6.78	7.08
Borçka Kontrol 20 cm	3	6.9600	0.29547	6.63	7.20
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	7.1067	0.16563	6.95	7.28
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	7.1200	0.13115	6.98	7.24

Yapılan varyans analizinde toprakta ölçülen pH değerleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık lokasyona göre istatistikî anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0.01$; Tablo 42).

Tablo 42. Yapılan varyans analizinde toprakta ölçülen pH değerleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	44.266	11	4.024	20.935	0.000
Gruplar içi	6.920	36	0.192		
Toplam	51.186	47			

Toprakta ölçülen pH derecesinin tel direğine bitişik toprak örneklerine, kontrol toprak örneklerine ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük pH değeri aynı grupta yer alan Hopa 20 cm ve 5 cm derinliklerden, Hopa kontrol 5 cm ve Hopa kontrol 20 cm alınan toprak örneklerinde tespit edilmiştir. En yüksek değer ise yine aynı grupta yer alan Borçka 5 cm ve 20 cm derinliklerden, Borçka kontrol 5 cm ve Borçka kontrol 20 cm derinlikten, Ardanuç 5 cm ve Ardanuç 20 cm derinlikten ve Ardanuç kontrol 5 cm ve Ardanuç kontrol 20 cm derinlikten alınan örneklerden elde edilmiştir.

Tablo 43. Lokasyonlara göre yağış miktarındaki artışa bağlı olarak tel direğine bitişik toprak pH'sı ve kontrol toprak pH'sı arasındaki fark artışı

Lokasyon (tahmini yağış)	Toprak Derinlik Kademesi (cm)	Tel direğine bitişik toprak pH'sı	Kontrol toprak pH'sı	pH farkı
Hopa (2500 mm)	5 cm	4.76	5.18	0.42
	20 cm	4.59	5.20	0.61
Borçka (1800 mm)	5 cm	6.55	6.90	0.35
	20 cm	6.62	6.96	0.34
Ardanuç (400 mm)	5 cm	6.87	7.11	0.24
	20 cm	6.94	7.12	0.18

Tablo 43’de görüldüğü gibi lokasyonlara göre yağış miktarındaki artışa bağlı olarak tel direğine bitişik toprak pH’sı ve kontrol toprak pH’sı arasındaki farkında arttığı tespit edilmiştir (Hopa>Borçka>Arduç). Bununla beraber topraktaki derinlik kademesi arttıkça (Hopa’da tel direğine bitişik toprak pH’sı hariç) pH değerinin arttığı belirlenmiştir. Özcan ve Uygun (2004) yaptıkları çalışmada benzer şekilde topraktaki derinlik kademesinin arttıkça (Hopa’da tel direğine bitişik toprak pH’sı hariç) pH değerinin de arttığından bahsetmektedirler.

Lokasyonlar arası tel direklerine bitişik topraklara ait pH sıralamasının, alınan kontrol toprak örnekleriyle aynı sıralamaya sahip olduğu (Hopa<Borçka<Arduç) tespit edilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi tel direklerindeki hasarların yapılan hasarsız test yöntemleriyle tespitinde hasarlı tel direklerinin en fazla bulunduğu bölgeler Hopa>Borçka>Arduç şeklinde tespit edilmiştir. Buradaki sıralama toprak pH’sının asitlik oranının lokasyonlara göre sıralanışıyla birebir örtüşmektedir. Bu örtüşmede, tel direklerinde görülen hasarlar üzerinde toprak pH’sının da bir etkiye sahip olduğunun bir göstergesi olarak düşünülmüştür. Cooper (1991) ile Mulligan ve arkadaşları (2003) çalışmalarında pH’ın azalması ile ağaç malzemedeki Cu yıkanmasının arttığını bulmuşlardır (Arisi, 2006).

Carey ve arkadaşları (1996) yaptıkları çalışmada Cu^{+2} emiliminin pH’a bağlı olduğunu ve yüksek pH’lı toprakların en yüksek emilim potansiyeline sahip olduğunu ve yine bu çalışmada toprak pH’sının artması ya da azalması ile topraklarda arsenat absorpsiyonunun az olduğunu saptamışlardır. Bunun haricinde ahşap malzemenin CCA’nın yıkanmasına yönelik laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda yine pH’ın azalmasıyla CCA ile emprenye edilmiş direktten Cu yıkanmasının arttığı bulunmuştur (Hingston vd., 2001).

Eğer pH değeri 4 ve 4’ün üzeriyse Cr (III) çözünürlüğü azalmakta ve pH değeri 5.5’in üzerinde olursa tamamen çökelti oluşmaktadır. Cr (III) formları stabil komplekslerdir ve toprakta adsorpsiyon yoluyla tutulurlar (Pagilla ve Canter, 1999). Toprak pH’ları arttığı zaman Cr toksisitesi de artmakta ve bu durum topraktaki Cr (VI) iyonlarının formasyonundan kaynaklanmaktadır. Toprak pH’sı besin maddelerinin çözünürlüğünü etkilediği gibi, organik madde yıkımından sorumlu mikroorganizmaların aktivitesini ve topraktaki birçok kimyasal dönüşümü de etkilemektedir (Arisi, 2006). Ağır metal çözünürlüğü çoğunlukla toprak asitliğine bağlıdır. Kalkerli ve killi topraklarda ağır metal çözünürlüğü düşüktür, oysa asidik topraklarda yeterli miktarda metal çözülebilmekte

ve bitkiler tarafından alınmaya uygun hale gelebilmektedir (García-Sánchez ve ark., 1999). Elde edilen sonuçlara göre düşük bir toprak pH'sı (<4.5) söz konusu olduğunda topraklardaki ağır metal mobilizasyonunda organik madde içeriğinin az bir önemi vardır (Kalbitz ve Wennrich, 1998). Toprakta zemin suyunun aşırı asidik veya bazik oluşu toprakta gömülü vaziyette bulunan odun, beton veya metalden yapılmış bileşenlerde zararlı etkiler gösterebilmektedir (Rahman, 2003).

Tablo 44. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki tel direğine bitişik toprak ve kontrol toprak pH'sına ait değişimlerin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N				
		Ort.	*HG	Ort.	HG
Hopa 20 cm	5	4.5880	A		
Hopa 5 cm	5	4.7580	A		
Hopa Kontrol 5 cm	3	5.1800	A		
Hopa Kontrol 20 cm	3	5.1967	A		
Borçka 5 cm	5			6.5540	B
Borçka 20 cm	5			6.6200	B
Ardanuç 5 cm	5			6.8740	B
Borçka Kontrol 5 cm	3			6.9000	B
Ardanuç 20 cm	5			6.9420	B
Borçka Kontrol 20 cm	3			6.9600	B
Ardanuç Kontrol 5 cm	3			7.1067	B
Ardanuç Kontrol 20 cm	3			7.1200	B

*HG: Duncan testine göre aynı harfler gruplar arasında istatistiksel anlamda farklılık göstermemektedir

Tablo 44 incelendiğinde toprak asitliği Hopa>Borçka>Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Hopa ilçesinin pH değeri:4.59-5.20 arasında, Borçka ilçesinin pH değeri:6.55-6.96 arasında, Ardanuç ilçesinin pH değeri:6.87-7.12 arasındadır. Bununla beraber her 3

lokasyonda alınan kontrol toprak örneklerinin pH'sı, o lokasyona ait tel direklerine bitişik topraklarda alınan toprak örneklerinin pH'sına nazaran daha yüksek bulunmuştur. Bu durumda tel direklerinden yıkanan ağır metallerin bitişik topraklarda birikerek pH değerini düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Sıcak ve nemli iklimler, organik maddeleri hızla ayrıştırarak, Ca, Mg, K, Na gibi katyonlarla toprağı zenginleştirir ve pH derecesini yükseltir. Ayrıca yağış artışı hem tel direklerine bitişik topraklardaki hem de kontrol topraklarındaki pH değerini düşürmektedir (Çepel, 1986). Yani yağış ile pH ters orantılıdır.

Her 3 lokasyon kendi aralarında değerlendirildiğinde Borçka ve Ardanuç lokasyonlarından alınan farklı derinlikteki tel direğine bitişik topraklarının ve kontrol topraklarının pH değerlerinin hepsinin aynı grupta yer aldığı ve aralarında istatistiki anlamda fark olmadığı tespit edilmiştir. Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; aynı grupta yer alan Hopa 20 cm, Hopa 5 cm, Hopa Kontrol 5 cm, Hopa Kontrol 20 cm, farklı bir grupta yer alan Borçka 5 cm, Borçka 20 cm, Ardanuç 5 cm, Borçka Kontrol 5 cm, Ardanuç 20 cm, Borçka Kontrol 20 cm, Ardanuç Kontrol 5 cm, Ardanuç Kontrol 20 cm arasında istatistiki anlamda fark olduğu tespit edilmiştir (Tablo 44).

3.10.2. Toprak Tekstürü ve Organik Madde

Çalışma yapılan her 3 lokasyona ait kontrol toprak örneklerinden elde edilen topraktaki organik madde miktarı ve toprak tekstürüne ait bulgular Tablo 45, 46, 47 ve 48'de verilmiştir. Bu ölçümler her 3 çalışma alanındaki toprak özelliklerini temsilen yapılmıştır. Jung ve Thornton (1997) yaptıkları çalışmada Kore'de çalışma alanındaki kontrol toprak örnekleri ile maden ocağı civarında alınan toprak örneklerinin birkaçı dışında genellikle toprak özelliklerinin (pH, katyon değişim kapasitesi ve tekstürü) benzer olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 45. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kum içerikleri

Derinlik-Mesafe	N	KUM (%)			
		Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Hopa-Kontrol. 20 cm	3	64.4833	13.51577	56.68	80.09
Hopa-Kontrol 5 cm	3	63.7733	14.17072	54.55	80.09
Borçka Kontrol 5 cm	3	74.4100	14.16497	65.19	90.72
Borçka Kontrol 20 cm	3	76.5400	11.72114	65.19	88.60
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	65.1933	20.29584	41.79	77.96
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	71.5733	23.01451	46.04	90.72
TOPLAM	18	69.3289	14.92948	41.79	90.72

Tablo 45’de görüldüğü gibi toprak kum içeriği sırasıyla; Hopa<Ardanuç<Borçka olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber her lokasyonda 5 cm derinlikten alınan kontrol örneklerinin kum içeriklerinin, 20 cm derinlikten alınan örneklerin kum içeriğinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 46. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kil değerlerinin değişimi

Derinlik-Mesafe	N	KİL (%)			
		Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Hopa Kontrol 20 cm	3	14.9500	5.35045	9.28	19.91
Hopa Kontrol 5 cm	3	20.6233	3.24927	17.79	24.17
Borçka Kontrol 5 cm	3	14.9500	6.83766	7.15	19.91
Borçka Kontrol 20 cm	3	14.9500	7.47035	7.15	22.04
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	18.4967	6.84129	13.53	26.30
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	15.6600	9.75107	7.15	26.30
TOPLAM	18	16.6050	6.20137	7.15	26.30

Tablo 46’da görüldüğü gibi topraklardaki kil içeriği, kum içeriğinin tam tersi olarak sırasıyla; Borçka<Ardanuç<Hopa olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 47. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin toz değerlerinin değişimi

Derinlik-Mesafe	N	TOZ (%)			
		Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Hopa Kontrol 20 cm	3	20.5667	8.85669	10.64	27.66
Hopa Kontrol 5 cm	3	15.6033	12.09645	2.13	25.53
Borçka Kontrol 5 cm	3	10.6400	7.67012	2.13	17.02
Borçka Kontrol 20 cm	3	8.5133	4.25500	4.26	12.77
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	16.3100	13.67687	6.38	31.91
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	12.7667	13.28663	2.13	27.66
TOPLAM	18	14.0667	9.73874	2.13	31.91

Tablo 47’de görüldüğü gibi toprak toz içeriği sırasıyla; Borçka<Ardanuç≤ Hopa olarak tespit edilmiştir. Killi balçık topraklar emprenye maddelerini kumlu topraktan daha iyi tutmaktadırlar (Gargiulo, 2000).

Tablo 48. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin organik madde değerlerinin değişimi

Derinlik-Mesafe	N	ORGANİK MADDE (%)			
		Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Hopa Kontrol 20 cm	3	4.4433	2.50408	1.60	6.32
Hopa Kontrol 5 cm	3	4.0133	2.01083	1.92	5.93
Borçka Kontrol 5 cm	3	1.1667	0.07506	1.08	1.21
Borçka Kontrol 20 cm	3	1.1000	0.24434	.82	1.27
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	2.8700	1.11216	1.60	3.67
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	2.6967	1.17874	1.34	3.47
TOPLAM	18	2.7150	1.80064	.82	6.32

Tablo 48’de görüldüğü gibi topraklardaki organik madde miktarı değişimi Borçka<Ardanuç<Hopa olarak tespit edilmiştir. Hopa’da organik madde içeriğinin fazla olmasının sebebi; buradaki ölü örtünün diğer çalışma alanlarına nazaran daha fazla olması olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 49. Her 3 lokasyondan alınan kontrol toprak örneklerine ait pH değerleri

Derinlik-Mesafe	N	pH (KONTROL ÖRNEKLERİ)			
		Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Hopa Kontrol 20 cm	3	5.1967	0.76160	4.62	6.06
Hopa Kontrol 5 cm	3	5.1800	0.74505	4.73	6.04
Borçka Kontrol 5 cm	3	6.9000	0.15875	6.78	7.08
Borçka Kontrol 20 cm	3	6.9600	0.29547	6.63	7.20
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	7.1067	0.16563	6.95	7.28
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	7.1200	0.13115	6.98	7.24
TOPLAM	18	6.4106	0.97425	4.62	7.28

Tablo 49’da görüldüğü gibi lokasyonlar arası kontrol toprak örneklerine ait pH değişimi, tel direklerine bitişik alınan toprak örneklerine ait pH değişimiyle aynı sıralamaya sahiptir (Hopa<Borçka<Ardanuç).

3.10.2.1. Toprak pH’sı, Toprak Tekstürü ve Organik Madde Miktarıyla İlgili İstatistiksel Analizler

Yapılan varyans analizinde toprakların Kum, Kil, Toz bakımından örnekleme noktaları arasında istatistiki anlamda bir farklılık bulunamamış olmasına rağmen organik madde bakımından istatistiki anlamda fark bulunmuştur.

Tablo 50. Yapılan varyans analizinde toprakların Kum, Kil, Toz ve Organik madde bakımından örnekleme noktaları arasındaki değişim.

Toprak içeriği		Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
KUM	Gruplar arası	462.905	5	92.581	0.334	0.883
	Gruplar içi	3326.212	12	277.184		
	Toplam	3789.117	17			
KİL	Gruplar arası	86.507	5	17.301	0.366	0.862
	Gruplar içi	567.263	12	47.272		
	Toplam	653.769	17			
TOZ	Gruplar arası	281.746	5	56.349	0.508	0.765
	Gruplar içi	1330.585	12	110.882		
	Toplam	1612.331	17			
ORGANİK MADDE	Gruplar arası	29.108	5	5.822	2.686	0.075
	Gruplar içi	26.011	12	2.168		
	Toplam	55.119	17			
pH	Gruplar arası	13.551	5	2.710	12.584	0.000
	Gruplar içi	2.585	12	0.215		
	Toplam	16.136	17			

Toprak Kum İçeriği

Tablo 51. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kum içeriklerindeki değişimin belirlenmesi

Mesafe-Derinlik	N	Ortalama	HG
Hopa Kontrol 5 cm	3	63.7733	A
Hopa Kontrol 20 cm	3	64.4833	A
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	65.1933	A
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	71.5733	A
Borçka Kontrol 5 cm	3	74.4100	A
Borçka Kontrol 20 cm	3	76.5400	A

Her 3 lokasyondan farklı derinlikten (5 cm – 20 cm) alınan kontrol toprak örneklerine ait toprak kum içeriği değişimlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçelerinde farklı derinlikten alınan kontrol toprak örnekleri arasında istatistiki anlamda fark olmadığı ve hepsinin aynı grupta yer aldığı tespit edilmiştir (Tablo 51).

Tablo 51’de görüldüğü gibi toprak kum içeriği sırasıyla; Hopa<Ardanuç<Borçka olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber her bir lokasyonda 5 cm derinlikten alınan kontrol örneklerinin kum içeriklerinin, 20 cm derinlikten alınan örneklerin kum içeriğinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Borçka lokasyonundaki topraklarda kum içeriğinin yüksek çıkmasının nedeni, burada kontrol toprak örneklerinin alındığı yerlerin daha eğimli bir arazi olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Arazi eğim derecesi bir yerin iklim ve toprak özellikleri ile araziden yararlanma şekilleri üzerinde etkilidir (Çepel, 1988). Çünkü eğim seviyesi arttıkça yerçekimi ve yağışın etkisiyle ince materyal taşınmaktadır ve böylece geriye kaba tekstür (kum içeriği yüksek bir toprak) kalmaktadır. Eğim derecesi arttıkça yağış sularının yüzeysel akışı da artar. Bununla beraber toprağın kimyasal bileşimi ve o yöredeki ana kayanın yapısına bağlı olarak toprak tekstürü ve pH değişkenlik gösterebilir (Çepel, 1988).

Ayrıca siltli-tozlu topraklar empenye maddelerini kumlu topraktan daha iyi tutmaktadırlar (Gargiulo, 2000).

Elde edilen bulgulara göre tel direği hasar oranının en fazla Hopa'da görülmesinde etkili olan faktörler arasında buradaki toprağın % kum miktarının düşük olmasının da yer aldığı sanılmaktadır. Kumlu toprakların permeabilitesinden (geçirgenlik) ve kohezyonsuz (öz yapışkanlığı olmayan) özelliklerinden dolayı kumlu topraklar biyolojiksel saldırıdan korunmaya ve drenaja (suyun akıp gitmesine) olanak sağlamaktadır (Rahman, 2003).

Toprak Kil İçeriği

Tablo 52. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin kil içeriklerindeki değişimin belirlenmesi

Mesafe-Derinlik	N	Ortalama	HG
Hopa Kontrol 20 cm	3	14.9500	A
Borçka Kontrol 5 cm	3	14.9500	A
Borçka Kontrol 20 cm	3	14.9500	A
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	15.6600	A
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	18.4967	A
Hopa Kontrol 5 cm	3	20.6233	A

Her 3 lokasyondan farklı derinlikten (5 cm – 20 cm) alınan kontrol toprak örneklerine ait toprak kil içeriği değişimlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçelerinde farklı derinlikten alınan kontrol toprak örnekleri arasında istatistiki anlamda fark olmadığı ve hepsinin aynı grupta yer aldığı tespit edilmiştir (Tablo 52).

Tablo 52'de görüldüğü gibi topraklardaki kil içeriği, kum içeriğinin tam tersi olarak sırasıyla; Borçka<Ardanuç<Hopa olduğu tespit edilmiştir. Topraktaki kum içeriği ve kil içeriği birbiriyle ters orantılıdır. Ayrıca kontrol toprak örneklerinin alındığı eğim arttıkça

topraktaki kil içeriği azalır. Bununla beraber 5 cm derinlikteki kil içeriğinin, 20 cm derinlikteki kil içeriğiyle pek farklılık göstermediği tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre tel direği hasar oranının en fazla Hopa’da görülmesindeki etkenler arasında buradaki toprak içeriğinde bulunan kil miktarının yüksek olmasının da yer aldığı sanılmaktadır. Topraktaki yüksek nem içeriği biyolojiksel saldırıları tetikler. Killi topraklarda nem ve kimyasallar toprak içerisinde tutulur. Bu durum alg, yosun ve mantar gelişmesine ve bu canlılarında oduna saldırarak hızla bozundurmalarına olanak sağlamaktadır (Rahman, 2003). Emprenye maddelerini kumlu topraklar, kil balçıktan oluşan topraklar kadar iyi tutamamıştır (Gargiulo, 2000).

Toprak Toz İçeriği

Tablo 53. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikten alınan kontrol toprak örneklerinin toz içeriklerindeki değişimin belirlenmesi

Mesafe-Derinlik	N	Ortalama	HG
Borçka Kontrol 20 cm	3	8.5133	A
Borçka Kontrol 5 cm	3	10.6400	A
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	12.7667	A
Hopa Kontrol 5 cm	3	15.6033	A
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	16.3100	A
Hopa Kontrol 20 cm	3	20.5667	A

Her 3 lokasyondan farklı derinlikten (5 cm – 20 cm) alınan kontrol toprak örneklerine ait toprak toz içeriği değişimlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçelerinde farklı derinlikten alınan kontrol toprak örnekleri arasında istatistiksel anlamda fark olmadığı ve hepsinin aynı grupta yer aldığı tespit edilmiştir (Tablo 53).

Tablo 53’de görüldüğü gibi toprak toz içeriği sırasıyla; Borçka<Ardanuç≤ Hopa olarak tespit edilmiştir. Toprağın kimyasal bileşimi ve o yöredeki ana kayanın yapısına bağlı olarak toprak tekstürü ve pH değişkenlik gösterebilir (Çepel, 1988). Ayrıca siltli-

tozlu topraklar emprenye maddelerini kumlu topraktan daha iyi tuttukları bildirilmiştir (Gargiulo, 2000).

Toprak Organik Madde İçeriği

Tablo 54. Her 3 lokasyondan alınan farklı derinlikteki kontrol toprak örneklerinin organik madde içeriklerindeki değişimin belirlenmesi

Mesafe-Derinlik	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Borçka Kontrol 20 cm	3	1.1000	A		
Borçka Kontrol 5 cm	3	1.1667	A		
Ardanuç Kontrol 20 cm	3			2.6967	AB
Ardanuç Kontrol 5 cm	3			2.8700	AB
Hopa Kontrol 5 cm	3			4.0133	B
Hopa Kontrol 20 cm	3			4.4433	B

Her 3 lokasyondan farklı derinlikten (5 cm – 20 cm) alınan kontrol toprak örneklerine ait toprak organik madde içeriği değişimlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçeleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde farklı derinlikten alınan kontrol toprak örnekleri arasında istatistiki anlamda fark olmadığı tespit edilmiştir. Borçka'dan alınan kontrol toprak örnekleriyle Hopa'dan alınan kontrol toprak örnekleri arasında istatistiki anlamda fark olmasına rağmen, Borçka- Ardanuç lokasyonlarından alınan kontrol toprak örnekleri arasında ve Hopa- Ardanuç lokasyonlarından alınan kontrol toprak örnekleri arasında istatistiki anlamda fark olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 54).

Tablo 54'de görüldüğü gibi topraklardaki organik madde miktarı değişimi Borçka<Ardanuç<Hopa olarak tespit edilmiştir. Hopa'da organik madde içeriğinin fazla olmasının sebebi; buradaki ölü örtünün diğer çalışma alanlarına nazaran daha fazla olması olarak düşünülmüştür. Bununla beraber elde edilen bulgulara göre Hopa hariç diğer çalışma alanlarında 5 cm derinlikte ölçülen organik madde içeriği, 20 cm derinlikteki organik madde içeriğine nazaran daha yüksek bulunmuştur. Topraktaki organik madde içeriği derinliğe bağlı olarak azalmaktadır (Erşahin ve Karaman, 2000).

Diğer bir taraftan organik madde içeriği rakımla ilişkilidir. Rakım arttıkça belirli bir yükseltiye kadar topraktaki organik madde içeriğinde artma görülürken, belirli bir yükseltiden sonra sıcaklık değişiminden kaynaklanan mikroorganizma faaliyetinin azalmasından dolayı ölü örtü ayrışmasının da yavaşlaması beklenmektedir. Bu yüzden toprağa karışan organik madde miktarında azalma görülmesi söz konusu olmaktadır. Organik madde, mikroorganizmalar için bir yiyecek kaynağıdır ve iyon değişimi gibi kimyasal reaksiyonlara uğrayabilmektedir. Topraktaki organik madde miktarı mevcut oksijenden ve sıcaklıktan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Daha soğuk iklimlerde ve suya doymuş topraklarda organik madde biyodegradasyonu azalmaktadır (Arisi, 2006).

pH

Tablo 55. Her 3 lokasyondan farklı derinlikten alınan kontrol toprak örneklerindeki pH değişimin belirlenmesi

Mesafe-Derinlik	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Hopa Kontrol 5 cm	3	5.1800	A		
Hopa Kontrol 20 cm	3	5.1967	A		
Borçka Kontrol 5 cm	3			6.9000	B
Borçka Kontrol 20 cm	3			6.9600	B
Ardanuç Kontrol 5 cm	3			7.1067	B
Ardanuç Kontrol 20 cm	3			7.1200	B

Her 3 lokasyondan farklı derinlikten (5 cm – 20 cm) alınan sadece kontrol toprak örneklerine ait toprak pH değişimlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçeleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde farklı derinlikten alınan kontrol toprak örneklerinin pH değerleri arasında istatistiki anlamda fark olmadığı tespit edilmiştir. Borçka ve Ardanuç lokasyonlarından farklı derinlik kademelerinden alınan kontrol toprak örneklerinin hepsinin aynı grupta olduğu ve aralarında istatistiki anlamda bir fark olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 55). Hopa

lokasyonunun ise aynı grupta yer alan Borçka ve Ardanuç'tan farklı bir grupta yer aldığı ve bu yüzden aralarında istatistiki anlamda farklılık olduğu tespit edilmiştir (Tablo 55).

Tablo 55'de görüldüğü gibi lokasyonlar arası kontrol toprak örneklerine ait pH değişimi, tel direklerine bitişik alınan toprak örneklerine ait pH değişimiyle aynı sıralamaya sahiptir (Hopa<Borçka<Ardanuç). Bol yağışlar, topraktaki adsorbe edilmiş bazları yıkayarak, hidrojen iyonları bakımından toprağın zenginleşmesini sağlamak ve pH değerini düşürmektedir (Çepel, 1986). Ayrıca rakım arttıkça pH azalmaktadır.

Her 3 lokasyondada 5 cm derinlikteki kontrol toprak örneklerine ait pH değerleri, 20 cm derinlikteki kontrol örneklerine ait pH değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Bu durumun derine inildikçe organik madde içeriğinin azalmasından kaynaklandığı sanılmaktadır (Erşahin ve Karaman, 2000). Organik maddeyle pH ters orantılıdır, yani yüksek organik maddenin olduğu yerde pH düşük olmaktadır (Arisi, 2006). Özcan ve Uygun (2004) yaptıkları çalışmada toprak pH değerlerinin derinliğe bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir.

3.11. Ağır Metal Değerlendirme

3.11.1. CCA ile Emprenyeli Tel Direklerinden Yıkanan Cu, Cr ve As

Yapılan basit varyans analizinde toprakta biriken As, Cr ve Cu bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($p<0.01$; Tablo 56).

Tablo 56. Yapılan varyans analizinde toprakta biriken As, Cr ve Cu bakımından örnekleme noktaları arasındaki değişim

		Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F- Hesap	Önem derecesi
As	Gruplar arası	613.71	17	36.10	2.88	0.000
	Gruplar içi	2415.72	193	12.51		
	Toplam	3029.44	210			
Cr	Gruplar arası	70710.95	17	4159.46	40.35	0.000
	Gruplar içi	19891.09	193	103.06		
	Toplam	90602.04	210			
Cu	Gruplar arası	267948.29	17	15761.66	16.91	0.000
	Gruplar içi	179793.90	193	931.57		
	Toplam	447742.20	210			

3.11.1.1. Arsenik

Toprakta biriken As miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre As bakımından en düşük değerler aynı grupta yer alan Hopa 100cm, Hopa 50cm yatay mesafede yapılan ölçümlerde elde edilmiştir. En yüksek değer ise yine Hopa lokasyonunda direğin hemen bitişiğindeki toprağın 5 cm'lik derinliğinden elde edilmiştir.

Topraktaki arsenik miktarı en fazla, tel direklerindeki hasarın yoğun görüldüğü Hopa ilçesinde tel direğine bitişik 5 cm derinlikteki toprak örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 57). Bununla birlikte tel direğinden yatay ve düşey yönde farklı mesafelerden alınan toprak örneklerinde arsenik miktarlarının giderek azalmaya başladığı tespit edilmiş ve bu durum yıkanma olduğunun bir göstergesi olarak düşünülmüştür (Ma ve ark., 2003; Gezer, 2005; Tüfekçioğlu, 2005; Arisi, 2006). Ayrıca düşey yöndeki yıkanmanın yatay mesafeye göre daha fazla olduğu düşünülmektedir (Robinson vd., 2006). Bununla beraber tel direklerine

bitişik alınan toprak örneklerindeki arsenik miktarlarının, alınan kontrol toprak örneklerine nazaran daha fazla arsenik içerdiği ifade edilmektedir (Gezer, 2005; Robinson vd., 2006).

İncelenen topraklardaki en fazla arsenik konsantrasyonu, tel direklerindeki hasarın yoğun olduğu Hopa>Borçka>Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir (Tablo 57). Buradaki sıralamada arsenik miktarının Hopa ilçesinde en yüksek miktarda bulunmasında özellikle yağışın ve toprak özelliklerinin (lokasyonlar arasında Hopa'da organik madde ve kil içeriği en yüksek) etkili olduğu düşünülmüştür. As topraktaki organik maddelerle yüksek bir birleşme eğilimine sahiptir. Bu durum alüvyonlu ve organik topraktaki As seviyesinin yüksek olmasından bellidir (Arisi, 2006). Yapılan bir çalışmada, toprağın yapısıyla ilgili olarak elde edilmiş olan Queensland Endüstrisindeki ham veriler, Queensland bölgesindeki siyah killi alanlarda bulunan tel direklerindeki çürüklüğün, Avustralya'daki diğer alanlara göre daha fazla olduğunu göstermektedir (Rahman, 2003).

Borçka ilçesindeki topraklarda arsenik miktarlarının Hopa'dan daha düşük çıkmasında yağış ve toprak özelliklerinin (lokasyonlar arasında Borçka'da kum içeriği en yüksek olduğundan arsenik hareketli olabilir) etkili olduğu düşünülmüştür. Bu yüzden Borçka'da bir miktar arseniğin hareketli olması göz önüne alındığında daha derine hareket etmiş olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca kontrol örneklerinde 5 cm derinlikteki As miktarı, 20 cm derinlikteki As miktarlarına nazaran daha düşük bulunmuştur.

Tablo 57. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki As miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Mesafe	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Hopa 100 cm	10	1.96	A				
Hopa 50 cm	10	2.79	A				
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	2.98		2.98	AB		
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	3.12		3.12	AB		
Ardanuç 100 cm	23	3.13		3.13	AB		
Ardanuç 50 cm	23	3.43		3.43	AB		
Ardanuç 20 cm	23	3.76		3.76	AB		
Ardanuç 5 cm	23	3.95		3.95	AB		
Hopa Kontrol 5 cm	3	4.34		4.34	AB		
Borçka 100 cm	17	4.42		4.42	AB		
Borçka Kontrol 5 cm	3	4.58		4.58	AB		
Borçka 20 cm	12	4.67		4.67	AB		
Hopa Kontrol 20 cm	3	4.81		4.81	AB		
Borçka Kontrol 20 cm	3					5.31	BC
Borçka 50 cm	17					5.41	BC
Borçka 5 cm	15					6.59	BC
Hopa 20 cm	10					7.63	BC
Hopa 5 cm	10					9.39	C

Her 3 lokasyondan CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki As miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Hopa 50 cm, Hopa 100 cm, Hopa kontrol 5 cm ve Hopa kontrol 20 cm derinlik ve uzaklık kademelerinden alınan toprak örneklerinin aynı grupta yer almasından dolayı As içerikleri bakımından aralarında istatistiki anlamda farklılık tespit edilememiştir. Ardanuç lokasyonunda tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki As miktarının belirlenmesi amacıyla

alınan farklı derinlik ve uzaklık kademeleri ile kontrol toprak örneklerinin As içerikleri aynı grupta yer aldıkları için aralarında istatistiki anlamda fark bulunamamıştır. Borçka lokasyonunda tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki As miktarının belirlenmesi amacıyla alınan farklı derinlik ve uzaklık kademeleri ile kontrol toprak örneklerinin As içerikleri aynı grupta yer aldıkları için aralarında istatistiki anlamda fark bulunamamıştır. Aynı grupta yer alan Hopa 50 cm, Hopa 100 cm ve farklı grupta yer alan Hopa 5 cm derinlik ve uzaklık kademelerinden alınan toprak örnekleriyle diğer aynı grupta yer alan bütün toprak örnekleri arasında istatistiki anlamda fark olduğu tespit edilmiştir (Tablo 57).

3.11.1.2. Krom

Toprakta biriken krom (Cr) miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Cr miktarı aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5 cm ve 20 cm derinliklerden, Ardanuç 100 cm yatay mesafeden, Ardanuç 20 cm derinlikten, Ardanuç 50 cm yatay mesafeden ve Ardanuç 5 cm derinlikten alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değer ise yine aynı grupta yer alan Hopa 20 cm ve 5 cm derinlikten, Hopa 100 cm ve 50 cm yatay mesafeden alınan örneklerden elde edilmiştir.

Topraktaki krom miktarı en fazla, tel direklerindeki hasarın yoğun görüldüğü Hopa ilçesinde tel direğine bitişik 5 ila 20 cm derinlikteki toprak örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 58). Bununla birlikte tel direğinden yatay ve düşey yönde farklı mesafelerden alınan toprak örneklerinde krom miktarlarının giderek azalmaya başladığı (Hopa’da kısmen tersi yönde) tespit edilmiştir (Ma ve ark., 2003; Gezer, 2005; Tüfekçioğlu, 2005; Arisi, 2006; Odat ve Alshammari, 2011) Ayrıca tel direklerine 5 cm bitişik alınan toprak örneklerindeki krom miktarlarının, alınan kontrol toprak örneklerine nazaran kısmen daha fazla krom içerdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada kontrol örneklerinin içerdiği krom miktarının da yüksek olmasının, kromun toprak kesitinde kolayca yıkanmamasından ve ana kaya özelliklerinden (Tablo 6) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 58’de görüldüğü gibi topraktaki en fazla krom konsantrasyonu Hopa>Borçka>Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Ardanuç ilçesinde pH en yüksek değerlere sahip olduğu için buradaki krom toksisitesinin fazla olduğu sanılmaktadır (Arisi,

2006). Ayrıca, Hopa ilçesindeki toprakların krom miktarlarının en yüksek değerlere sahip olmasında buradaki toprak organik madde içeriğinin yüksek olmasının da etkisinin olduğu düşünülmüştür (Kalbitz ve Wennrich, 1998; Zagury ve ark., 2001).

Tablo 58. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cr miktarlarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Mesafe ve derinlik	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	15.08	A				
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	16.01	A				
Ardanuç 100 cm	23	17.77	A				
Ardanuç 20 cm	23	17.84	A				
Ardanuç 50 cm	23	18.23	A				
Ardanuç 5 cm	23	18.51	A				
Borçka 100 cm	17	19.58		19.58	AB		
Borçka 20 cm	12	22.10		22.10	AB		
Borçka Kontrol 5 cm	3	23.25		23.25	AB		
Borçka Kontrol 20 cm	3	23.51		23.51	AB		
Borçka 50 cm	17	23.99		23.99	AB		
Borçka 5 cm	15	25.66		25.66	AB		
H-Kontr. 5 cm	3	26.32		26.32	AB		
H-Kontr. 20 cm	3			32.47	B		
Hopa 50 cm	10					61.10	C
Hopa 100 cm	10					62.42	C
Hopa 5 cm	10					70.20	C
Hopa 20 cm	10					70.58	C

Her 3 lokasyondan CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik topraktaki ve kontrol toprak örneklerindeki Cr miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; aynı grupta yer alan Ardanuç Kontrol 5 cm, Ardanuç Kontrol 20 cm, Ardanuç 100 cm, Ardanuç 20 cm, Ardanuç 50 cm, Ardanuç 5 cm ve farklı grupta yer alan Hopa 50 cm, Hopa 100 cm, Hopa 5 cm, Hopa 20 cm ile başka bir grupta yer alan Hopa kontrol 20 cm arasında istatistik olarak fark tespit edilmiştir (Tablo 58).

3.11.1.3. Bakır

Toprakta biriken bakır (Cu) miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük değer Ardanuç kontrol 5 cm ve Ardanuç kontrol 20 cm derinliklerden alınan örneklerde saptanmıştır. En yüksek Cu birikimi ise Borçka 5 cm derinlikten ve 50 cm mesafeden alınan örneklerde tespit edilmiştir.

Toprakta ölçülen bakır miktarı en fazla (Borçka>Hopa>Ardanuç) tel direklerindeki hasarın yoğun görüldüğü Hopa ilçesinde değil de bu kez Borçka'da belirlenmiştir (Tablo 59). Carey ve ark. (1996) yaptıkları çalışmada Cu^{+2} emiliminin pH'a bağlı olduğunu ve yüksek pH'lı toprakların en yüksek emilim potansiyeline sahip olduğunu saptamışlardır. Terk edilmiş bir odun koruma tesisindeki kontamine olmuş alanlardan alınan topraklarda Cu ve Cr elementleri oldukça hareketli bulunmuştur (Bhattacharya ve ark., 2002). Ayrıca hareketli metallerin birikmesi ve derine geçmesi mümkündür (Natalya ve ark., 2009).

Yapılan çalışmada tel direğinden yatay ve düşey yönde farklı mesafelerden alınan toprak örneklerinde bakır miktarlarının genellikle giderek azalmaya başladığı (Hopa'da kısmen tersi yönde) tespit edilmiştir (Ma ve ark., 2003; Gezer, 2005; Tüfekçioğlu, 2005; Odat ve Alshammari, 2011). Bununla beraber en yüksek bakır miktarı Borçka 50 cm yatay mesafedeki toprak örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca tel direklerine bitişik alınan toprak örneklerindeki bakır miktarlarının, alınan kontrol toprak örneklerine nazaran daha fazla bakır içerdiği tespit edilmiştir. Çalışma alanlarında en fazla yıkanan CCA elementi bakır olarak tespit edilmiştir (Gezer, 2005; Arisi, 2006). Bunu krom ve arsenik takip etmektedir (Arisi, 2006).

Tablo 59. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Mesafe ve derinlik	N	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
	Ardanu ç Kontrol 5 cm	3	22.38	A									
Ardanu ç Kontrol 20 cm	3	22.58	A										
Ardanu ç 100 cm	23	25.50		25.50	AB								
Ardanu ç 20 cm	23	26.15		26.15	AB								
Ardanu ç 50 cm	23	26.81		26.81	AB								
Ardanu ç 5 cm	23	31.33		31.33	AB								
H- Kontr. 20 cm	3	39.85		39.85		39.85	BC						
H- Kontr. 5 cm	3	40.14		40.14		40.14	BC						
Hopa 50 cm	10	54.49		54.49		54.49	BC						
Hopa 100 cm	10	54.62		54.62		54.62	BC						
Borçka Kontrol 5 cm	3	60.01		60.01		60.01	BC						
Borçka Kontrol 20 cm	3			65.41		65.41		65.41	CD				
Hopa 20 cm	10					71.89		71.89		71.89	DE		
Hopa 5 cm	10					74.30		74.30		74.30	DE		
Borçka 100 cm	17							100.85		100.85		100.85	EF
Borçka 20 cm	12									106.89		106.89	EF
Borçka 5 cm	15											111.12	F
Borçka 50 cm	17											119.96	F

Her 3 lokasyondan CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; aynı grupta yer alan Ardanuç Kontrol 5 cm, Ardanuç Kontrol 20 cm ve farklı grupta yer alan Hopa 50 cm, Hopa 100 cm, Hopa kontrol 20 cm, Hopa kontrol 5 cm ile başka bir farklı grupta yer alan Hopa 5 cm, Hopa 20 cm ile başka bir grupta yer alan Borçka 5 cm, Borçka 50 cm arasında istatistik olarak fark tespit edilmiştir (Tablo 59). Aynı grupta yer alan Ardanuç Kontrol 5 cm, Ardanuç Kontrol 20 cm ve farklı grupta yer alan Borçka kontrol 20 cm, başka bir farklı grupta yer alan Borçka 100 cm, Borçka 20 cm arasında istatistik olarak fark tespit edilmiştir (Tablo 59). Aynı grupta yer alan Ardanuç 100 cm, Ardanuç 20 cm, Ardanuç 50 cm, Ardanuç 5 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka Kontrol 20 cm, başka bir farklı grupta yer alan Borçka 100 cm, Borçka 20 cm arasında istatistik olarak fark tespit edilmiştir (Tablo 59). Aynı grupta yer alan Ardanuç 100 cm, Ardanuç 20 cm, Ardanuç 50 cm, Ardanuç 5 cm ve farklı bir grupta yer alan Hopa 20 cm, Hopa 5 cm, başka bir farklı grupta yer alan Borçka 5 cm, Borçka 50 cm arasında istatistik olarak fark tespit edilmiştir (Tablo 59). Aynı grupta yer alan H-Kontr. 20 cm, H-Kontr. 5 cm, Hopa 50 cm, Hopa 100 cm, Borçka Kontrol 5 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka 100 cm, Borçka 50 cm arasında istatistik olarak fark tespit edilmiştir (Tablo 59).

3.11.2. CCA ile Emprenyeli Tel Direklerinden Toprağa Yıkanan Cu, Cr ve As'ın Çevre ve Canlılar Üzerindeki Etkileri

Tablo 60. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen As miktarlarının değişimi

ARSENİK					
Lokasyon	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	15	6.59	5.51	0.64	22.64
Borçka 20 cm	12	4.67	3.51	0.96	15.14
Borçka 50 cm	17	5.41	3.94	1.41	15.12
Borçka 100 cm	17	4.42	3.22	0.77	14.14
Ardanuç 5 cm	23	3.95	1.79	0.70	7.60
Ardanuç 20 cm	23	3.76	1.61	1.16	9.02
Ardanuç 50 cm	23	3.43	1.05	1.45	5.96
Ardanuç 100 cm	23	3.13	1.06	0.73	5.06
Hopa 5 cm	10	9.39	8.04	2.06	29.59
Hopa 20 cm	10	7.63	7.49	0.99	20.55
Hopa 50 cm	10	2.79	2.45	0.85	8.52
Hopa 100 cm	10	1.96	1.11	0.64	4.69
Hopa Kontrol 5 cm	3	4.34	4.41	1.53	9.43
Hopa Kontrol 20 cm	3	4.81	4.51	1.41	9.93
Borçka Kontrol 5 cm	3	4.58	2.42	2.24	7.09
Borçka Kontrol 20 cm	3	5.31	2.37	3.30	7.93
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	2.98	1.25	1.54	3.84
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	3.12	1.06	2.04	4.17
TOPLAM	211	4.47	3.79	0.64	29.59

Tablo 60 incelendiğinde ölçülen As seviyelerinin en düşük 2 ppm, en yüksek 9 ppm arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerlerde Tablo 6'da verilen kirletilmemiş toprak örneklerinde bulunması gereken As seviyesine (1-15 ppm) yakın değerler olarak tespit

edilmiştir. Artan As konsantrasyonları tel direği toprağında (43 mg/kg) ve çit direği toprağında (27 mg/kg) olarak gözlemlenmiştir (Cao ve Ma, 2004). Ortalama As konsantrasyonları yaklaşık 1.5 m uzaklıktaki mesafelerde 3 mg kg⁻¹ değerinden daha azken, tel direklerine yakın yerlerde 23 mg kg⁻¹ gibi daha yüksek konsantrasyonlarda belirlenmiştir (Ma ve arkadaşları, 2003).

Tablo 61. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik topraktaki ve kontrol toprak örneklerindeki Cr miktarlarının değişimi

KROM					
Lokasyon	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	15	25.66	7.46	14.87	38.52
Borçka 20 cm	12	22.10	5.33	16.81	34.52
Borçka 50 cm	17	23.99	7.19	12.17	39.62
Borçka 100 cm	17	19.58	5.59	10.60	29.66
Ardanuç 5 cm	23	18.51	6.79	6.31	35.39
Ardanuç 20 cm	23	17.84	5.26	10.52	27.76
Ardanuç 50 cm	23	18.23	4.32	11.76	27.35
Ardanuç 100 cm	23	17.77	4.35	10.82	26.79
Hopa 5 cm	10	70.20	21.38	40.60	102.45
Hopa 20 cm	10	70.58	18.01	41.71	99.94
Hopa 50 cm	10	61.10	18.69	38.01	99.30
Hopa 100 cm	10	62.42	21.92	28.19	101.72
H-Kontr. 5 cm	3	26.32	4.78	23.29	31.84
H-Kontr. 20 cm	3	32.47	13.65	20.00	47.07
Borçka Kontrol 5 cm	3	23.25	3.43	21.14	27.22
Borçka Kontrol 20 cm	3	23.51	1.29	22.66	25.00
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	15.08	3.08	13.00	18.63
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	16.01	4.54	11.03	19.92
TOPLAM	211	28.95	20.77	6.31	102.45

Tablo 61 incelendiğinde elde edilen Cr miktarları en düşük 15 ppm, en yüksek 71 ppm arasında değişmektedir. Bu değerlerde Tablo 6'da verilen kirletilmemiş toprak örneklerinde bulunması gereken krom seviyesine (5-100 ppm) yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Robinson ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada tel direklerinin etrafındaki toprak örneklerin yaklaşık % 10'unun Cr seviyelerinin ANEPC sınırı olan 100 mg/kg seviyesini aştığını tespit etmişlerdir. CCA ile emprenye edilmiş ahşap yapılara bitişik toprak örneklerindeki krom konsantrasyonları (79.0 mg/kg) kontrol toprak örneklerindeki konsantrasyonlarla (48.2 mg/kg) karşılaştırıldığında aradaki farkın ne kadar yüksek olduğu görülmüştür (Kim ve ark., 2007). Bu çalışmada CCA ile emprenye edilmiş tel direklerine bitişik toprak örneklerindeki krom konsantrasyonları; Borçka'da (25,66 mg/kg), Ardanuç'ta (18,51 mg/kg) ve Hopa'da (70,20 mg/kg) olarak tespit edilmiştir. Kontrol toprak örneklerindeki krom konsantrasyonları; Borçka'da (23,25 mg/kg), Ardanuç'ta (15,08 mg/kg) ve Hopa'da (26,32 mg/kg) olarak tespit edilmiştir. Terkedilmiş bir odun koruma tesisindeki kontamine olmuş alanlardan alınan topraklarda ortalama Cr konsantrasyonları 29 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur (Bhattacharya ve ark., 2002).

Tablo 62. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarlarının değişimi

BAKIR					
Lokasyon	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	15	111.12	46.78	38.62	225.70
Borçka 20 cm	12	106.89	45.57	48.36	214.19
Borçka 50 cm	17	119.96	62.82	40.72	269.77
Borçka 100 cm	17	100.85	44.99	41.48	235.61
Ardanuç 5 cm	23	31.33	23.41	7.28	132.91
Ardanuç 20 cm	23	26.15	5.84	17.24	36.54
Ardanuç 50 cm	23	26.81	6.66	17.38	40.83
Ardanuç 100 cm	23	25.50	5.77	13.38	34.79
Hopa 5 cm	10	74.30	28.53	46.35	131.89
Hopa 20 cm	10	71.89	23.42	48.76	112.21
Hopa 50 cm	10	54.49	12.19	36.40	73.37
Hopa 100 cm	10	54.62	9.08	41.28	71.82
H-Kontr. 5 cm	3	40.14	8.99	30.89	48.85
H-Kontr. 20 cm	3	39.85	15.16	26.00	56.06
Borçka Kontrol 5 cm	3	60.01	13.62	50.20	75.57
Borçka Kontrol 20 cm	3	65.41	20.19	50.90	88.48
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	22.38	5.79	15.99	27.28
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	22.5833	3.73	18.43	25.66
TOPLAM	211	59.4001	46.17	7.28	269.77

Tablo 62 incelendiğinde Cu miktarları en düşük 22 ppm, en yüksek 120 ppm arasında değişmektedir. Bu değerlerde Tablo 6'da verilen kirletilmemiş toprak örneklerinde bulunması gereken bakır seviyesinin (2-40 ppm) oldukça üzerinde değerler olarak tespit edilmiştir. Ahşap yapılarla bitişik toprak örneklerindeki bakır konsantrasyonları (98.9, mg/kg) kontrol toprak örneklerindeki konsantrasyonlarıyla (26.9, mg/kg) karşılaştırıldığında aradaki farkın oldukça yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Kim

ve ark., 2007). Terk edilmiş bir odun koruma tesisindeki kontamine olmuş alanlardan alınan topraklarda ortalama Cu konsantrasyonları 26 mg kg^{-1} olarak ölçülmüştür (Bhattacharya ve ark., 2002).

3.11.3. CCB ile Emprenyeli Tel Direklerinden Yıkanan Cu, Cr ve B

Yapılan basit varyans analizinde toprak örneklerinde tespit edilen Cu, Cr ve B örnekleme noktaları arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0.01$; Tablo 63).

Tablo 63. Yapılan varyans analizinde toprakta tespit edilen Cu, Cr ve B bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık

		Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem derecesi
B	Gruplar arası	138401.92	11	12581.99	53.78	0.000
	Gruplar içi	16608.99	71	233.92		
	Toplam	155010.91	82			
Cr	Gruplar arası	57205.90	11	5200.53	32.96	0.000
	Gruplar içi	11201.42	71	157.76		
	Toplam	68407.32	82			
Cu	Gruplar arası	41910.63	11	3810.05	17.99	0.000
	Gruplar içi	15033.09	71	211.73		
	Toplam	56943.72	82			

3.11.3.1. Bor

Toprakta biriken bor (B) miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük değerler aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol

5cm, Ardanuç kontrol 20cm, Borçka kontrol 20cm, Borçka kontrol 5cm, Hopa kontrol 5cm ve Hopa kontrol 20 cm derinliklerinden alınan örneklerden elde edilmiştir. En yüksek değerler ise yine aynı grupta yer alan Hopa 5cm ve Hopa 20 cm derinliklerinden alınan örneklerde tespit edilmiştir.

Tablo 64’de görüldüğü gibi en yüksek bor değerleri Hopa>Ardanuç>Borçka şeklinde tespit edilmiştir. Bununla beraber değerler dikkatli bir şekilde incelendiğinde iklim (yağış) özelliğiyle borun yıkanması arasında çok önemli bir ilişki olduğu görülmektedir. Burada kontrol örneklerindeki sıralama Hopa>Borçka>Ardanuç olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber tel direğine bitişik 5 cm derinlikten alınan toprak örneklerindeki değerlerin, düşey yönde 20 cm derinlikten alınan değerlere nazaran daha düşük oldukları tespit edilmiştir. Bu durumda toprağın kimyasal bileşimi, pH ve anakayanın yapısına bağlı bor mobilizasyonundan kaynaklandığı düşünülmüştür. Yapılan laboratuvar testlerinde asit yağmurlarının Ca ve Mg’un daha derin toprak horizonlarına (özellikle kumlu ve doğal olarak asidik olan topraklarda) doğru yıkanmalarında etkili olduğu ve mobilizasyonlarının artmasına sebep olduğu ispatlanmıştır (Porebska ve ark., 2008). Bayraklı ve Er (1995) yaptıkları çalışmada 52 adet toprak örneğinin bitkiye yarayışlı bor içeriğinin 0-30 cm derinlikte alınan örneklerde 0.05-4.33 mg/kg arasında olduğunu, 30-60 cm derinlikten alınan örneklerde ise 0.05-3.96 mg/kg arasında olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumun farklı toprak özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Tablo 64. Duncan testine göre toprakta biriken B miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Mesafe ve derinlik	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	1.51	A				
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	1.93	A				
Borçka Kontrol 20 cm	3	2.12	A				
Borçka Kontrol 5 cm	3	3.18	A				
H-Kontr. 5 cm	3	3.20	A				
H-Kontr. 20 cm	3	3.21	A				
Borçka 5 cm	8			49.07	B		
Borçka 20 cm	2			55.81	B		
Ardanuç 5 cm	17			58.58	B		
Ardanuç 20 cm	16			61.43	B		
Hopa 5 cm	11					115.99	C
Hopa 20 cm	11					123.07	C

Her 3 lokasyondan CCB ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki B miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; aynı grupta yer alan Ardanuç Kontrol 5 cm, Ardanuç Kontrol 20 cm, Borçka Kontrol 20 cm, Borçka Kontrol 5 cm, H-Kontr. 5 cm, H-Kontr. 20 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka 5 cm, Borçka 20 cm, Ardanuç 5 cm, Ardanuç 20 cm, başka bir farklı grupta yer alan Hopa 5 cm, Hopa 20 cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 64).

3.11.3.2. Krom

Toprakta biriken Cr miktarlarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük değerler anı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5 cm, Ardanuç kontrol 20 cm, Ardanuç 5cm, Ardanuç 20cm, Borçka 5cm, Borçka 20cm, Borçka kontrol 5cm, Borçka kontrol 20cm, Hopa kontrol 5cm ve Hopa kontrol 20cm noktalarından alınan toprak örneklerinde saptanmıştır. En yüksek değerler ise yine aynı grupta yer alan Hopa 5cm ve Hopa 20 cm derinliklerinden alınan örneklerde tespit edilmiştir.

Toprakta tespit edilen krom miktarları tahmin edildiği gibi Hopa>Borçka > Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir (Tablo 65). Tablo 65’de Borçka kontrol örneklerinin tel direklerine bitişik topraklardan alınan krom değerlerine nazaran daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Diğer lokasyonlar için böyle bir durum söz konusu değildir. Bu alışmada Borçka kontrol örneklerinin içerdiği krom miktarlarının tel direklerine bitişik topraklardan yüksek olmasının, anakaya özelliklerinden (Tablo 6) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 65. Duncan testine göre toprakta tespit edilen Cr miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Mesafe ve derinlik	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	15.08	A		
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	16.01	A		
Ardanuç 5 cm	17	17.71	A		
Ardanuç 20 cm	16	18.30	A		
Borçka 5 cm	8	18.91	A		
Borçka 20 cm	2	19.96	A		
Borçka Kontrol 5 cm	3	23.25	A		
Borçka Kontrol 20 cm	3	23.51	A		
Hopa kontrol. 5 cm	3	26.32	A		
Hopa kontrol 20 cm	3	32.47	A		
Hopa 5 cm	11			76.38	B
Hopa 20 cm	11			80.71	B

Her 3 lokasyondan CCB ile empenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki Cr miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5 cm, Ardanuç kontrol 20 cm, Ardanuç 5 cm, Ardanuç 20 cm, Borçka 5 cm, Borçka 20 cm, Borçka kontrol 5 cm, Borçka kontrol 20 cm, Hopa kontrol 5 cm, Hopa kontrol 20 cm ve farklı bir grupta yer alan Hopa 5 cm, Hopa 20 cm arasında istatistiki olarak fark bulunmuştur (Tablo 65).

3.11.3.3.Bakır

Toprakta biriken Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük değerler aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, Ardanuç kontrol 20cm, Ardanuç 20cm, Ardanuç 5 cm noktalarından alınan toprak

örneklerinde belirlenmiştir. En yüksek değer ise Borçka 20 cm noktasından alınan örneklerde tespit edilmiştir.

Toprakta tespit edilen bakır miktarları CCA ile emprenyeli tel direklerindeki bakır miktarlarında olduğu gibi tahmin edilenin aksine Borçka > Hopa> Ardanuç şeklindedir (Tablo 66). Burada Ardanuç'ta bakır konsantrasyonunun en düşük çıkmasındaki sebebin, Ardanuç'ta pH değerlerinin en yüksek olmasından dolayı bakırın toprakta emilerek daha derinlere doğru hareket etmesinden (mobilitesinden) kaynaklandığı düşünülmektedir. Carey ve ark. (1996) yaptıkları çalışmada Cu^{+2} emiliminin pH'a bağlı olduğunu ve yüksek pH'lı toprakların en yüksek emilim potansiyeline sahip olduğunu saptamışlardır.

Borçka'da direğe bitişik 5 cm derinlikten alınan bakır değerleri, düşey yönde 20 cm derinlikten alınan değerlere nazaran daha düşük çıkmasına rağmen, istatistiksel anlamda fark bulunamamıştır (Tablo 66). Terk edilmiş bir odun koruma tesisindeki kontamine olmuş alanlardan alınan topraklarda Cu ve Cr elementleri oldukça hareketli bulunmuştur (Bhattacharya ve ark., 2002). Ayrıca hareketli metallerin birikmesi ve derine geçmesi mümkündür (Natalya ve ark., 2009).

Tel direklerine bitişik alanlardan alınan toprak örneklerindeki bakır miktarlarının, alınan kontrol toprak örneklerine nazaran daha fazla bakır içermesi yıkanma olduğunun bir göstergesi olarak düşünülmüştür (Robinson ve ark., 2006).

Tablo 66. Duncan testine göre toprakta tespit edilen Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Mesafe ve derinlik	N	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	22.38	A								
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	22.58	A								
Ardanuç 20 cm	16	31.18	A								
Ardanuç 5 cm	17	31.27	A								
H-Kontr. 20 cm	3	39.85		39.85	AB						
H-Kontr. 5 cm	3	40.14		40.14	AB						
Borçka Kontrol 5 cm	3			60.01		60.01	BC				
Borçka Kontrol 20 cm	3					65.41	C				
Hopa 20 cm	11					68.41		68.41	CD		
Hopa 5 cm	11					68.49		68.49	CD		
Borçka 5 cm	8							88.97		88.97	DE
Borçka 20 cm	2									97.47	E

Her 3 lokasyondan CCB ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerindeki Cu miktarının mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5 cm, Ardanuç kontrol 20 cm, Ardanuç 20 cm, Ardanuç 5 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka kontrol 5 cm, başka bir farklı grupta yer alan Borçka 5 cm, Borçka 20 cm arasında

istatistik anlamda fark bulunmuştur (Tablo 66). Aynı grupta yer alan Hopa kontrol 20 cm, Hopa kontrol 5 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka Kontrol 20 cm, Hopa 20 cm, Hopa 5 cm başka bir farklı grupta yer alan Borçka 20 cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 66). Aynı grupta yer alan Hopa kontrol 20 cm, Hopa kontrol 5 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka 5 cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 66). Borçka Kontrol 20 cm ve farklı bir grupta yer alan Borçka 5 cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 66).

3.11.4. CCB ile Emprenyeli Tel Direklerinden Yıkılan Cu, Cr ve B'un Çevresel Etkileri

Tablo 67. CCB ile emprenyeli tel direklerinin bitişiğinden alınan toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen B miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

BOR					
Lokasyon	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	8	49.07	16.01	23.54	63.21
Borçka 20 cm	2	55.81	22.64	39.80	71.82
Ardanuç 5 cm	17	58.58	10.95	45.90	79.43
Ardanuç 20 cm	16	61.43	16.15	35.23	93.39
Hopa 5 cm	11	115.99	21.29	76.26	150.33
Hopa 20 cm	11	123.07	19.82	84.81	150.32
H-Kontr. 5 cm	3	3.20	0.20	3.00	3.40
H-Kontr. 20 cm	3	3.21	0.20	3.01	3.41
Borçka Kontrol 5 cm	3	3.18	0.10	3.08	3.28
Borçka Kontrol 20 cm	3	2.12	0.10	2.02	2.22
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	1.51	0.20	1.31	1.71
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	1.93	0.20	1.73	2.13
TOPLAM	83	62.14	43.47	1.31	150.33

Tablo 67 incelendiğinde tel direklerine bitişik alanlarda alınan toprak örneklerindeki bor miktarlarının, alınan kontrol toprak örneklerine nazaran daha fazla bor içermesi yıkanma olduğunun bir göstergesi olarak düşünülmüştür. Bununla beraber alınan kontrol toprak örneklerinin içerdiği bor miktarlarıyla (1.5-3.2 ppm) tel direklerine bitişik topraklardan alınan örneklerin içerdiği bor miktarları (49.0-123.0 ppm) kıyaslandığında aradaki farkın çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Uygan ve Çetin (2004) yaptıkları çalışmada farklı parsel ve profil derinliğine göre toprakta, yüzey sulama suyu kaynaklarında, derin kuyu sularında bor seviyelerini sırasıyla; 0.03-3.24 ppm, 0.03-35.55 ppm ve 0.0-2.89 ppm olarak belirtmişlerdir.

Korkmaz ve Şendemirci (2008) tarafından Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılan bir araştırmada; Ordu ili topraklarının % 20'si, Samsun topraklarının % 3.8'i, Rize topraklarının % 100'ü bor yönünden noksan (<0.5 ppm), Ordu topraklarının % 70'i, Samsun topraklarının % 46.2'si, Trabzon topraklarının % 100'ü bor yönünden düşük (0.5-1.0 ppm) bulunmuştur. Aynı araştırmada, yararılı bor kapsamının yeterli (1.0 - 2.5 ppm) olduğu toprakların oranının Ordu'da % 10, Samsun'da % 34.6 ve Amasya'da % 85.7, bor kapsamı yönünden yüksek (2.5-5 ppm) toprakların oranı ise Samsun'da % 15.4, Amasya'da % 14.3 olarak saptanırken, toksik seviyede (>5.0 ppm) bor içeren topraklara rastlanmamıştır.

Bununla beraber borun toprakta bulunması gereken alt ve üst sınır değerleri arasında ne kadar az bir fark olduğu dikkate alınır ise aşırı seviyede tespit edilen bor miktarının çevresel etkisi daha iyi anlaşılacaktır. Bor tarım ve çevre açısından önemli bir mikro (iz) elementtir. Bitkiler için genel olarak bor düşük konsantrasyonlarda gerekli, yüksek konsantrasyonlarda ise toksik etkiye sahiptir (Uygan ve Çetin, 2004).

Tablo 68. CCB ile emprenyeli tel direklerinin bitişiğinden alınan toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cr miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

KROM					
Lokasyon	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	8	18.91	8.07	5.75	28.51
Borçka 20 cm	2	19.96	9.85	13.00	26.93
Ardanuç 5 cm	17	17.71	5.38	11.73	33.66
Ardanuç 20 cm	16	18.30	6.39	12.31	36.39
Hopa 5 cm	11	76.38	20.34	43.75	108.60
Hopa 20 cm	11	80.71	22.19	47.86	109.71
H-Kontr. 5 cm	3	26.32	4.78	23.29	31.84
H-Kontr. 20 cm	3	32.47	13.65	20.00	47.07
Borçka Kontrol 5 cm	3	23.25	3.43	21.14	27.22
Borçka Kontrol 20 cm	3	23.51	1.29	22.66	25.00
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	15.08	3.08	13.00	18.63
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	16.01	4.54	11.03	19.92
TOPLAM	83	35.22	28.88	5.75	109.71

Tablo 68 incelendiğinde Cr miktarları en düşük 15 ppm, en yüksek 81 ppm arasında değişmektedir. Bu değerlerde Tablo 6’da verilen kontamine olmamış toprak örneklerindeki krom sınır seviyesine (5-100 ppm) yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Tel direklerinin etrafındaki toprak örneklerin yaklaşık % 10’unundaki Cr seviyelerinin de ANEPC sınırı olan 100 mg/kg seviyesini aştığı görülmüştür (Robinson ve ark., 2006). CCA ile emprenye edilmiş odun yapılara bitişik toprak örneklerindeki krom konsantrasyonlarını (79 ppm) kontrol toprak örneklerindeki konsantrasyonlarıyla (48 ppm) ile karşılaştırıldığında aradaki farkın ne kadar yüksek olduğu görülmüştür (Kim ve ark., 2007). Ayrıca CCB ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan krom değerlerinin, CCA ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan krom değerlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 69. CCB ile emprenyeli tel direklerinin bitişiğinden alınan toprak örnekleri ve kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarlarının derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

BAKIR					
Lokasyon	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5 cm	8	88.97	34.01	29.78	141.00
Borçka 20 cm	2	97.47	6.27	93.04	101.91
Ardanuç 5 cm	17	31.27	6.62	20.84	42.50
Ardanuç 20 cm	16	31.18	6.80	21.45	41.92
Hopa 5 cm	11	68.49	13.97	45.92	99.06
Hopa 20 cm	11	68.41	12.81	49.38	98.01
H-Kontr. 5 cm	3	40.14	8.99	30.89	48.85
Hopa kontrol 20 cm	3	39.85	15.16	26.00	56.06
Borçka Kontrol 5 cm	3	60.01	13.62	50.20	75.57
Borçka Kontrol 20 cm	3	65.41	20.19	50.90	88.48
Ardanuç Kontrol 5 cm	3	22.38	5.79	15.99	27.28
Ardanuç Kontrol 20 cm	3	22.58	3.73	18.43	25.66
TOPLAM	83	50.53	26.35	15.99	141.00

Tablo 69 incelendiğinde Cu miktarları en düşük 22 ppm, en yüksek 97 ppm arasında değişmektedir. Bu değerlerde Tablo 6’da verilen kirletilmemiş toprak örneklerinde bulunması gereken bakır seviyesinin (2-40 ppm) oldukça üzerinde değerler olarak tespit edilmiştir. Ahşap yapılara bitişik toprak örneklerindeki bakır konsantrasyonları (98.9, mg/kg) kontrol toprak örneklerindeki konsantrasyonlarıyla (26.9, mg/kg) karşılaştırıldığında aradaki farkın çok yüksek olduğu görülmüştür (Kim ve ark., 2007). Ayrıca CCB ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan bakır değerlerinin, CCA ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan bakır değerlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

3.12. Toprakta Bulunan Metal ve Ağır Metal Katyonları

3.12.1. Bütün Bölgelere (Kontrol ve Çalışma Alanı) Ait Katyonlar

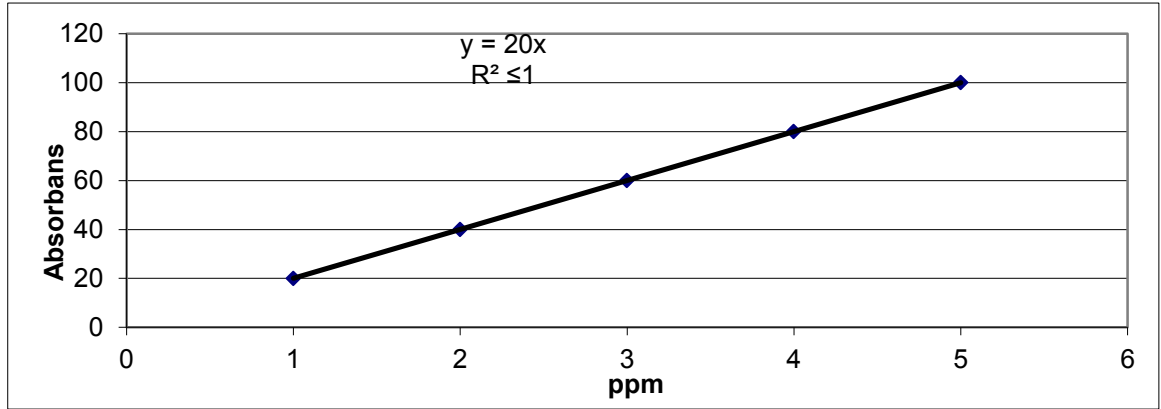
Yapılan basit varyans analizinde toprakların Na, K, Mn ve Co içerikleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur, bunun yanında toprakların Zn ve Ni içerikleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık ise 0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Tablo 70. Yapılan varyans analizinde toprakların Na, K, Mn, Co, Zn ve Ni içerikleri bakımından örnekleme noktaları arasındaki farklılık

		Kareler toplamı	Serbst. derecesi	Kareşeri ort.	F	Önem derecesi
Na	Gruplar arası	209340.74	11	19030.97	10.40	0.000
	Gruplar içi	65853.75	36	1829.27		
	Toplam	275194.49	47			
K	Gruplar arası	7899.33	11	718.12	3.91	0.001
	Gruplar içi	6609.26	36	183.59		
	Toplam	14508.59	47			
Zn	Gruplar arası	308052.99	11	28004.81	2.57	0.016
	Gruplar içi	391150.00	36	10865.27		
	Toplam	699202.99	47			
Mn	Gruplar arası	4526644.45	11	411513.13	3.67	0.001
	Gruplar içi	4032774.16	36	112021.50		
	Toplam	8559418.62	47			
Co	Gruplar arası	1590.21	11	144.56	3.50	0.002
	Gruplar içi	1485.32	36	41.25		
	Toplam	3075.53	47			
Ni	Gruplar arası	2087.47	11	189.77	2.14	0.042
	Gruplar içi	3182.08	36	88.39		
	Toplam	5269.55	47			

SODYUM (Na)

Bu çalışmada 6 adet metal seviyesini belirlerken, bazı metallerin mevcut konsantrasyonda tespit edilememesinden dolayı seyreltme işlemi yapılmıştır. Sodyum (Na) ve potasyum (K) miktarı herhangi bir seyreltme yapılmadan Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında ölçülmüştür ve burada ölçülen değerler ppm'e çevirilmiştir. Buradaki Sodyum elementine ait kalibrasyon eğrisi Şekil 77'de verilmiştir.



Şekil 77. Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında elde edilen Sodyum (Na) ve Potasyum (K) değerlerinin ppm'e çevrilme eğrisi (Sırasıyla; absorbans: 20, 40, 60, 80, 100 → ppm: 1, 2, 3, 4, 5)

Toprakların Na içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Na içeriği aynı grupta yer alan Hopa 20cm ve Hopa 5cm derinliklerden alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Borçka 20cm derinlikten alınan örneklerden elde edilmiştir.

Tablo 71. Toprakta tespit edilen Sodyum (Na) miktarları (ppm)

SODYUM (Na)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5cm	5	220.00	51.81	150.00	275.00
Borçka 20cm	5	242.00	46.54	192.50	300.00
Ardanuç 5cm	5	105.75	46.22	62.50	168.75
Ardanuç 20cm	5	107.00	41.95	56.25	161.25
Hopa 5cm	5	49.00	8.40	40.00	62.50
Hopa 20cm	5	46.25	23.43	10.00	75.00
H-Kontr. 5cm	3	78.33	19.61	56.25	93.75
H-Kontr.20cm	3	87.08	32.45	58.75	122.50
Borçka kontr.5cm	3	172.50	71.28	100.00	242.50
Borçka kontr.20cm	3	160.00	21.36	137.50	180.00
Ardanuç kontr. 5cm	3	132.50	36.82	100.00	172.50
Ardanuç kontr 20cm	3	190.83	76.53	102.50	237.50
TOPLAM	48	131.53	76.51	10.00	300.00

Tablo 72. Duncan testine göre toprakların Na içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

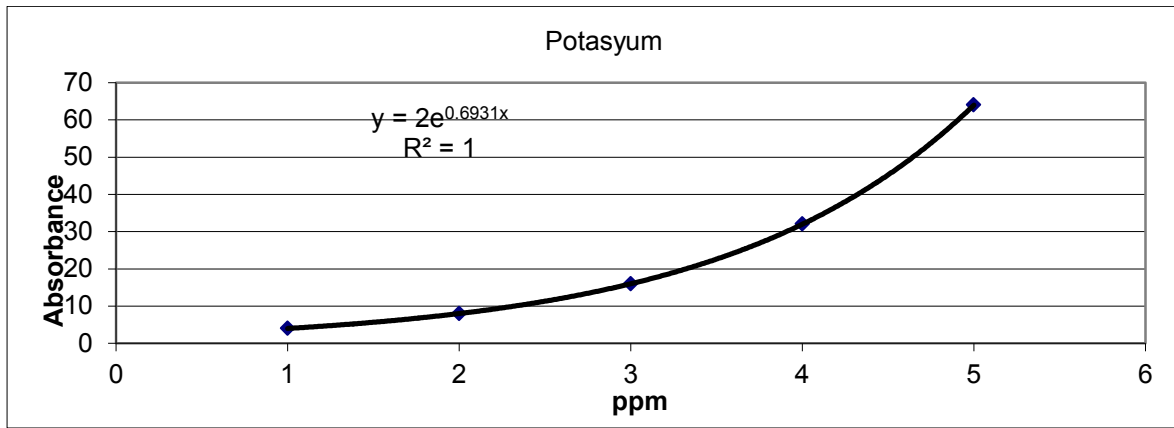
Derinlik	N	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
Hopa 20cm	5	46.25	A										
Hopa 5cm	5	49.00	A										
H-Kontr. 5cm	3			78.33	AB								
H-Kontr. 20cm	3			87.08	AB								
Ardanuç 5cm	5					105.75	BC						
Ardanuç 20cm	5					107.00	BC						
Ardanuç kontrol 5cm	3							132.50	CD				
Borçka kontrol 20cm	3									160.00	DE		
Borçka kontrol 5cm	3									172.50	DE		
Ardanuç kontrol 20cm	3											190.83	EF
Borçka 5cm	5											220.00	EF
Borçka 20cm	5											242.00	F

Toprakların Na içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Hopa 20cm, Hopa 5cm ve farklı bir grupta yer alan Ardanuç 5cm, Ardanuç 20cm, başka bir farklı grupta yer alan Borçka kontrol 20cm, Borçka kontrol 5cm, başka bir farklı grupta yer alan Borçka 20cm arasında istatistiki olarak fark bulunmuştur (Tablo 72). Aynı grupta yer alan Hopa 20cm, Hopa 5cm ve farklı bir grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, başka bir farklı grupta yer alan Ardanuç kontrol 20cm, Borçka 5cm arasında istatistiki olarak fark bulunmuştur (Tablo 72). Aynı grupta yer alan H-Kontr. 5cm, H-Kontr. 20cm, farklı bir grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, başka bir farklı grupta yer alan Ardanuç kontrol 20cm, Borçka 5cm arasında istatistiki olarak fark bulunmuştur (Tablo 72).

Tablo 71’de görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki topraklarda bulunan Sodyum miktarı en düşük 42 ppm, en yüksek 242 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerlerdir. Genellikle sodyum miktarının en fazla bulunduğu çalışma alanı sıralaması Borçka>Ardanuç>Hopa şeklindedir. Eğer toprağın pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm’i geçmemelidir. Bununla beraber Co: 20 ppm ve Na: 125 ppm’i aşmamalıdır (URL-1). Bu çalışmada özellikle Borçka bölgesinde alınan toprak örneklerindeki sodyum miktarları pH>6 faktöründe göz önüne alındığında 125 ppm sınırını aştığı tespit edilmiştir.

POTASYUM (K)

Bu çalışmada 8 adet metal seviyesini belirlerken, bazı metallerin mevcut konsantrasyonda tespit edilememesinden dolayı seyreltme işlemi yapılmıştır. Sodyum (Na) ve potasyum (K) miktarı herhangi bir seyreltme yapılmadan Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında ölçülmüştür ve burada ölçülen değerler ppm’e çevirilmiştir. Buradaki Potasyum elementine ait kalibrasyon eğrisi Şekil 78’de verilmiştir.



Şekil 78. Eppendorf Flamme Spektrofotometresi cihazında ölçülen Potasyum (K) değerlerinin ppm’e çevrilme diyagramı (Sırasıyla; absorbans: 4, 8, 16, 32, 64→ ppm: 1, 2, 3, 4, 5)

Toprakların K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük K içeriği aynı grupta yer alan Borçka kontrol 5cm, Hopa kontrol 20cm ve Borçka kontrol 20cm derinliklerden alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değerler ise yine aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5 cm ve Ardanuç kontrol 20cm derinliklerden alınan örneklerden elde edilmiştir.

Tablo 73. Toprakta tespit edilen Potasyum (K) miktarları (ppm)

POTASYUM (K)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5cm	5	27.23	10.34	15.81	40.81
Borçka 20cm	5	30.71	18.40	9.46	57.32
Ardanuç 5cm	5	49.42	20.88	12.14	59.81
Ardanuç 20cm	5	46.41	17.81	21.20	63.09
Hopa 5cm	5	30.01	10.35	13.40	39.62
Hopa 20cm	5	28.89	12.22	8.05	38.40
H-Kontr. 5cm	3	26.93	3.49	23.15	30.04
H-Kontr.20cm	3	20.20	8.56	10.82	27.61
Borçka kontr.5cm	3	12.41	3.99	9.46	16.95
Borçka kontr.20cm	3	22.73	13.69	8.05	35.15
Ardanuç kontr. 5cm	3	55.83	9.22	45.18	61.49
Ardanuç kontr 20cm	3	56.53	4.30	53.85	61.49
TOPLAM	48	34.31	17.569	8.05	63.09

Tablo 74. Duncan testine göre Toprakların K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N						
		Ortalama	HG	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Borçka kontr. 5cm	3	12.41	A				
H-Kontr. 20cm	3	20.20	A				
Borçka kontr.20cm	3	22.73	A				
H-Kontr. 5cm	3			26.93	AB		
Borçka 5cm	5			27.23	AB		
Hopa 20cm	5			28.89	AB		
Hopa 5cm	5			30.01	AB		
Borçka 20cm	5			30.71	AB		
Ardanuç 20cm	5					46.41	BC
Ardanuç 5cm	5					49.42	BC
Ardanuç kontrol 5cm	3					55.83	C
Ardanuç kontrol 20cm	3					56.53	C

Toprakların K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Borçka kontrol 5cm, Hopa kontrol 20cm, Borçka kontrol 20cm ve farklı bir grupta yer alan Ardanuç 20cm, Ardanuç 5cm, Ardanuç kontrol 5cm, Ardanuç kontrol 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 74). Aynı grupta yer alan Hopa kontrol 5cm, Borçka 5cm, Hopa 20cm, Hopa 5cm, Borçka 20cm ve farklı bir grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, Ardanuç kontrol 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 74).

Tablo 74’de görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki topraklarda bulunan Potasyum miktarları 12 ppm ile 57 ppm arasında değişmekte olup bu değerler literatüre yakın bulunmuştur. Genellikle potasyum miktarının en fazla bulunduğu çalışma alanı sıralaması Ardanuç>Borçka≥Hopa şeklindedir. Ekinci Kulu (2006) yaptığı çalışmada organik bahçe topraklarının değişebilir potasyum içeriklerini en düşük; 19.87 mg kg⁻¹ve en yüksek; 337.82 mg kg⁻¹ olarak tespit etmiştir.

ÇİNKO (Zn)

Toprakların Zn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Zn içeriği Ardanuç 5cm derinlikten alınan örnekte tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Hopa kontrol 5cm derinlikten alınan örnekte elde edilmiştir.

Tablo 75. Toprakta tespit edilen Çinko (Zn) miktarları (ppm)

ÇİNKO (Zn)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5cm	5	187.00	97.07	87.50	300.00
Borçka 20cm	5	246.00	155.70	50.00	385.00
Ardanuç 5cm	5	83.50	46.42	50.00	165.00
Ardanuç 20cm	5	205.50	120.27	52.50	372.50
Hopa 5cm	5	142.00	72.63	62.50	252.50
Hopa 20cm	5	176.00	82.64	92.50	267.50
H-Kontr. 5cm	3	432.50	173.85	232.50	547.50
H-Kontr.20cm	3	196.66	34.03	170.00	235.00
Borçka kontr.5cm	3	130.00	62.79	57.50	167.50
Borçka kontr.20cm	3	151.66	71.47	90.00	230.00
Ardanuç kontr. 5cm	3	122.50	100.71	50.00	237.50
Ardanuç kontr 20cm	3	264.16	142.15	147.50	422.50
TOPLAM	48	189.42	121.96	50.00	547.50

Tablo 76. Duncan testine göre toprakların Zn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Ardanuç 5cm	5	83.50	A		
Ardanuç kontrol 5cm	3	122.50	A		
Borçka kontrol 5cm	3	130.00	A		
Hopa 5cm	5	142.00	A		
Borçka kontrol 20cm	3	151.66	A		
Hopa 20cm	5	176.00	A		
Borçka 5cm	5	187.00	A		
H-Kontr. 20cm	3	196.66	A		
Ardanuç 20cm	5	205.50	A		
Borçka 20cm	5	246.00	A		
Ardanuç kontrol 20cm	3	264.16	A		
H-Kontr. 5cm	3			432.50	B

Toprakların Zn içeriklerinin tel direğine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; sadece Hopa kontrol 5 cm'in aynı grupta yer alan diğer toprak örneklerinden farklı bir grupta yer aldığı ve aralarında istatistiki anlamda fark olduğu tespit edilmiştir (Tablo 76).

Tablo 76'da görüldüğü gibi Zn ağır metali her 3 lokasyonda 84 ppm ila 433 ppm arasında değişen miktarlarda dağılım göstermiştir. Elde edilen bu değerler literatüre yakın değerler olup bazı alanlarda çinko miktarının 300 ppm sınırını aştığı tespit edilmiştir. Bazı metallerin toprakta en çok rastlanan toplam miktarları şöyledir; Mn:200- 4000 ppm, Zn:10-300 ppm ve Cu:5-100 ppm (Çepel, 1986). Ayrıca eğer toprağın pH:5-6 olursa toprak

kirlilik sınır değerleri Ni: 30 ppm ve Zn: 150 ppm olmalıdır, bunun haricinde pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm'i geçmemelidir (URL-1). Bhattacharya ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada terk edilmiş olan bir odun koruma ünitesindeki topraklarda As, Cu, Cr ve Zn elementlerinin bulunabilirliğini ve topraktaki kontaminantlar için kullanılabilir bazı ekstraktanları (özütleyici) incelemeye çalışmışlardır. Kontamine olmuş yüzey topraklarındaki (0-10 cm) ortalama As içeriği 186 mg kg⁻¹ olarak bulunmuş, oysa kontamine olmuş alanlardan alınan topraklarda ortalama Cu, Cr ve Zn konsantrasyonları sırasıyla; 26, 29 ve 91 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Bhattacharya ve ark., 2002).

Hernandez ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada bazı Fransa orman topraklarında (kalkerik kambizol, mollik andozol, asidik, podzol vb. orman toprakları) ölçülen ağır metallerin miktarını büyükten küçüğe doğru; Cr>Zn>Pb>Ni>Cu>Co>Cd şeklinde sıralamışlardır. Kalbitz ve Wennrich (1998) yaptıkları çalışmada Almanya'daki Bitterfeld-Wolfen endüstri bölgesinde bulunan Mulde nehrinin sulak arazi topraklarının ağır metaller ve arsenik tarafından aşırı miktarda kirletilmiş olduğuna dikkat çekerek element mobilitesinde organik maddelerin etkisini ve biriken ağır metallerin mobilitesini tespiti çalışmışlardır. Ağır metal kontaminasyonunu, çeşitli toprak özelliklerini ve geniş miktarda çözünmüş organik karbon konsantrasyonlarını temsil eden 6 farklı yerden toprak karotları alınmıştır. Aslında, Cd ve Zn mobilizasyonu toprak pH'sı ve mobil element içeriğine bağlıdır, fakat organik madde içeriğine bağlı değildir. Asitle özünebilir konsantrasyonlar (oğunlukla toplam içeriğe eşit) örnekleme yerine bağlı olarak Zn: 1100 mg/kg⁻¹, Cr: 800 mg kg⁻¹, Cu: 364 mg kg⁻¹, As: 265 mg kg⁻¹ ve Hg: 37 mg kg⁻¹ olduğunu tespit etmişlerdir.

Odat ve Alshammari (2011), yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan'ın Hail şehir merkezinde bulunan ana karayolları boyunca uzanan toprak örneklerindeki metal içeriğini analiz etmişlerdir. Ortalama inko (Zn) konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 159.3 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde ise 142 ppm olarak saptanmıştır.

MANGANEZ (Mn)

Toprakların Mn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Mn içeriği aynı grupta yer alan Ardanuç 5cm ve

Ardanuç 20cm derinliklerden alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Hopa 20cm derinlikten alınan örnekten elde edilmiştir.

Tablo 77. Toprakta tespit edilen Manganez (Mn) miktarları (ppm)

MANGANEZ (Mn)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5cm	5	2320.50	323.72	2105.00	2887.50
Borçka 20cm	5	2223.50	80.51	2132.50	2342.50
Ardanuç 5cm	5	2159.50	119.87	2005.00	2295.00
Ardanuç 20cm	5	2185.00	94.62	2095.00	2292.50
Hopa 5cm	5	2576.50	369.73	2147.50	3160.00
Hopa 20cm	5	3049.00	240.71	2737.50	3275.00
H-Kontr. 5cm	3	2841.66	620.38	2460.00	3557.50
H-Kontr.20cm	3	2774.16	488.16	2372.50	3317.50
Borçka kontr.5cm	3	2762.50	533.96	2270.00	3330.00
Borçka kontr.20cm	3	2865.00	639.70	2340.00	3577.50
Ardanuç kontr. 5cm	3	2341.66	181.25	2132.50	2452.50
Ardanuç kontr 20cm	3	2304.16	86.68	2207.50	2375.00
TOPLAM	48	2504.94	426.74	2005.00	3577.50

Tablo 78. Duncan testine göre toprakların Mn içeriklerinin (ppm) mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
Ardanuç 5cm	5	2159.50	A						
Ardanuç 20cm	5	2185.00	A						
Borçka 20cm	5			2223.50	AB				
Ardanuç kontrol 20cm	3					2304.16	BC		
Borçka 5cm	5					2320.50	BC		
Ardanuç kontrol 5cm	3					2341.66	BC		
Hopa 5cm	5							2576.50	CD
Borçka kontrol 5cm	3							2762.50	CD
H-Kontr. 20cm	3							2774.16	CD
H-Kontr. 5cm	3							2841.66	CD
Borçka kontrol 20cm	3							2865.00	CD
Hopa 20cm	5							3049.00	D

Toprakların Mn içeriklerinin tel direğine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Ardanuç 5cm, Ardanuç 20cm, farklı bir grupta yer alan Ardanuç kontrol 20cm, Borçka 5cm, Ardanuç kontrol 5cm, başka bir farklı grupta yer alan Hopa 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 78). Aynı grupta yer alan Borçka 20cm, farklı bir grupta yer alan Hopa 5cm, Borçka kontrol 5cm, H-Kontr. 20cm, H-Kontr. 5cm, Borçka kontrol 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 78).

Tablo 77’de görüldüğü gibi Manganez miktarları 2160 ppm ila 3049 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerlerdir. Elde edilen bu değerlerinde sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bazı metallerin toprakta en çok rastlanan toplam miktarları şöyledir; Mn:200- 4000 ppm, Zn:10-300 ppm ve Cu:5-100 ppm (Çepel, 1986).

KOBALT (Co)

Toprakların Co içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Co içeriği Ardanuç kontrol 5cm derinlikten alınan örnekte tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Hopa 5cm derinlikten alınan örnekte elde edilmiştir.

Tablo 79. Toprakta tespit edilen Kobalt (Co) miktarları (ppm)

KOBALT (Co)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5cm	5	15.55	3.22	10.65	19.60
Borçka 20cm	5	17.65	2.47	14.60	20.38
Ardanuç 5cm	5	15.36	7.36	10.13	28.20
Ardanuç 20cm	5	12.67	2.68	9.80	16.80
Hopa 5cm	5	27.79	3.80	23.05	31.58
Hopa 20cm	5	27.39	6.46	23.30	38.70
H-Kontr. 5cm	3	19.86	14.09	8.08	35.48
H-Kontr.20cm	3	22.43	15.80	8.50	39.60
Borçka kontr.5cm	3	15.52	4.09	11.03	19.05
Borçka kontr.20cm	3	17.07	1.78	15.08	18.53
Ardanuç kontr. 5cm	3	9.02	0.38	8.60	9.35
Ardanuç kontr 20cm	3	11.41	2.40	8.65	13.03
TOPLAM	48	18.08	8.08	8.08	39.60

Tablo 80. Duncan testine göre toprakların Co içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG
Ardanuç kontrol 5cm	3	9.02	A								
Ardanuç kontrol 20cm	3			11.41	AB						
Ardanuç 20cm	5			12.67	AB						
Ardanuç 5cm	5			15.36	AB						
Borçka kontrol 5cm	3			15.52	AB						
Borçka 5cm	5			15.55	AB						
Borçka kontrol 20cm	3					17.07	BC				
Borçka 20cm	5							17.65	CD		
H-Kontr. 5cm	3							19.86	CD		
H-Kontr. 20cm	3							22.43	CD		
Hopa 20cm	5							27.39	CD		
Hopa 5cm	5									27.79	D

Toprakların Co içeriklerinin tel direğine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde kendi aralarında ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, farklı bir grupta yer alan Borçka kontrol 20cm ve başka bir farklı grupta yer alan Hopa 5cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 80). Aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 20cm, Ardanuç 20cm, Ardanuç 5cm, Borçka kontrol 5cm, Borçka 5cm, farklı bir grupta yer alan Borçka 20cm, H-Kontr. 5cm, H-Kontr. 20cm, Hopa 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 80).

Tablo 79’da görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki Co değerleri 9 ppm ila 28 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerlerdir. Bununla beraber en yüksek Co içeriği sırasıyla; Hopa>Borçka>Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi Hopa’nın pH’sı<6 civarındadır. Bu yüzden alınan toprak örneklerindeki Co değerleri 20 ppm sınırına yakın olarak tespit edilmiştir. Toprakta pH>6 olursa Co: 20 ppm ve Na: 125 ppm’i aşmamalıdır (URL-1).

Odat ve Alshammari (2011), yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan’ın Hail şehir merkezinde bulunan ana karayolları boyunca uzanan toprak örneklerindeki metal içeriğini analiz etmişlerdir. Kobalt’ın ortalama konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde yaklaşık 36 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde ise yaklaşık 22 ppm olarak bulunmuştur.

NİKEL (Ni)

Toprakların Ni içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Ni içeriği aynı grupta yer alan Ardanuç 20cm, Ardanuç 5cm, Borçka 5cm, Borçka 20 cm ve Borçka kontrol 5cm derinliklerden alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Hopa kontrol 20cm derinlikten alınan örnekten elde edilmiştir.

Tablo 81. Toprakta tespit edilen Nikel (Ni) miktarları (ppm)

NİKEL (Ni)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Borçka 5cm	5	10.87	3.70	4.98	14.78
Borçka 20cm	5	11.29	4.71	4.15	16.45
Ardanuç 5cm	5	9.46	6.17	3.35	17.60
Ardanuç 20cm	5	7.79	2.36	4.53	10.13
Hopa 5cm	5	21.79	6.48	12.60	28.40
Hopa 20cm	5	21.95	9.78	12.78	37.75
H-Kontr. 5cm	3	27.44	22.20	10.20	52.50
H-Kontr.20cm	3	27.77	22.41	9.93	52.93
Borçka kontr.5cm	3	11.54	7.38	4.65	19.33
Borçka kontr.20cm	3	12.41	9.48	4.20	22.80
Ardanuç kontr. 5cm	3	11.82	2.00	9.50	13.03
Ardanuç kontr 20cm	3	13.20	3.45	9.23	15.53
TOPLAM	48	15.176	10.58	3.35	52.93

Tablo 82. Duncan testine göre Toprakların Ni içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort.	HG	Ort	HG
Ardanuç 20cm	5	7.79	A						
Ardanuç 5cm	5	9.46	A						
Borçka 5cm	5	10.87	A						
Borçka 20cm	5	11.29	A						
Borçka kontrol 5cm	3	11.54	A						
Ardanuç kontrol 5cm	3			11.82	AB				
Borçka kontrol 20cm	3					12.41	BC		
Ardanuç kontrol 20cm	3					13.20	BC		
Hopa 5cm	5					21.79	BC		
Hopa 20cm	5					21.95	BC		
H-Kontr. 5cm	3					27.44	BC		
H-Kontr. 20cm	3							27.77	C

Toprakların Ni içeriklerinin tel direğine bitişik toprakta ve kontrol toprak örneklerinde kendi aralarında ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Ardanuç 20cm, Ardanuç 5cm, Borçka 5cm, Borçka 20cm, Borçka kontrol 5cm, farklı bir grupta yer alan Borçka kontrol 20cm, Ardanuç kontrol 20cm, Hopa 5cm, Hopa 20cm, H-Kontr. 5cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 82). Aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, farklı bir grupta yer alan H-Kontr. 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 82).

Tablo 81’de görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki Ni miktarı 8 ppm ila 28 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Özellikle Hopa ilçesinde pH:5-6 civarında olduğu için Ni değerleri burada sınıra yakın değerlerdir. Bununla beraber en fazla Ni miktarı sırasıyla; Hopa>Borçka≥Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Eğer toprağın pH’sı pH:5-6 değerleri arasında ise toprak kirlilik sınır değerleri Ni: 30 ppm ve Zn: 150 ppm olmalıdır, bunun haricinde pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm’i geçmemelidir (URL-1).

Odat ve Alshammari (2011), yaptıkları çalışmada Suudi Arabistan’ın Hail şehir merkezinde bulunan ana karayolları boyunca uzanan toprak örneklerindeki metal içeriğini analiz etmişlerdir. Ortalama Ni konsantrasyonu (0-10 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 97 ppm, (10-20 cm) derinlikteki toprak örneklerinde 92 ppm olarak bulunmuştur. Nikelin en geniş antropojenik (insanlar tarafından oluşturulan) kaynağı benzinin ve artık yağların yanmasıdır. Yağ, kömürden daha fazla Ni içerir.

3.12.2. Sadece Kontrol Gruplarına Ait Katyonlar

Yapılan basit varyans analizinde toprakların Na, Mn, Co ve Ni içerikleri bakımından örnekleme noktaları arasında istatistiki anlamda bir farklılık tespit edilememiştir. Bunun yanında toprakların K içerikleri bakımından istatistiki anlamda 0.01 seviyesinde ve Zn içerikleri bakımından ise 0.05 seviyesinde farklılık tespit edilmiştir.

Tablo 83. Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Sodyum (Na) miktarları (ppm)

SODYUM (Na)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
H-Kontr. 5cm	3	78.33	19.61	56.25	93.75
H-Kontr. 20cm	3	87.08	32.45	58.75	122.50
Borçka kontrol 5cm	3	172.50	71.28	100.00	242.50
Borçka kontrol 20cm	3	160.00	21.36	137.50	180.00
Ardanuç kontrol 5cm	3	132.50	36.82	100.00	172.50
Ardanuç kontrol 20cm	3	190.83	76.53	102.50	237.50
TOPLAM	18	136.87	59.55	56.25	242.50

Tablo 83’de görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki topraklarda bulunan Sodyum miktarı 78 ppm ila 190 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerlerdir. Genellikle sodyum miktarının en fazla bulunduğu çalışma alanı sıralaması Borçka>Ardanuç>Hopa şeklindedir. pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm’i geçmemelidir. Bununla beraber Co: 20 ppm ve Na: 125 ppm’i aşmamalıdır (URL-1). Bu çalışmada özellikle Borçka bölgesinde alınan toprak örneklerindeki sodyum miktarları pH>6 faktöründe göz önüne alındığında 125 ppm sınırını aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 84. Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Manganez (Mn) miktarları (ppm)

MANGANEZ (Mn)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
H-Kontr. 5cm	3	2841.66	620.38	2460.00	3557.50
H-Kontr. 20cm	3	2774.16	488.16	2372.50	3317.50
Borçka kontrol 5cm	3	2762.5	533.96	2270.00	3330.00
Borçka kontrol 20cm	3	2865.00	639.70	2340.00	3577.50
Ardanuç kontrol 5cm	3	2341.66	181.25	2132.50	2452.50
Ardanuç kontrol 20cm	3	2304.16	86.68	2207.50	2375.00
TOPLAM	18	2648.19	466.07	2132.50	3577.50

Tablo 84’de görüldüğü gibi Manganez miktarları 2304 ppm ila 2841 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerlerdir. Elde edilen bu değerlerinde sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bazı metallerin toprakta en çok rastlanan toplam miktarları şöyledir; Mn:200- 4000 ppm, Zn:10-300 ppm ve Cu:5-100 ppm (Çepel, 1986).

Tablo 85. Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Kobalt (Co) miktarları (ppm)

KOBALT (Co)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
H-Kontr. 5cm	3	19.8633	14.09648	8.08	35.48
H-Kontr. 20cm	3	22.4333	15.80011	8.50	39.60
Borçka kontrol 5cm	3	15.5200	4.09528	11.03	19.05
Borçka kontrol 20cm	3	17.0700	1.78502	15.08	18.53
Ardanuç kontrol 5cm	3	9.0267	.38553	8.60	9.35
Ardanuç kontrol 20cm	3	11.4100	2.40225	8.65	13.03
TOPLAM	18	15.8872	8.84635	8.08	39.60

Tablo 85’de görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki Co değerleri 9 ppm ila 22 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerlerdir. Bununla beraber en yüksek Co içeriği sırasıyla; Hopa>Borçka>Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi Hopa’nın pH<6 civarındadır. Bu yüzden alınan toprak örneklerindeki Co değerleri 20 ppm sınırına yakın olarak tespit edilmiştir. Toprakta pH>6 olursa Co: 20 ppm ve Na: 125 ppm’i aşmamalıdır (URL-1).

Tablo 86. Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Nikel (Ni) miktarları (ppm)

Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
H-Kontr. 5cm	3	27.44	22.20	10.20	52.50
H-Kontr. 20cm	3	27.77	22.41	9.93	52.93
Borçka kontrol 5cm	3	11.54	7.38	4.65	19.33
Borçka kontrol 20cm	3	12.41	9.48	4.20	22.80
Ardanuç kontrol 5cm	3	11.82	2.00	9.50	13.03
Ardanuç kontrol 20cm	3	13.20	3.45	9.23	15.53
TOPLAM	18	17.36	13.85	4.20	52.93

Tablo 86’da görüldüğü gibi her 3 lokasyondaki Ni miktarı 12 ppm ila 28 ppm arasında değişmekte olup literatüre yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Özellikle Hopa ilçesinde pH:5-6 civarında olduğu için Ni değerleri burada sınıra yakın değerlerdir. Bununla beraber en fazla Ni miktarı sırasıyla; Hopa>Borçka≥Ardanuç şeklinde tespit edilmiştir. Eğer toprağın pH’sı pH:5-6 değerleri arasında ise toprak kirlilik sınır değerleri Ni: 30 ppm ve Zn: 150 ppm olmalıdır, bunun haricinde pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm’i geçmemelidir (URL-1).

Tablo 87. Yapılan varyans analizinde kontrol toprak örneklerinde Na, Mn, Co ve Ni içerikleri bakımından katyon miktarlarının değişimi

		Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	Önem derecesi
Na	Gruplar arası	31922.65	5	6384.53	2.699	0.074
	Gruplar içi	28381.25	12	2365.10		
	Toplam	60303.90	17			
K	Gruplar arası	5408.45	5	1081.69	16.528	0.000
	Gruplar içi	785.37	12	65.44		
	Toplam	6193.82	17			
Zn	Gruplar arası	209528.12	5	41905.62	3.552	0.033
	Gruplar içi	141575.00	12	11797.91		
	Toplam	351103.12	17			
Mn	Gruplar arası	977055.90	5	195411.18	0.863	0.533
	Gruplar içi	2715779.16	12	226314.93		
	Toplam	3692835.06	17			
Co	Gruplar arası	381.92	5	76.38	0.966	0.476
	Gruplar içi	948.46	12	79.03		
	Toplam	1330.38	17			
Ni	Gruplar arası	949.04	5	189.80	0.985	0.466
	Gruplar içi	2312.13	12	192.678		
	Toplam	3261.18	17			

Yapılan varyans analizi sonucuna göre alınan toprak örnekleri arasında Na, Mn, Co ve Ni içerikleri bakımından istatistiki anlamda bir farklılık bulunamamıştır, bunun yanında K içerikleri arasındaki 0,01 seviyesinde ve Zn içerikleri arasında ise 0,05 seviyesinde farklılık belirlenmiştir (Tablo 87).

POTASYUM (K)

Kontrol Topraklarına ait K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük K içeriği aynı grupta yer alan Borçka kontrol 5cm, Hopa kontrol 20cm, Borçka kontrol 20cm ve Hopa kontrol 5cm derinliklerden alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değerler ise yine aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm ve Ardanuç kontrol 20cm derinliklerden alınan örneklerden elde edilmiştir.

Tablo 88. Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Potasyum (K) miktarları (ppm)

Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
H-Kontr. 5cm	3	26.93	3.49	23.15	30.04
H-Kontr. 20cm	3	20.20	8.56	10.82	27.61
Borçka kontrol 5cm	3	12.41	3.99	9.46	16.95
Borçka kontrol 20cm	3	22.73	13.69	8.05	35.15
Ardanuç kontrol 5cm	3	55.83	9.22	45.18	61.49
Ardanuç kontrol 20cm	3	56.53	4.30	53.85	61.49
TOPLAM	18	32.44	19.08	8.05	61.49

Tablo 89. Duncan testine göre toprakların K içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	HG	Ortalama	HG
Borçka kontrol 5cm	3	12.41	A		
Hopa Kontrol 20cm	3	20.20	A		
Borçka kontrol 20cm	3	22.73	A		
Hopa Kontrol 5cm	3	26.93	A		
Ardanuç kontrol 5cm	3			55.83	B
Ardanuç kontrol 20cm	3			56.53	B

Toprakların K içeriklerinin kontrol toprak örneklerinde derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Borçka kontrol 5cm, Hopa Kontrol 20cm, Borçka kontrol 20cm, Hopa Kontrol 5cm, farklı bir grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, Ardanuç kontrol 20cm arasında istatistiki anlamda fark bulunmuştur (Tablo 89).

Tablo 88’de görüldüğü gibi her lokasyondan alınan kontrol örneklerinde tespit edilen Potasyum miktarları sırasıyla; Ardanuç>Hopa≥Borçka şeklindedir. Ayrıca bu değerler 12 ppm ile 57 ppm arasında değiştii tespit edilmiştir.

ÇİNKO (Zn)

Toprakların Zn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesinde kullanılan Duncan testine göre en düşük Zn içeriği aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, Borçka kontrol 5cm, Borçka kontrol 20cm ve Hopa kontrol 20cm derinliklerden alınan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Hopa kontrol 5cm derinliğinden alınan örneklerden elde edilmiştir.

Tablo 90. Kontrol toprak örneklerinde tespit edilen Çinko (Zn) miktarları (ppm)

ÇİNKO (Zn)					
Derinlik-Mesafe	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
H-Kontr. 5cm	3	432.50	173.85	232.50	547.50
H-Kontr. 20cm	3	196.66	34.03	170.00	235.00
Borçka kontrol 5cm	3	130.00	62.79	57.50	167.50
Borçka kontrol 20cm	3	151.66	71.47	90.00	230.00
Ardanuç kontrol 5cm	3	122.50	100.71	50.00	237.50
Ardanuç kontrol 20cm	3	264.16	142.15	147.50	422.50
TOPLAM	18	216.25	143.71	33.87	50.00

Tablo 91. Duncan testine göre toprakların Zn içeriklerinin mesafe ve derinliğe göre değişiminin belirlenmesi

Derinlik-Mesafe	N	Ort.	HG	Ort.	HG
Ardanuç kontrol 5cm	3	122.50	A		
Borçka kontrol 5cm	3	130.00	A		
Borçka kontrol 20cm	3	151.66	A		
Hopa Kontrol 20cm	3	196.66	A		
Ardanuç kontrol 20cm	3			264.16	AB
Hopa Kontrol 5cm	3			432.50	B

Toprakların Zn içeriklerinin kontrol toprak örneklerinde derinliğe göre değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan testine göre; aynı grupta yer alan Ardanuç kontrol 5cm, Borçka kontrol 5cm, Borçka kontrol 20cm, Hopa Kontrol 20cm, farklı bir grupta yer alan Hopa Kontrol 5cm arasında istatistik olarak fark bulunmuştur (Tablo 91).

Tablo 90'da görüldüğü gibi sadece kontrol örneklerinde tespit edilen Çinko miktarları, daha önce bütün bölgelerde tespit edilen Zn miktarlarına benzer şekilde karışık bir dağılım göstermiştir. Bütün bölgelerde en düşük Zn miktarı 84 ppm iken, sadece kontrol örnekleri esas alınarak yapılan tespitte ise 123 ppm olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler literatüre yakın değerler olup bazı alanlarda çinko miktarının 300 ppm sınırını aştığı tespit edilmiştir.

Bazı metallerin toprakta en çok rastlanan toplam miktarları şöyledir; Mn:200- 4000 ppm, Zn:10-300 ppm ve Cu:5-100 ppm (Çepel, 1986). Ayrıca pH:5-6 olursa toprak kirlilik sınır değerleri Ni: 30 ppm ve Zn: 150 ppm olmalıdır, bunun haricinde pH>6 olursa Ni:75 ppm ve Zn: 300 ppm'i geçmemelidir (URL-1).

Yapılan çalışmalarda ağır metal oranları genellikle Ardanuç<Borçka<Hopa şeklinde tespit edilmiştir. Bu durumun tel direklerinde görülen hasar sıralamasıyla aynı olduğu dikkate alınırsa topraktaki ağır metal birikmesinde iklim ve toprak özelliklerinin yanı sıra tel direklerindeki yıkanmanında etkisi olduğu söylenebilir.

3.13. TEDAŞ ve Telekom Kurumlarının Emprenyeli Tel Direk Alımında Uygulanması Tavsiye Edilen İhale Şartlarının Belirlenmesi

TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen emprenyeli tel direklerinin kontrol ve emprenye işlemleri teknik şartnamede belirtildiği üzere (URL- 10);

- Emprenye işlemi tamamlanmış bir şarjdaki direklerden 10 adedinden artım burgusu ile alınacak numunelerde emprenye maddesinin yetersiz görülmesi halinde ve direk sayısı bir adetten fazla çıktığında şarjın tamamı, bir adet çıktığında yalnızca bu direk ikinci defa emprenye edilecektir.
- Kullanılacak emprenye maddesi özellikle ağaç elektrik direkleri için uygun olacak ve ortalama Türkiye iklim şartları bu emprenye maddesinin seçiminde göz önünde tutulacaktır.
- Taahhüt süresi içerisinde, daha iyi emprenye yapılmasını temin amacıyla fiyat ve metot değişikliği gerektirmeyecek şekilde, TEDAŞ tarafından teknik şartlarda yapılacak değişiklikleri ve ilaveleri YÜKLENİCİ aynen kabule zorunludur.
- Alıcı, temsilcisi veya elemanları vasıtasıyla malzemeleri imalattan teslim yerine kadar her türlü muayene ve kontrol etme hakkını saklı tutar.
- Kontrol görevlilerinin seyahat ve şahsi masrafları ve ücreti dışında muayene ve test masrafları tümüyle satıcı tarafından karşılanacaktır.

- Aksine bir yazılı hüküm bulunmadıkça bütün muayene ve kontroller sevkiyattan önce, alıcının tam yetkili temsilcisi huzurunda yürütülecektir.
- Satıcı, testlerin yapılacağı tarihten bir ay önce test tarihini alıcıya bildirecektir. Alıcı bildirim tarihinden sonraki bir ay içinde muayene mahallinde temsilcisini bulundurmak zorundadır.
- Alıcı, satıcıyı zamanında haberdar etmek suretiyle muayenede temsilci bulundurmaktan vazgeçebilir. Bu durumda bütün kontroller imalatçı tarafından yapılır ve hazırlanıp imzalanmış test raporları incelenmek ve onaylanmak üzere 3 kopya olarak alıcıya gönderilir. Test raporlarının onaylanması durumunda sevk emri ve 1 kopya onaylı test raporu satıcıya geri gönderilir.
- Direkler yerden 30 cm yükseklikte en altta 3 m. aralıklı beton, demir veya sert ağaçtan yapılmış ayaklar üzerine 25 cm ara ile direkler çaprazlama bir şekilde konulacak bu suretle 8 sıra yapılacaktır. Direkler cins ve boylarına göre başları mümkün olabildiği kadar bir hizaya getirilmek suretiyle istif alınacak ve istifler arasında en az bir metre uzaklık bırakılacaktır.

TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen tel direklerinde yukarıda bahsedilen şartlar istenmesine rağmen yapılan bu çalışma kapsamında kontrol ve inceleme işlemlerinin yeterli bir şekilde yapılmadığı belirlenmiştir. Artvin ÇEDAŞ İl Müdürlüğü ve TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda kullanılmamış tel direkleri üzerinde yapılan incelemelerde, tel direkleri üzerinde elektrik aksamlarının takılması için gerekli deliklerin empenye öncesi açılması gerekirken, bu deliklerin açılmamış olduğu tespit edilmiştir. Bu deliklerin empenye sonrası açılması halinde, empenyesiz kısımlar ortaya çıkmaktadır. Bu açığa çıkan empenyesiz kısımlarda odun zararlıları (böcek, mantar vb.) tarafından kolayca tahrip edilmektedir. Bununla beraber kullanım alanına getirilen bir tel direği uzunluğu istenenin biraz üzerindeyse (meselâ; 12 m değil de 15m uzunluğunda ise) tel direğini istenilen boyuta getirmek için yapılan kesme sonucunda empenyesiz enine kesit kısmı açığa çıkmaktadır. Bu yüzden tel direkleri beklenenden daha kısa bir sürede atıl hale gelmektedir.

Depolarda yapılan incelemelerde, son zamanlarda Doğu Karadeniz Bölgesinde kullanılan tel direklerinin CCB ile empenyeli olduğu görülmüştür. Borun yıkanmaya karşı çok hassas olması bu yüzden toprakla temas halinde olan ve çürüklük riski yüksek olan bölgelerde yıkanarak uzaklaşması, özellikle bakıra karşı toleranslı mantarların tahribatına zemin hazırlamaktadır. Ülkemizde maalesef bölgelere göre ağaç malzemelerin çürüklük

riski henüz ortaya konulmamıştır. Bununla birlikte özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bağıl nemin yüksek olması ve çok yağış almasından dolayı çürüklük riskinin yüksek olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, öncelikle ülkemiz için ağaç malzemelerin çürüklük riski haritasının belirlenmesi ve kullanılacak ağaç malzemelerin emprenyesinin ve ihale şartlarının buna göre belirlenmesi gerekmektedir. Doğu Karadeniz Bölgesinde kullanılacak tel direklerinin CCA ile emprenye edilmesinin, tel direk alım ihalesinde şart konulması önerilmektedir. Bununla birlikte çürüklük riski düşük olan bölgelerde ise CCB ile emprenyeli tel direklerinin kullanılmasında bir sakınca görülmemektedir.

Gerek kullanımda bulunan CCB ile emprenyeli tel direklerinden artım burgusuyla alınan örneklerden gerekse Artvin ÇEDAŞ İl Müdürlüğü ve TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda kullanılmamış ve atıl haldeki tel direklerinden alınan örneklerde emprenye maddesinin nüfuz derinliğinin 0.5-4.9 cm arasında değiştiği tespit edilmiştir.

TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından şart konulan minimum retensiyon miktarı (10.5 kg/m³) diğer uluslar arası AWWA, ASTM gibi standartlarda da tel direkleri için şart konulan minimum retensiyon (9.6 kg/m³) miktarından daha yüksek olsa da, direklerdeki minimum gerçek bakır, krom ve arsenik miktarları belirlenmemekte, sadece kaba retensiyon miktarının şart koşulması yeterli olmamaktadır. Bilindiği üzere retensiyon miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır;

$$\text{Retensiyon } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{G \times C}{V} \times 10$$

Burada G: emprenye sonrası ve öncesindeki tel direklerinin ağırlık farkı (gr).

C: 100 gr çözeltilerdeki emprenye konsantrasyonu.

V: Tel direğin hacmi.(cm³)

Formülde de görüldüğü üzere satıcı firmanın 100 gr çözeltilerdeki konsantrasyon miktarını değiştirerek şart koşulan minimum retensiyon miktarını kolayca sağlaması mümkündür ve böylelikle bu firmalar emprenye ettikleri direklerin TEDAŞ tarafından teknik şartnamedeki minimum retensiyon miktarına sahip olduğunu ifade edebilmektedirler. Bu nedenle, kullanılan emprenye çözelti konsantrasyonunun her gün XRF cihazı, ICP veya Atomik Absorpsiyon cihazıyla analiz edilmesi koşulu şartnameye eklenmelidir (Gezer, 2003).

TEDAŞ Ağaç Tel Direk Emprenyesinde Kullanılacak Tuzlara Ait Şartname incelendiğinde CCB grubu tuzlar (Bakır Sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Potasyum Bikromat ($\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$), Asit Borik ($\text{H}_3 \text{BO}_3$)) ve CCA grubu tuzların (Bakır Sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Potasyum Bikromat ($\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$), Arsenik Pentoksit ($\text{As}_2 \text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)) içerdiği bileşimlerin toplamının % 94'den az olamayacağı belirtilmiştir (URL-10). Son zamanlarda metal tuzlarının (Bakır sülfat) kullanımı azalmıştır. Bunun nedeni; tuz karışımlarının kullanıldığı emprenye çözeltileri ahşap malzemenin rutubet çekici özelliğini artırmakta ve enerji nakil hatlarıyla, demiryolu traverslerinde iletkenliği artırarak sinyalizasyon sisteminde sorun oluşturmaktadır (Yıldız, 2005). Bu yüzden metal tuzlarının yerine daha çok metal oksitler (Bakır oksit) kullanılmaya başlanmıştır. Fakat TEDAŞ şartnamesi incelendiğinde halen metal tuzlarının (Bakır sülfat) yer aldığı eski formülasyonun uygulandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, TEDAŞ Ağaç Tel Direk Emprenyesinde Kullanılacak Tuzlara Ait Şartname'deki formülasyonun yerine metal oksitlerin kullanıldığı formülasyonun uygulanması koşulu şartnameye eklenmelidir. Ayrıca TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ihaleyi kazanan firmanın en az 30 yıl boyunca belirli periyotlarla yerinde bakım ve denetleme işlemlerini yapmasının gerekliliğini belirten koşulun da şartnameye eklenmesi gerekmektedir. Çünkü kontrollü olarak periyodik bakımı yapılmamış direnci düşük olan direkler enerji nakil hatlarında çalışan personelin güvenliğini tehdit etmenin yanı sıra yerleşim yerlerinde oturan yerli halkın can ve mal güvenliğini de tehlikeye atabilecek sorunlar teşkil etmektedir.

CCA suda çözünen bir emprenye maddesi olduğu için ağaç malzemedden yıkanarak uzaklaşması söz konusudur. CCA yıkanmaya karşı direnç kazanabilmek için ağaç malzeme ile birtakım kimyasal reaksiyonlara girerek fiksasyon (tutulma, bağlanma) olayını gerçekleştirmektedir (Radivojevic ve Cooper, 2002). Tel direklerindeki CCA fiksasyonunu etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar; odun özellikleri, emprenye teknikleri, ürün boyutu gibi faktörlerdir (Arisi, 2006). Tel direklerinin beklenen kullanım ömrünü göstermesinde fiksasyon aşaması çok önemlidir. CCA bileşenlerinden olan kromun asıl görevi; diğer CCA bileşenlerinin (bakır ve arsenik) ağaç malzemeye daha sıkı bir şekilde tutunmasını sağlamaktır. Buradaki fiksasyon reaksiyonları Cr^{+6} iyonlarının Cr^{+3} iyonlarına indirgenmesi sonucu meydana gelmektedir. Yani tel direklerinde fiksasyonun tamamlanıp tamamlanmadığını anlamak tel direği bünyesindeki Cr^{+6} iyonlarının tespitiyle alakalıdır. Bu tespit çalışması laboratuvar şartlarında hazırlanmış olan kromotropik asit testi yöntemiyle kolayca gerçekleştirilmektedir. Bu tespitle ilgili yapılan laboratuvar

çalışmasında kullanılan ağaç türü ve emprenye çözelti konsantrasyonunun da fiksasyona etkisi olup olmadığını belirlemek amacıyla 3 farklı ağaç türünden (iskoç çamı, kayın, kızılğaç) elde edilen 15 adet odun örneklerinden her biri 2x2x2 cm boyutunda kesilmiştir. Daha sonra bu odun örnekleri 2 farklı konsantrasyonda (%1.5 ve % 3) hazırlanan CCA-Tip C emprenye maddesiyle 1 atm basınç altında 60 dakika süreyle emprenye edildikten sonra 25 dakikalık bir vakum işlemi (650 mmHg) uygulanarak emprenye edilmiştir. Emprenye işlemi bittikten sonra retensiyon miktarı yukarıda da belirtilen aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır;

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10 \left(\text{kg/m}^3 \right) \quad R = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100(\%)$$

Burada; R: Retensiyon miktarı (kg/m³)

G: Emprenye sonrası (T₂) ve öncesindeki (T₁) odun örneklerinin ağırlık farkı (gr).

C: 100 gr çözültideki emprenye konsantrasyonu.

V: Odun örneklerinin boyutu.(cm³)

Bu hesaplama işleminden sonra fiksasyon süresinin emprenye çözeltisi konsantrasyonu ve kullanılan odun türlerinden etkilendiği tespit edilmiştir. Yapılan bu tespit işleminden sonra 100 ml 1N sülfirik asit içerisinde 0.5 gr kromotropik asit disodyum tuzu çözüldürülerek kromotropik asit çözeltisi hazırlanmıştır (AWPA A-3, 2000). Hazırlanan kromotropik asit çözeltisi CCA ile emprenye edilmiş odun örneklerine damlatıldığında Cr⁺⁶ varlığında mora yakın pembe bir renk oluşumu gözlenmiştir. Bu durumda emprenye edilmiş odun örneklerinde fiksasyon işleminin yeterli olmadığını göstermektedir. Krom (III) varlığında ise renk değişimi gözlenmemiştir. Renk değişimi gözlenmemesi fiksasyon işleminin tamamlandığını göstermektedir. Bunun için TEDAŞ, Telekom vb. kurumlar henüz kullanıma sunulmamış tel direklerinde fiksasyon işleminin tamamlanıp tamamlanmadığını kromotropik asit test yöntemi gibi basit testlerle test etmeli ve yeterli fiksasyonun olmadığı tel direklerinin kullanıma sunulması engellenmelidir. Kullanıma sunulması engellenen bu tel direkleri depolarda yeterli fiksasyon gerçekleşinceye kadar bekletildikten sonra kullanıma sunulmalıdır.

4. SONUÇLAR

4.1. İklim Özelliklerinin Tel Direk Hasarları Üzerine Etkisi

İklim özellikleri ve dış ortam koşullarının tel direklerinde görülen hasarlar üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Ağaç malzemenin çürümesi oksijen ve rutubet varlığında yoğun olur, çünkü bu durum aerobik (O_2 'li solunum yapan) mikroorganizmaların (bakteri, mantar vb.) gelişmesine ve metabolik aktivitesine olanak sağlamaktadır. Genellikle rakımın düşük, sıcaklığın ve bağıl nemin yüksek olduğu bölgelerde kullanılan ağaç malzemelerde görülen çürüklük oranları daha fazladır. Bu çalışmada Artvin ilindeki (Borçka, Hopa ve Ardanuç) tel direklerinin beklenenden daha az sürede atıl hale gelmesinde etkili olan çevresel faktörlerden biri olan iklim özelliklerinin etkisini tespit etmek amacıyla Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilen verilere dayanarak çalışma alanlarındaki tel direklerine ait hasar durumu tespit edilmeye çalışılmıştır.

CCA ile emprenyeli tel direklerinde görülen yıkanma olayında nem ve yağış miktarının yüksek olmasının ve yağış sıklığının büyük bir etkisi vardır. Bu yüzden ülkemizde en fazla hasar ve çürüklük riski olan bölge Doğu Karadeniz Bölgesidir. Bu tez çalışması kapsamında Artvin iline ait (Artvin, Hopa) son 10 yıllık iklim verileri, alınan artım burgusu örneklerinden elde edilen tel direk rutubet değerleri ve GPS cihazı yardımıyla belirlenen her bir ilçeye ait rakım değerleri göz önüne alınarak en fazla çürüklüğün Artvin'in hangi ilçesinde görüldüğü tespit edilmiştir. Yapılan bu tespit çalışmasında en fazla hasar aşırı yağışı temsil eden Hopa ilçesinde, orta derece hasar yağışlı iklimi temsil eden Borçka ilçesinde ve en az hasar ise kurak iklimi temsil eden Ardanuç ilçesinde belirlenmiştir. Bu yüzden, özellikle Hopa ve Borçka ilçelerinde hizmet alanında kullanılan tel direklerinin, yağış miktarından etkilenen ve içerisinde bor bulundurması nedeniyle kolaylıkla yıkanan CCB gibi emprenye maddelerinin yerine, CCA veya Bakır Azol gibi alternatif emprenye maddeleriyle emprenye edilmeleri gerekmektedir.

4.2. Toprak Özellikleri ile Tel Direk Hasarları Arasındaki Etkileşim

Çalışma alanlarında (Artvin-Hopa, Artvin-Borçka ve Artvin-Ardanuç) yer alan toprak özelliklerinin tel direklerinde görülen çürüklük ve hasarlar üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla her 3 lokasyonda tel direğine bitişik topraklarda düşey yönde 0-5 cm, 20-30 cm derinlik kademelerinden ve yatay yönde 50 cm, 100 cm uzaklık mesafelerinden yüzeysel olarak toprak örnekleri alınmıştır. Her 3 çalışma alanından alınan toprak örneklerine ait pH değerleri, rutubet değerleri, organik madde miktarı, kum içeriği, toz içeriği ve kil içeriği belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre en düşük toprak pH'sı ve en yüksek toprak nemi Hopa lokasyonunda, en yüksek toprak pH'sı Ardanuç lokasyonunda bunun yanında en düşük toprak nemi Borçka'da saptanmıştır. Borçka'da en düşük toprak nem içeriğinin saptanmasında, buradaki toprakların diğer iki ilçedeki topraklara nazaran daha fazla kum içermesinin etkili olduğu düşünülmüştür. Hopa lokasyonundan alınan toprak örneklerinde kil ve organik madde içeriği en yüksek iken, Borçka lokasyonundan alınan örneklerde en düşük olarak tespit edilmiştir. Toprakta bulunan kum içeriği en yüksek Borçka, en düşük Hopa lokasyonunda tespit edilmiştir. Toz içeriği incelendiğindeyse en düşük Borçka'da tespit edilmesine rağmen Hopa ve Ardanuç'ta daha yüksek, fakat birbirine yakın değerler tespit edilmiştir.

Artvin iline ait Hopa, Borçka ve Ardanuç ilçelerinde bulunan hem CCA, hem de CCB ile emprenyeli tel direklerinden toprağa yıkanan bakır, krom, arsenik ve bor bileşenlerinin alınan toprak örneklerindeki miktarları ICP-OES cihazıyla her bir ilçe için ayrı ayrı belirlenmiştir. CCA ile emprenyeli tel direklerinden yıkanan bakır, krom ve arsenik miktarlarının genellikle bütün ilçelerde hem düşey yönde, hemde yatay yönde tel direğinden uzaklaşıldıkça azaldığı tespit edilmiştir. Tel direklerine bitişik topraklarda ölçülen bakır, krom ve arsenik miktarları, alınan kontrol örneklerine nazaran daha yüksek tespit edilmiştir. Buda yıkanma olduğunun açık bir göstergesi olarak ifade edilebilir. CCA ile emprenyeli tel direklerinden en fazla yıkanan bileşen olarak bakır daha sonra krom ve en az konsantrasyona sahip bileşen arsenik olarak belirlenmiştir.

CCB ile emprenyeli tel direklerine bitişik sadece düşey yönde 0-5 cm ve 20-30 cm derinlik kademelerinden toprak örnekleri alınmıştır. CCB emprenye maddesine ait bakır, krom ve bor bileşenlerinden yalnızca bakırın derine doğru inildikçe azaldığı belirlenmiştir. Bor ve kromun ise derinliğe bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda toprağın kimyasal bileşimi, pH ve anakayanın yapısına bağlı bor mobilizasyonundan kaynaklandığı

düşünülmektedir. Ayrıca tel direklerine bitişik alınan toprak örneklerindeki bakır, krom, bor miktarlarının, alınan kontrol toprak örneklerine nazaran daha fazla olması yıkanma olduğunun bir göstergesi olarak düşünülmüştür. Her 3 lokasyondaki tel direklerine bitişik krom değerleri beklenenin aksine 20 cm derinlikteki krom değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durumun CCA ile emprenyeli tel direklerinde görülmeyip, CCB ile emprenyeli tel direklerinde görülmesi borun bu olayda etkili olduğunu ve kromun topraktaki mobilizasyonunun artmasına neden olması şeklinde açıklanabilir. CCB ile emprenyeli tel direklerinden en fazla yıkanan bileşen olarak bor daha sonra bakır ve en az konsantrasyona sahip bileşen krom olarak belirlenmiştir. CCA ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprak örneklerinde tespit edilen arsenik ve krom konsantrasyonları Hopa'dan alınan toprak örneklerinde en yüksek iken, en düşük arsenik ve krom konsantrasyonları Ardanuç'ta belirlenmiştir. Bu durum Hopa ilçesinde toprak pH'sının düşük, organik madde ve kil içeriğinin yüksek olmasıyla ilişkilendirilebilir. Hem CCA bileşeni olan bakır, hem de CCB bileşeni olan bakır konsantrasyonları ise en yüksek Borçka'da iken, en düşük bakır konsantrasyonları Ardanuç'ta belirlenmiştir. Bu durumun toprağın kimyasal bileşimi ve anakayanın yapısından kaynaklandığı sanılmaktadır. CCB ile emprenyeli tel direklerine bitişik toprak örneklerinde tespit edilen bor ve krom konsantrasyonları Hopa'dan alınan toprak örneklerinde en yüksek iken, en düşük bor konsantrasyonu Borçka'da ve en düşük krom konsantrasyonu ise Ardanuç'ta belirlenmiştir. Bu çalışmada genellikle hem CCA bileşenlerinin (bakır hariç), hem de CCB bileşenlerinin (bakır hariç) en fazla Hopa'da yıkanmasında bu ilçenin diğer iki ilçeye nazaran daha fazla yağış alması büyük önem arz etmektedir. Bununla beraber, Hopa ilçesinden alınan toprak örneklerinde yapılan laboratuvar testleri neticesinde pH'sının düşük, toprak nemi, organik madde ve kil içeriğinin diğer iki ilçeden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bahsedilen bu toprak özelliklerinin emprenye edilmiş tel direklerindeki yıkanma miktarını ve topraktaki ağır metal tutulmasını artırdıkları yapılan farklı çalışmalarda saptanmıştır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen bakır, krom, arsenik ve bor miktarlarının, kontamine olmamış topraklarda bulunması gereken sınır değerlerine yakın veya üzerinde oldukları tespit edilmiştir. Elde edilen bu tespitlere göre yıkanmanın, hasarın ve çürüklüğün en yüksek olduğu ilçe Hopa, en düşük olduğu ilçe ise Ardanuç olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada her bir inceleme alanında CCA ile emprenye edilmiş tel direklerine bitişik düşey yönde 0-5 cm ve 20-30 cm derinlikteki toplam 30 adet toprak örneklerinde ve 18 adet kontrol toprak örneklerinde bulunan Na, K, Zn, Mn, Co ve Ni konsantrasyonları

tespit edilmiştir. Burada tespit edilen bu metal ve ağır metallerin tel direğine bitişik topraklardaki konsantrasyonları ile kontrol toprak örneklerindeki konsantrasyonları arasında önemli bir fark görülmemiştir. Bununla beraber ağır metal konsantrasyonları genellikle Ardanuç < Borçka < Hopa şeklinde tespit edilmiştir. Bu durumun tel direklerinde görülen hasar sıralamasıyla aynı olduğu dikkate alınırsa topraktaki ağır metal birikmesinde iklim ve toprak özelliklerinin yanı sıra tel direklerindeki yıkanmanında etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca her bir çalışma alanında tespit edilen bu 6 metalin (Na, K, Zn, Mn, Co ve Ni) konsantrasyonları kontamine olmamış topraklarda bulunması gereken sınır seviyelerine yakın olarak belirlenmiştir.

4.3. Çalışma Alanı ve Depolarda Bulunan Tel Direklerindeki Görsel İncelemeler

Bu tez çalışması kapsamında çalışma alanlarındaki tel direklerinde yapılan görsel incelemeler sonucunda böcek hasarının yaygın olmadığı gözlenmiştir. Böcek hasarının mevcut olduğu tel direklerinde ise genellikle mantar tahribatına da rastlanmıştır. Çünkü burada böceklerin açtığı yenik yollarından içeriye mantar miselleri rahatlıkla girerek odunu degrade etme fırsatı bulmuştur. Kullanımda bulunan CCA'lı, CCB'li ve kreozotlu tel direklerinde belirlenen hasarlar arasında insanların sebep olduğu tahribatlar ve derin çatlaklarda mevcuttur. Her üç ilçede inceleme yapılan tel direklerinin yaklaşık % 65-70'inde aşırı yarık ve derin çatlaklar tespit edilmiştir. Bu çatlakların oluşmasında hatalı emprenye işlemleri, uygunsuz depolama-kurutma koşulları ve ıslanma-kuruma döngüsü gibi iklimsel koşullar büyük rol oynamaktadır. Kullanım alanındaki tel direklerinde tespit edilen bu kusurlar tel direklerinin beklenenden daha kısa sürede atıl hale gelmesine neden olarak ciddi ekonomik zararlara sebep olmaktadır.

Artvin ÇEDAŞ İl Müdürlüğü ve TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda kullanılmamış tel direkleri üzerinde yapılan incelemelerde, tel direkleri üzerinde elektrik aksamalarının takılması için gerekli deliklerin emprenye öncesi açılması gerekirken, bu deliklerin açılmamış olduğu tespit edilmiştir. Bu deliklerin emprenye sonrası açılması halinde, emprenyesiz kısımlar ortaya çıkmaktadır. Bu açığa çıkan emprenyesiz kısımlarda odun zararlıları (böcek, mantar vb.) tarafından kolayca tahrip edilmektedir. Bununla beraber kullanım alanına getirilen bir tel direği uzunluğu istenenin biraz üzerindeyse (meselâ; 12 m değil de 15m uzunluğunda ise) tel direğini istenilen boyuta getirmek için yapılan kesme sonucunda emprenyesiz enine kesit kısmı açığa çıkmaktadır. Bu yüzden tel

direkleri beklenenden daha kısa bir sürede atıl hale gelmektedir. Ayrıca depolardaki henüz kullanıma sunulmamış CCB'li tel direklerinden alınan artım burgularıyla tespit edilen penetrasyon değerlerinin (0.5- 4.4 cm), yaklaşık 15-17 yıldır kullanımda olan tel direkleriyle hemen hemen aynı seviyede (0.5- 4.9 cm) olması, tel direği bünyesinden borun kolayca yıkandığının ve bu tel direklerinin beklenen kullanım ömrünü gösteremeyeceğinin bir göstergesi olarak ifade edilebilir.

4.4. Çalışma Alanı ve Depolarda Bulunan Tel Direklerindeki Kusurların Hasarsız Test Yöntemleriyle Tespiti

Bu tez çalışması kapsamında kullanım alanında bulunan tel direklerinin dayanıklılığını ve kalan kullanım ömrünü tespit etmek amacıyla Rezistograf, Mikroçekiç ve Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazlarıyla incelemeler yapılmıştır. Yapılan Rezistograf ve Mikroçekiç ölçümleri sonucunda en fazla hasarın Hopa'da olduğu, bunu sırasıyla Borçka ve Ardanuç'un izlediği belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen iklim özellikleri, rakım değerleri, tel direk rutubet değerleri, görsel incelemeler, penetrasyon değerleri, yıkanan emprenye maddesi bileşenlerinin miktarları, toprak nem içeriği ve toprak özelliklerine ait ölçümlerin hepsi genellikle bu sonucu destekler niteliktedir. Fakat Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla yapılan ölçümler en fazla hasarın Ardanuç'ta olduğunu, bunu sırasıyla Hopa ve Borçka'nın izlediğini göstermiştir. Bu sonuçlar Rezistograf ve Mikroçekiç cihazlarıyla elde edilen sonuçları yansıtmamaktadır. Bu durumda tel direklerindeki aşırı çatlakların en fazla Ardanuç'ta görülmesinden, yani Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazının bu aşırı çatlaklarında çürüklük olarak algılamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla beraber Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazıyla yapılan ölçümlerde ultrasonik hız değerleri (cihaza ait programda hesaplanan) esas alınarak elde edilen sonuçlar ile çürük alan miktarı (cihaza ait programda hesaplanan) esas alınarak elde edilen sonuçların birbirleriyle aynı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan hasarsız test yöntemlerinin dezavantajları; tel direklerindeki kusurların hasarsız test yöntemleriyle tespit edilmesi işlemlerinde kullanılan Rezistograf, Mikroçekiç ve Fakopp 3D Akustik Tomografi cihazlarıyla yapılan ölçümlerde belirgin çürüme görülen sağlam-güçlü bir direk çürüme olmayan zayıf bir direkte benzer bir tespit görülebilmesidir. Dahası bu çalışmada kullanılan hasarsız test cihazlarının maliyeti yüksek olmakla birlikte bir adet tel direğinde inceleme yapmak bir hayli zaman almaktadır. Ayrıca Mikroçekiç cihazı ile ölçüm yapabilmek için tel direğine gömülen sensör vidalarının, her

gömülme işlemi sırasında vida ağızlarının aşınması sonucu cihaza ait sensör vidalarının çoğu (ki bu vidalar cihazla birlikte belirli sayıda gönderilmiştir ve temini zordur) kullanılamaz hale gelmiştir.

5. ÖNERİLER

Ülkemizde CCA ile emprenyeli tel direklerinin ortalama kullanım ömrü 35-40 yıl olmasına rağmen, Karadeniz Bölgesinin özellikle sahil kesimlerinde tel direklerinin ömrü sadece 10-15 yıl kadardır. Bu tez çalışması kapsamında Artvin ilinde (Hopa, Borçka ve Ardanuç) tel direklerinin beklenenden daha kısa bir süre içerisinde atıl hale gelmesinde etkili olan iklim, toprak özellikleri ve diğer çevresel faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında bu yöredeki tel direklerinin hizmet ömrünü, ortalama kullanım süresi olan 30-35 yıla çıkarmanın yolları saptanmaya çalışılmıştır. Artvin ilinde yılda 1500- 2000 adet tel direği yenisiyle değiştirilmektedir. Beklenen hizmet ömrünün artırılmasıyla Artvin ilinde yılda 700- 1000 m³ tel direk tasarrufu sağlamak mümkün olabilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında, tel direklerinden yıkanan bakır, krom, arsenik ve borun topraklarda kimyasal kirliliğe neden olup olmadığını ve kontamine olmamış toprakta bulunması gereken asgari sınır seviyesinin ne kadar üzerinde olduğuyula ilgili tespitlerde bulunulmuştur. Ülkemizde CCA ile emprenyeli tel direkleri yaklaşık 30 yıldan fazla bir süreden beri kullanılmaktadır. Buna rağmen tel direklerinin kullanım ömrünü etkileyen faktörlerin belirlenmesine yönelik, iklim ve toprak özellikleriyle olan etkileşimine yönelik yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu yüzden yapılan tez çalışması, yörede gerçekleştirilecek konuyla ilgili kapsamlı bir bilimsel çalışma olmanın yanında bundan sonraki yapılacak benzer çalışmalara temel teşkil edebilecektir.

Çalışma alanlarında sağlam gibi görünen tel direkleri üzerinde yapılan hasarsız test yöntemleri bu tel direklerinin birçoğunun dayanıksız ve çürük olduğunu göstermiştir. Bu yapılan hasarsız testler, tel direklerindeki çürüklüğün ilk aşamasında belirlenmesine olanak sağlayarak gerekli bakım önlemlerinin (bandaj, çelik destek sistemi, fibre glass sistemi vb.) periyodik aralıklarla yapılarak direğin hizmet ömrünün ve direncinin artırılmasını sağlayabilmektedir. Özellikle direnç kalitesi yüksek olan tel direklerinin iletişim hatlarında yer alması ve kullanılması hem çalışan personelin güvenliği (arıza, direğe tırmanma, çıkış etkisi vb.) hem de o civarda oturan yerli halkın can ve mal güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden tel direği bakım ve kontrollerinin periyodik olarak sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Çünkü kontrollü olarak periyodik bakımı yapılmamış direnci düşük olan direkler enerji nakil hatlarında çalışan personelin güvenliğini tehdit

edebilmenin yanı sıra yerleşim yerlerinde oturan yerli halkın can ve mal güvenliğini de tehlikeye atabilecek sorunlar teşkil etmektedir. Bununla beraber uygulanan hasarsız test yöntemlerinin (Rezistograf, Mikroçekiç, Fakopp 3D Akustik Tomografi) geleneksel yöntemlerle (görsel, kazma, ses çıkarmak ve delik açmak vb.) birlikte kullanılması halinde daha faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu cihazların depolarda sağlam gibi görünen fakat düşük lif yoğunluğundan dolayı hizmet alanında kullanılmaya başlandıktan sonra beklenenden daha kısa sürede atıl hale gelen tel direklerinin daha depodayken tespit edilerek kullanıma sunulmasının engellenmesinde (böylece nakliye, işçilik ve zaman kaybının önlenmesi) kullanılabilceği düşünülmektedir.

Artvin ÇEDAŞ İl Müdürlüğü ve TEDAŞ Trabzon Bölge Müdürlüğü Arsin Deposunda kullanılmamış tel direkleri üzerinde yapılan incelemelerde, tel direkleri üzerinde elektrik aksamlarının takılması için gerekli olan delikler emprenye öncesi açılmalıdır. Bununla beraber satın alınan kullanılmamış tel direklerinde bulunması gereken bakır, krom, arsenik ve bor retensiyon miktarlarının kontrolleri bir ICP, XRF veya Atomik Absorpsiyon Spektrometri cihazıyla belirlenmeli ve bu hüküm şartnameye ilâve edilmelidir. Ayrıca depolarda yapılan incelemelerde son zamanlarda Doğu Karadeniz Bölgesinde kullanılan tel direklerinin CCB ile emprenyeli olduğu görülmüştür. Borun yıkanmaya karşı çok hassas olması bu yüzden toprakla temas halinde olan ve çürüklük riski yüksek olan bölgelerde yıkanarak uzaklaşması, özellikle bakıra karşı toleranslı mantarların tahribatına kolayca sebep olmaktadır. Bilindiği gibi CCB ile emprenyeli ağaç malzemelerden bakır, krom ve borun yıkanması, CCA ile emprenyeli olan ağaç malzemelere oranla daha fazladır. Bu nedenle, Doğu Karadeniz Bölgesinde CCB ile emprenyeli tel direklerinin kullanılması uygun değildir. Türkiye'nin çürüklük riski düşük olan bölgelerinde ise CCB ile emprenyeli tel direklerinin kullanılmasında bir sakınca görülmemektedir.

Gelişen teknolojik faaliyetler beraberinde çevre kirliliğinin de ön plana çıkarmaktadır. Bu durumda dünyada giderek artan bir çevre koruma bilinci oluşmasına ve bunun yanında artan çevre kirliliğinin azaltılması için ekonomik boyutu yüksek çeşitli teknolojilerin kullanılmasına sebep teşkil etmektedir. Yapılan çalışmada toprakta tutulan ağır metal oranlarının düşürülmesine, toprağın remidasyonuna (iyileştirilmesine- ıslah edilmesine) veya tel direklerindeki yıkanmanın azaltılmasına yönelik olarak şu uygulamalar yapılabilir;

- Arsenik ve diğer ağır metallerin topraktaki mobilizasyonunu önlemek amacıyla topraktaki organik madde miktarı artırılabilir. Çünkü yüksek organik madde içeren

topraklar negatif yüklü karboksil gruplarının varlığından dolayı daha fazla katyona bağlanma eğilimi gösterebilmektedirler,

- Toprak pH'sının (düşük olması) literatürde belirtildiği gibi özellikle tel direklerindeki bakır yıkanmasını artırıcı rol oynamasından dolayı pH seviyesinin kireçleme vb. bazı uygulamalar ile yükseltilmesi,

- Kontamine olmuş topraklardaki Cu, Cr ve As'i uzaklaştırmak için fitoremidasyon (bitkilerden yararlanarak topraktaki ağır metallerin uzaklaştırılması) işlemi yapılabilir. Bu yönde yapılan çalışmalarda bir tropikal bitki olan Vetiver grass gibi toprak remidasyonu yapabilme yeteneğine sahip olan bir bitki, tel direklerinin etrafında yetiştirilebilir. Ancak, bu şekilde toprak altının küçük bir kısmı ve sadece üst yüzey remidasyon işlemine uğratılabilmektedir,

- Toprak katılaştırma (solidifikasyon)-stabilizasyon işlemiyle toprak içerisindeki kontaminantlar hareketsiz hale getirilebilir. Toprağa demirklorit eklemek gibi bir kimyasal işlemle Cr^{+3} sabit halde tutularak Cr^{+6} iyonunun hareketi azaltılabilir. Bununla beraber Portland çimentosu ile demir sülfat ve kirecin bir kombinasyonu topraktaki arseniğin hareketini (mobilizasyonunu) azaltmak için (kalsiyum arsenik minerallerini oluşturarak) toprağa ilâve edilebilir,

- *Bacillus likeniformis* gibi bakterilerden yararlanarak CCA'nın biyoremidasyonu (canlı organizmalardan yararlanarak topraktaki ağır metallerin uzaklaştırılması) ile CCA suda çözünebilir bir forma dönüştürülerek ortadan kaldırılabilir,

- Tel direği endüstrisinde kullanılan doğal dayanıklılığı yüksek olan kestane veya diğer tropikal ağaç odunları daha az emprenye maddesi uygulanmasını gerektirdiği için tercih edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Archer, K. ve Preston, A., 1994. Depletion of Wood Preservatives After Four Years Marine Exposure in Mt. Maunganui Harbour, Nz (IRG/WP94-50036). The International Research Group on Wood Preservation, Stockholm.
- Arisi, J.A., 2006. Leaching of Copper, Chromium and Arsenic from utility poles treated with Chromated Copper Arsenate (CCA) in Newfoundland and Labrador, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland, PhD Thesis, Canada, 2-11, 15-26s.
- AWPA Standards P5-01, 1998. Standard for waterborne preservatives.
- AWPA Standards A3-00, 2000. Standard methods for determining penetration of preservatives and fire retardants.
- AWPA Standards M13-01, 2001. A Guideline for the physical inspection of poles in service.
- Bayraklı, F. and Er, F., 1995. Boron Concentration of Vineyards and Soils in Hadim Aladağ Part of Konya, M. Şefik Yeşilsoy Symposium on Arid Region Soil, 174-178, İzmir, Türkiye.
- Belluck, D.A., Benjamin, S.L., Baveye, P., Sampson, J. and Johnson, B., 2003. Widespread arsenic contamination of soils in residential areas and public spaces: an emerging regulatory or medical crisis? *Int J Toxicol.* 22,2 , 28-109
- Benoit, Y. ve Sandoz, J.-L., 2005. The importance of the nondestructive technologies for wooden poles network asset management. 14th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood, University of Applied Sciences, Germany, ISBN 3-8322-3949-9.
- Benoit, Y. ve Sandoz, J.-L., 1996. Non-destructive evaluation for new wooden poles quality assessment. Abstracts of the 14th World Conference on Nondestructive Testing (14th WCNDT) 8-13 December , New Delhi.
- Benoit, Y. ve Sandoz, J.-L., 2007. Timber grading machine using ultrasonic and density measurements: TRIOMATIC. COST E 53 Conference - Quality Control for Wood and Wood Products, Warsaw, Poland.
- Berger, W., 1996. Pole Inspection and Maintenance, United States Department of Agriculture Rural Utilities Service Bulletin 1730B- 121, 8-11s.

- Bhattacharya, P., Jacks, G., Mukherjee, A.B. and Nordqvist, S., 2002. Metal contamination at a wood preservation site: characterisation and experimental studies on remediation, *The Science of the Total Environment* 290, 165-180s.
- Birtz, R.E., 1979. Wood Pole Maintenance, *Journal of Arboriculture*: Presented at the annual conference of the International Society of Arboriculture in Toronto, Ontario.
- Boltea, F. ve Omota, G., 2005. The Pollution of the Soil with Hard Metals, F. Boltea, et al. *Scientific Researches. Agroalimentary Processes and Technologies*, Volume XI, 2 (2005) 249-254s.
- Bozkurt, A.Y. ve Göker, Y. ve Erdin, N. 1993. *Emprenye Tekniği*. İ.Ü. yayın no:3878, Orman Fakültesi yayın no:432. İstanbul.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 1986. Orman Ürünlerinden Faydalanma, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi Y. No:3402, Orman Fakültesi Yayın No: 379, İstanbul, 48-54s.
- Bucur, V. 2004. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees. Centre de Recherches Forestières de Nancy, INRA, Laboratoire d' Etudes et Recherches sur le Matériau Bois, LERMAB UMR 1094, 54280 Champenoux, France.
- Bucur, V., 2005. Ultrasonic Techniques for Nondestructive Testing of Standing Trees, *Ultrasonics* 43, 237-239.
- Cao, X. and Ma, L.Q, 2004. Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood, *Environmental Pollution* 132, 435-442s.
- Carey, P.L., McLaren, R. ve Adams, J.A., 1996. Sorption of Cupric, Dichromate, and Arsenate Ions in some New Zealand Soils, *Water, Air and Soil Pollution*, 87, 189-203.
- Charman, P.E.V. and Murphy, B.W., 2000. 'Soils : Their Properties and Management', 2nd Edition, Oxford University Press, Melbourne.
- Cooper, P.A., 1994. Leaching of CCA: Is it a Problem? Environmental Considerations in the Manufacture , Use and Disposal of Pressure Treated Wood, Forest Products Society, Madison, WI.
- Craighead, I.A., Thackery, S., Redstall, M. ve Thomas, M., 2001. Monitoring wood decay in poles by the vibroacoustic method. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 215, 905-917. ISSN 0954-4062.
- Çepel, N., 1986. Toprak İlimi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No:3416, O.F. Yayın No:389, ISBN 975-404-056-7. 174-175s., 183-185s.

- Çepel, N., 1988. Orman Ekolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No:3518, O.F. Yayın No:399, ISBN 976-404-061-3. 130-132., 225-226.
- Dobran, S. and Zagury, G.J., 2006. Arsenic speciation and mobilization in CCA-contaminated soils: Influence of organic matter content, *Science of the Total Environment* 364, 239-250s.
- Dzbeński a W. ve Wiktorski T., 2007. COST E 53 Conference - Quality Control for Wood and Wood Products (Ultrasonic evaluation of mechanical properties of wood in standing trees). Warsaw University of Life Science, Faculty of Wood Technology, ul. Nowoursynowska 159, PL 02-776 Warsaw.
- Ekinci Kulu, N., 2006. KemalPaşa Yöresi Organik ve Entegre Kiraz Yetiştiriciliğinde Salihli Çeşidinin Beslenme ve Ağır Metal Durumlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir, 57-58s.
- Erşahin, S. ve Karaman, M.R., 2000. Toprak Değişkenliğinin Yere Özgü Amenajman ve Toprak Verimliliği Çalışmaları için Değerlendirilmesinde Faktör Analizinin Kullanılması, Tarım Bilimleri Dergisi, 6,2, 76-81.
- Foliente, G.C. ve Wang, C., 2001. A probabilistic decay attack model of timber in ground, International Proce. Of ICOSSAR01 Conference in Newport beach, CA, Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- García-Sánchez, A., Alastuey, A. and Querol, X., 1999. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils, *The Science of the Total Environment*, 242, 179-188s.
- Gargiulo, P.C., 2000. Utility poles, preservatives and soil contamination, The City University of New York, A dissertation submitted to the Graduate Faculty in Earth and Environmental Sciences in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, PhD Thesis, New York, 8-14, 81-89s.
- Gezer. E.D., 2003. Kullanım Süresini Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Yeniden Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 1, 31-35s.
- Gezer, E.D., Yüksek, T. ve Yıldız, Ü.C., 2004a. CCA (Bakır, Krom, Arsenik) Elementlerinin Toprakta Hareketleri, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 3-4 (102-112).
- Gezer, E.D., Yıldız, Ü.C., Temiz, A., Yıldız, S. ve Dizman, E., 2004b. Bakır, Krom ve Arseniğin Atıl Haldeki CCA ile Emprenyeli Ağaç Malzemelerden Uzaklaştırılması (Remidasyon), Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 3-4 (172-181).
- Gezer, E.D., Yıldız, Ü.C., Temiz, A., Yıldız, S. ve Dizman, E., 2004c. CCA Emprenye Maddesinin Yıkama Mekanizması, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1-2 (9-17).

- Gezer, E.D., Yildiz, U.C., Temiz, A., Yildiz, S. ve Dizman, E., 2005. Cu, Cr and As Distribution in soils adjacent to CCA- treated utility poles in Eastern Blacksea Region of Turkey, Building and Environment 40, 1684-1688.
- Gezer, E.D., Yildiz, U.C., Yildiz, S., 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.
- Grant, C. and Dobbs, A.J., 1977. The growth and metal content of plants grown in soil contaminated by a copper/chrome/arsenic wood preservative. *Environ. Pollut.* 14, 213-226.
- Gülçür, F., Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:201, İstanbul, 1972.
- Gürbüz, A.A., 2007. Magnetik Nanopartiküller ile Sulu Çözeltilerden Krom Giderilmesi Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 29-30s.
- Hamm, E.R., 1992. Inspection, Maintenance and Procurement Procedures for Wood Poles, Naval Facilities Engineering Command, (Attention: Code 1632), 200 Stovall Street, Alexandria, VA 22332-2300, 1-13s.
- Hamula, C., Wang, Z., Zhang, H., Kwon, E., Li, X-F., Gabos, S. ve Le, X.C., 2006. Chromium on the Hands of Children After Playing in Playgrounds Built from Chromated Copper Arsenate (CCA)-Treated Wood, *Environmental Health Perspectives*, Volume: 114 Number:3, 460-465s.
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J.L. ve Ulrich, E., 2003. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination, *The Science of the Total Environment* 312, 195-219s.
- Hingston, J.A., Collins, C.D., Murphy, R.J., Lester, J.N., 2001. Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review. Environmental Pollution 111,53-66s.
- Huang, J.-H and Matzner E., 2007. Mobile arsenic species in unpolluted and polluted soils, Science of the Total Environment 377, 308-318s.
- Inglis, P.J., 2001. A life cycle assessment of utility poles. A comparative analysis of Western red cedar treated with copper chromated arsenate (CCA), untreated Western red cedar, and concrete, Royal Road University, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER of ARTS in ENVIRONMENT AND MANAGEMENT, PhD Thesis, Canada, 97-98s.
- Irha, N., Steinnes, E., Kirso, U and Petersell, V., 2009. Mobility of Cd, Pb, Cu and Cr in some Estonian soil types, Estonian Journal of Earth Sciences, 2009, 58, 3, 209-214s.

- Jung, M.C. and Thornton, I., 1997. Environmental Contamination and Seasonal Variation of Metals in Soils, Plants and Waters in the Paddy Fields Around A Pb-Zn Mine in Korea, The Science of the Total Environment 198, 105-121s.
- Kafalı, H. 2004. Uçaklarda Sandviç Kompozitlere Uygulanan Tahribatsız Muayene Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2-57 s.
- Kalbitz, K. ve Wennrich, R., 1998. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter, The Science of the Total Environment, 209, 27-39s.
- Karaöz, Ö., Toprakların Su Ekonomisine İlişkin Bazı Fiziksel Özelliklerinin Laboratuarda Belirlenmesi Yöntemleri, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 39, 2, 133-143.
- Kim, H., Kim, D-J., Koo, J-H., Park, J-G. ve Jang, Y-C., 2007. Distribution and mobility of chromium, copper, and arsenic in soils collected near CCA-treated wood structures in Korea, Science of the Total Environment 374, 273-281s.
- Lee, J.J., Kim, K.C., Bae, M.S., 2003. Patterns of Resistographs for Evaluating Deteriorated Structural Wood Members, Mockhae Konghak 31,6, 45-54.
- Lin, C.J., Kao, Y.C., Wang, S.Y., Wang, Y.N., Tsai, M.J., Lin ve L.D., Chan, M.H., 2008. Application of an ultrasonic tomographic technique for detecting defects in standing trees. International Biodeterioration & Biodegradation 62, 434-441.
- Ma, L.Q., Chirenje, T., Reeves, M. and Clark, C., 2003. Cu, Cr and As distribution in soils adjacent to pressure-treated decks, fences and poles, Environmental Pollution 124, 407-417s.
- Maeglin, R.R., 1979. Increment Cores How to Collect, Handle, and Use Them United States Department. of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory1 General Technical Report FPL 25.
- Massara, H., Mulligan, C.N., Hadjinicolaou, J., 2004. Innovative Treatment for Cr Contaminated Sites, 57th Canadian Geotechnical Conference, Montreal, QC.
- Midford, M.H., Introduction to Soils and Soil Science (Laboratory Excercises), Kendall/Hunt Publishing, Co., Iowa, 1991.
- Morrell, J.J. ve Rhatigan, R.G., 2002. Paper prepared for the 33rd Annual Meeting Cardiff, United Kingdom May 12-17th, 2002, IRG Secretariat SE-100 44 Stockholm, Sweden.
- Morrell, J.J., 1996. Wood Pole Maintenance Manual (1996 Edition), Forest Research Laboratory Oregon State University, 9-10, 21-31s.
- Mulligan, C.N. ve Wang, S., 2006. Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution, Science of the Total Environment 366, 701-721s.

- Nicolotti, G. ve Miglietta, P., 1998. Using High-Technology Instruments to Assess Defects in Trees, Journal of Arboriculture 24,6, November 1998.
- Nicolotti, G., Socco, L.V., Martinis, R., Godio, A., ve Sambuelli, L., 2003. Application And Comparison of Three Tomographic Techniques for Detection of Decay in Trees, Journal of Arboriculture 29,2.
- Odat, S. and Alshammari, A.M., 2011. Spacial Distribution of Soil Pollution along the Main Highways in Hail City, Saudi Arabia, Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 5, No.2, 163-172s.
- Okuyan, M.N., 2007. Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç Dayanımlarının Hasarsız Olarak Bulunması, Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ŞanlıUrfa, 1s.
- Oliver, D., 1997. Steel Pole Pilot Program Sets New Standard At Arizona Public Service, Arizona Public Service, Northwest Division.
- Özcan, H. ve Uygun, R., 2004. Çanakkale-Kumkale Ovasında Toprak Profiline Tuz Hareketinin Yersel ve Zamansal Değişimlerinin İzleme ve Değerlendirmesi, J. Agric. Fac. HR.U. 2004, 8(2):33-41.
- Özyazıcı, M.A. ve Üstün, G.Y., 2009. Samsun İli Tarım Topraklarının Alınabilir Bor Kapsamı (Available Boron Content of Samsun Agricultural Soils), IV. Uluslar arası Bor Sempozyumu, IVth International Boron Symposium, 15-17 Ekim/October, 2009, Eskişehir/Turkey ISBN:978-9944-89-790-7.
- Pagilla, K.R. ve Canter, L.W., 1999. Laboratory studies on Remediation of chromium-contaminated soils, Journal of Environmental Engineering, 125,3, 243-248, March.
- Piper, C.S., 1950. Soil and Plant Analysis, A Laboratory Manual of Methods for the Examination of Soils and the Determination of the Inorganic Constituents of Plants, Reader in Soil Chemistry Waite Agricultural Research Institute University of Adelaide, New York, 185-190s.
- Porębska, G., Ostrowska, A. ve Borzyszkowski, J., 2008. Changes in the soil sorption complex of forest soils in Poland over the past 27 years, Science of the Total Environment 399, 105-112s.
- Radivojevic, S. ve Cooper, P.A., 2002. Investigation of CCA fixation in wood by sequential extraction. I Determination of CCA component fixation and preliminary extraction results. Paper prepared for the 33rd Annual Meeting. IRG/WP 02-50188
- Rahman, A., 2003. Modelling Inground Decay of Wood Poles for Optimal Maintenance Decisions, School of Mechanical, Manufacturing and Medical Engineering, Queensland University of Technology, Australia, 56-69s.

- Robinson, B., Green, S., Sivakumaran, S., Clothier, B., Greven, M. ve Davidson, P., 2006. Leaching of copper, chromium and arsenic from treated vineyard posts in Marlborough, New Zealand, Science of the Total Environment 364, 113-123s.
- Sales, A., Candian, M., Cardin, V.S., 2011. Evaluation of the mechanical properties of Brazilian lumber (*Goupia glabra*) by nondestructive techniques, *Construction and Building Materials* 25, 1450-1454.
- Saraswathy, G., Shanmugapriya, A. ve Sudha, P.N., 2010. Speciation and Determination of Heavy Metals in Polluted Soils of Ranipet Industrial Area, INDIA, The Ecoscan (An International Quarterly Journal of Environmental Sciences) 4(2&3), 221-223s.
- Schwarze, F.W.M.R., 2007. Wood decay under the microscope, *Fungal Biology Reviews* 2 I: I 33-I 70, 144, 151-155s.
- Seavey, R., Larson, T., 2002. Inspection of Timber Bridges Final Report, Department of Wood and Paper Science University of Minnesota, USA, 1-21s.
- Sevim, M., 1986. Belgrad Ormanının Bazı Meşcerelerinde Üst Toprağın Şimik Özellikleri Üzerine Araştırmalar, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 6, 1, 114-120.
- Shigo, A.L. ve Shigo, A., 1974. Detection of Discoloration And Decay in Living Trees And Utility Poles, USDA Forest Service Research Paper NE-294.
- TEDAŞ 2009 yılına ait veriler.
- Tomazello, M., Brazolin, S., Chagas, M.P., Oliveira, J.T.S., Ballarin, A.W., Benjamim, C.A., 2008. Application of X Ray technique in Nondestructive Evaluation of Eucalypt Wood, Maderas. *Ciencia y tecnología* 10 (2), 139-149. ISSN: 0717-3644.
- Tsang, K.M., Chan, W.L., 2008. Overhead line pole condition sensing by acoustic method, *Sensors and Actuators A* 143, 251-255.
- TÜBİTAK, Bilimsel Gelişme Raporu Proje No: 108O414.
- Tüfekçioğlu, T., Arhavi ve Fındıklı Yörelerinde CCA (Bakır, Krom, Arsenik) Uygulanmış Tel Direklerin Toprak ve Bitkide Oluşturdukları Kirlenme Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars, 2005.
- Türk, M., 2009. Köy Elektrifikasyon Sistemleri Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 12-17s.
- Türüdü, Ö.A., 2004. Toprak Bilgisi (IV. Baskı), Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Trabzon, ISBN: 975-288-863-1, 114-123s.
- URL-1, http://www.bcm.org.tr/pdf/toprak_kir_yon.doc. 9 Şubat 2012.

- URL-2, Benoit ,Y., Sandoz ,J.-L., Lundström, T. Ve Vanackere, O. 2011. New Technology gives overhead wooden poles a better future , http://www.cbs-cbt.com/New_site/FR/Downloads/Polux/PoluxTechnology.pdf. 9 Şubat 2012.
- URL-3, Torunoğlu, M.A., 2007. EPİD Dairesi Başkanlığı Talep Tahminleri Müdürü <http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/TAIEX/tedasTAIEX.pdf>. 9 Şubat 2012.
- URL-4, User's Guide IML-RESI F-Series Bluetooth, http://www.imlusa.com/IML-RESI_F-Series_Bluetooth_eng_web_A4.pdf. 10 Şubat 2012.
- URL-5, PICUS. Tree Inspection Equipment, www.argus-electronic.de www.picus-info.com. 10 Şubat 2012.
- URL-6, http://www.imlusa.com/html/iml_micro_hammer.html. 10 Şubat 2012.
- URL-7, <http://www.fakopp.com/site/downloads/Fakopp%203D%20Users%20Manual.pdf>
- URL-8, Bucur, V., Ultrasonic And X-Ray Techniques For Nondestructive Evaluation Of Wood :<http://intellagence.eu.com/acoustics2008/acoustics2008/cd1/data/fa2002-sevilla/forumacusticum/archivos/ult03002.pdf>. 10 Şubat 2012.
- URL-9, <http://www.tessengerlo-agrochem.com/TeknikBultenler/TeknikBulten-03-97.doc>. 11 Şubat 2012.
- URL-10, http://www.serer.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=403&Itemid=341. 11 Şubat 2012.
- URL-11, http://intranet.turktelekom.com.tr/telekomunikas_d/ERİŞİM %20 ŞEBEKELERİ %20 MALZEME%20STANDARTLARI%20 VE %20TEMİN %20 ESASLARI/E %20-%20 KABLO%20DONANIM%20VE%20. 11 Şubat 2012.
- URL-12, <http://www.google.com.tr/#hl=tr&output=search&client=psy-ab&q=a%C4%9Fa%C3%A7+tel+direk+teknik+%C5%9Fartnamesi&oq=a%C4%9Fa%C3%A7+tel+direk+teknik+%C>. 11 Şubat 2012.
- Uygan, D. ve Çetin, Ö., 2004. Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası (Agricultural and Environmental Effects of Boron: Seydisuyu Water Deposit), II. Uluslararası Bor Sempozyumu, IInd International Boron Symposium, Eskişehir/Türkiye.
- Wang, C.J.K and Zabel, R.A. , 1990, Identification manual for fungi from utility poles in the Eastern United States, 2-9.
- Yıldız, Ü.C., 2000. Odun Zararlıları Ders notları. KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Müh. KTÜ. Basımevi, Trabzon.
- Yıldız, Ü.C., 2005. Odun Koruma Ders notları. KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Müh. KTÜ. Basımevi, Trabzon.

- Yüksek, T., 1996. Trabzon Limni Deresi Yağış Havzasında Adi Korunga (*Onobrychis viciifolia* Scop.)'nın Yetiştirilmesi ve Verim Potansiyeli Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zagury, G.J., Deschênes, L. ve Balasoiu, C.F., 2001. Partitioning and speciation of chromium, copper, and arsenic in CCA-contaminated soils: influence of soil composition, The Science of the Total Environment 280, 239-255s.
- Zahner, V., Sikora, L. ve Pasinelli, G., 2012. Heart rot as a key factor for cavity tree selection in the black woodpecker, Forest Ecology and Management 271, 98-103s.

ÖZGEÇMİŞ

15.02.1980 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. Lise öğrenimini 1997 yılında Elazığ Atatürk lisesinde bitirdi. 2000-2002 yılları arasında Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümünü bitirdi. 2004 yılında Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü'ne kayıt yaptırdı ve 2008 yılında bu bölümden mezun oldu. 2009 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Araştırma Görevlisi olarak atandığı Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde halen görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.