

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN YOL GÜZERGAHLARINDAKİ ZEMİN YAPISININ
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ORTAYA KONULMASI ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. Müh. Ersin DURSUN

ARALIK 2008

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN YOL GÜZERGAHLARINDAKİ ZEMİN YAPISININ
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ORTAYA KONULMASI ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA**

Orm. Müh. Ersin DURSUN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Orman Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.12.2008
Tezin Savunma Tarihi : 31.12.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Hulusi ACAR
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Nart COŞKUN
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Selçuk GÜMÜŞ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

“Orman Yol Güzergahlarındaki Zemin Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Ortaya Konulması Üzerine Bir Araştırma” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans çalışmam sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile çalışmamı yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. H. Hulusi ACAR’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tez çalışmalarına katkı sağlayan ve değerli zamanlarımı aldığım Yrd. Doç. Dr. Nart COŞKUN’a, Yrd. Doç. Dr. Selçuk GÜMÜŞ’e, ve Arş. Gör. Dr. Sadık ÇAĞLAR’a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında gerek arazi ve gerekse büro çalışmalarında bana her zaman yardımcı olan Jeofizik Mühendisi Sayın Eşref USTA ile değerli arkadaşlarım Hüsnü YEL, Recep GÜNEY, Ahmet ARPACIK, Onur BEYAZOĞLU, Ramazan ALTINTAŞ, İsmet KORUCU ve Fatih KILIÇ’a teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince benden hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ersin DURSUN
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	5
1.3. Orman Yolları.....	8
1.3.1. Ülkemizde Orman Yol Yapım Çalışmaları.....	8
1.3.2. Orman Yollarının Görevleri.....	9
1.3.3. Orman Yolları Tipi ve Standartları.....	9
1.3.4. Orman Yolu Enkesit Durumu.....	12
1.3.5. Orman Yollarında Şevler.....	13
1.3.6. Orman Yolları Sanat Yapıları.....	15
1.3.7. Orman Yol Geçkisi.....	15
1.3.8. Orman Yolları Açısından Zeminin Morfolojik Olarak İncelenmesi.....	17
1.4. Zemin Etüdü.....	18
1.5. Jeofizik Yöntemler.....	18
1.5.1. Jeofizik Yöntemlerin Uygulama Alanları.....	19
1.5.2. Elektrik Özdirenç Yöntemi.....	21
1.5.2.1. Elektrik Özdirençin Ölçülmesi.....	22
1.5.2.2. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi.....	23
1.5.2.3. Elektrot Dizilim Türleri.....	24
1.5.3. Sismik Yöntemler.....	25
1.5.3.1. Sismik Yansıma Yöntemi.....	26

1.5.3.2.	Sismik Kırılma Yöntemi.....	26
1.5.4.	Yer Radarı.....	27
1.5.4.1.	Yer Radarı Ölçüm Teknikleri.....	29
1.5.4.2.	Yer Radarı Kullanım Alanları.....	30
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	31
2.1.	Araştırmanın Coğrafi, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması.....	31
2.2.	Materyal.....	32
2.2.1.	Araştırmanın Yapıldığı Alan.....	33
2.2.2.	Jeolojik Yapı ve Tektonik Durum.....	34
2.2.3.	81 Kod Nolu Orman Yolunun Durumu.....	35
2.2.4.	Kullanılan Aletler, Programlar ve Diğer Malzemeler.....	36
2.3.	Yöntem.....	38
2.3.1.	Araştırmanın Planlanması.....	38
2.3.2.	Çalışma Alanında Kullanılan Elektrik Özdirenç Yöntemi.....	40
2.3.2.1.	Yol Güzergahı Boyunca Yapılan Ölçümler.....	41
2.3.2.2.	Yol Güzergahının Üzerindeki Yamaçta Yapılan Ölçümler.....	42
2.3.3.	Sismik Kırılma Yöntemi ile Elde Edilen Dinamik ve Statik Parametreler.....	43
2.3.3.1.	Sismik P dalgası (Boyuna Dalga Hızı).....	45
2.3.3.2.	Sismik S Dalgası (Kayma veya Kesme Dalgası).....	46
2.3.3.3.	Elastisite Modülü.....	47
2.3.3.4.	Kayma (Shear) Modülü.....	48
2.3.3.5.	Bulk (Sıkışmazlık) Modülü.....	49
2.3.3.6.	Poisson Oranı.....	49
2.3.3.7.	Yoğunluk.....	50
2.3.3.8.	Zemin Hakim Titreşim Periyodu.....	50
2.3.3.9.	Zemin Taşıma Gücü.....	50
2.3.4.	Çalışma Alanında Kullanılan Yer Radarı Yöntemi.....	51
2.3.4.1.	Yer Radarı Verilerine Uygulanan Temel Veri-İşlem Aşamaları.....	52
2.3.4.2.	Yer Radarı Aletinin Kurulması.....	52
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
3.1.	Elektrik Özdirenç Yöntemine Ait Bulgular ve Tartışma.....	53
3.1.1.	Yol Platformu Boyunca Yapılan Ölçümlerde Elde Edilen Bulgular.....	53
3.1.2.	Yol Güzergahının 10 m Üzerinden Yapılan Ölçümlerde Elde Edilen	

	Bulgular.....	58
3.2.	Sismik Yönteme Ait Bulgular ve Tartışma.....	60
3.3.	Yer Radarı Yöntemine Ait Bulgular ve Tartışma.....	62
3.4.	Kullanılan Jeofizik Yöntem Sonuçlarının Birbirleri ile Karşılaştırılması.....	64
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
5.	KAYNAKLAR.....	69
	ÖZGEÇMİŞ.....	72

ÖZET

Bu çalışmada, alternatif orman yol güzergahlarındaki zemin yapısı jeofizik yöntemlerle araştırılmıştır. Buna göre zemin açısından en uygun ve yapım maliyeti en düşük olan yol güzergahının belirlenmesi ile gelecekte yapılacak orman yol inşaatlarının planlama, ihale ve yapım aşamalarının teknik, ekonomik, ekolojik ve zamansal açılardan doğru sonuçlandırılması amaçlanmıştır. Sonuçta orman yolu varlığına bağlı tüm ormancılık faaliyetleri de zamanında gerçekleştirilecektir.

Çalışma alanı olarak, Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan 81 kod nolu, Işıklar Mezra-Kalecik Mezra adlı ve toplam uzunluğu 5200 m olan orman yolu seçilmiştir. Orman yolunun ilk 400 m'lik kısmında elektrik özdirenç yöntemi ile zemin etüdü yapılmıştır. Ayrıca orman yol güzergahının 10 m üzerinden yola paralel şekilde 100 m boyunca elektrik özdirenç yöntemi, sismik yöntem ve yer radarı yöntemleri ile de ölçümler alınmıştır. Ölçümler sonucunda zemine ait parametreler belirlenmiştir.

Arazide yapılan incelemelerde özdirenç değerlerinin yüksek çıktığı noktalarda kaya, sert kaya ve çok sert kayaların bulunduğu, özdirenç değerlerinin düşük çıktığı noktalarda ise ayrılmış kayaların ve yamaç molozlarının bulunduğu gözlenmiştir. Araştırma alanında yapılan sismik kırılma yöntemi ile yaklaşık 16 metre derinlik incelenmiş ve tabakalı bir yapı tespit edilmiştir. Arazinin 1. tabaka kalınlığı 3-8 metre arasında ve çok ayrılmış kaya kütlelerinden oluştuğu, 2. tabaka kalınlığı ise ortalama 1 metre ve ayrılmış kayaktan oluştuğu, 3. tabaka ise sağlam kayaktan oluştuğu belirlenmiştir. Yer radarı ile çalışma alanında yapılan ölçümlerde alana ait iki boyutlu yer altı kesiti elde edilmiştir. Yer radarı yöntemi ile belirgin bir tabaka sınırlaması yapılamamıştır.

Sonuç olarak, uygulanan jeofizik yöntemler karşılaştırıldığında sismik yöntemin dağlık ve ormanlık alanlarda uygulanabilirlik ve sonuçların doğruluğu açısından en başarılı yöntem olduğu belirlenmiştir. Buna göre sismik yöntem ile orman yol güzergahlarında zemin yapısının belirlenmesi üzerine detaylı çalışmalar yapılması gerekir.

Anahtar Kelimeler: Orman Yol Güzergahı, Zemin Etüdü, Elektrik Özdirenç Yöntemi, Sismik Yöntem, Yer Radarı Yöntemi, Dağlık Arazi

SUMMARY

A Preliminary Investigation of Ground Structure of Forest Road Routes with Geophysical Methods

In this study, ground structure in alternative forest road routes has been investigated by means of geophysical methods. With this study it has been aimed that with defining way route which is the most appropriate for the ground and the lowest in the cost, we will get the accurate results for the planning, bidding, building process in terms of technical, economical, ecological and timing of forest road buildings which will be done in the future.

As a study field, the forest way of Işıklar Mezra-Kalecik Mezra, coded 81 in the border of Düzköy Forest Operating Office and whose length is 5200 meters was selected. On the first 400 meters part of the forest road the ground was analyzed with electricity impedance method. Also, from 10 meters up of forest road route measurements were done with electricity impedance method, seismic method and Ground Penetrating Radar method along 100 meters. As a result of the measurements, parameters of the ground were gathered.

In the surveys carried out on the field, it has been monitored that there are rocks, hard rocks, very hard rocks on the points where impedance value is high and there are dissolved rocks and hillside rubble where impedance value is low. With the seismic break method applied in the survey field approximately 16 meters of depth has been surveyed and a laminated structure has been detected. It has been detected that the first laminat thickness of the field is between 3-8 meters and has been formed of dissolved rocks, the second laminat thickness of the field is approximately 1 meter and is formed of dissolved rocks, the third laminat is formed of hard rocks. On the measures carried out with the Ground Penetrating Radar method a specific laminat order could not be made.

As a result, when compared geophysical methods it has been assessed that the most successful method is seismic method in terms of applying to forest fields and having right results. With this method a detailed study must be carried out on survey of the morphological structure of forest way route.

Key Words: Forest Road Route, Ground Analysis, Electricity Impedance Method, Seismic Method, Ground Penetrating Radar method, Mountainous Field.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Bir orman ünitesinin işletmeye açılmasında söz konusu olan yol tipleri ve bu yolların sistem içindeki durumları.....	12
Şekil 2. Orman yolu en kesit görünüşü.....	13
Şekil 3. Orman yollarında şevler.....	14
Şekil 4. Şev üçgeninde h ve b değerlerinin yeri.....	15
Şekil 5. Elektrik özdirenç yöntemi.....	22
Şekil 6. Akım ve gerilim elektrotları ile arazide oluşturulan ölçü sistemi.....	23
Şekil 7. Schlumberger dizilimi.....	24
Şekil 8. Wenner dizilimi.....	25
Şekil 9. Dipol-dipol dizilimi.....	25
Şekil 10. Pol-dipol dizilimi.....	25
Şekil 11. Sismik kırılma yöntemi oluşum şekli.....	27
Şekil 12. Bir profil boyunca elde edilen radagram.....	28
Şekil 13. Yer radarı ölçüm teknikleri(Sabit açıklık tekniği)	29
Şekil 14. Yer radarı ölçüm teknikleri(Çoklu katlama tekniği)	29
Şekil 15. Çalışma alanına ait genel görünüş.....	32
Şekil 16. Orman yol ağı planı yenileme haritasında 81 kod nolu orman yolu.....	35
Şekil 17. Arazide kullanılan Abem Terrameter Sas 1000 elektrik özdirenç aleti.....	36
Şekil 18. Arazide kullanılan Geometrics Smart Seis sismik aleti.....	37
Şekil 19. Arazide kullanılan Mala Geoscience Ramac GPR yer radarı aleti.....	37
Şekil 20. Çalışmanın akış şeması.....	39
Şekil 21. Çeşitli jeolojik birimlerin özdirenç/iletkenlik aralıkları.....	41
Şekil 22. Yol güzergahı boyunca yapılan elektrik özdirenç ölçümü.....	42
Şekil 23. Yol güzergahınının 10 m üzerinden yapılan elektrik özdirenç ölçümü.....	43
Şekil 24. Çalışma alanında sismik alet ile yapılan zemin etüdü çalışması.....	44
Şekil 25. Çeşitli jeolojik birimlerin sökülebilirlik değerleri.....	46
Şekil 26. Yol güzergahı boyunca 10 m yukarıdan yapılan yer radarı ölçümü.....	51
Şekil 27. Yer radarı verilerine uygulanan veri-işlem aşamaları.....	52

Şekil 29. Yol güzergahının 1. kısmından elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi.....	54
Şekil 30. Yol güzergahının 2. kısmından elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi.....	55
Şekil 31. Yol güzergahının 3. kısmından elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi.....	56
Şekil 32. Yol güzergahının 4. kısmından elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi.....	57
Şekil 33. Orman yol güzergahının 10 m üzerinden yol güzergahına paralel şekilde 100 m boyunca yapılan ölçümlerde elde edilen görünür özdirenç değerleri....	59
Şekil 34. Yol güzergahının 1. kısmından elde edilen özdirenç değerleri.....	59
Şekil 35. Çalışma alanına yakın bir yerde alınan birleşik sondaj-profil.....	60
Şekil 36. Yer radarı yöntemi ile elde edilen çalışma alanına ait iki boyutlu yeraltı kesiti.....	63

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Orman yolları geometrik standartları.....	10
Tablo 2. P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri.....	45
Tablo 3. S (kayma veya kesme) dalga hızlarına göre kaya ve zeminlerin sınıflandırılması.....	47
Tablo 4. Elastisite modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı.....	48
Tablo 5. Kayma modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı.....	48
Tablo 6. Bulk modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı.....	49
Tablo 7. Poisson sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması.....	49
Tablo 8. Zemin birimlerinin yoğunluk sınıflaması.....	50
Tablo 9. Sismik yöntem ile araştırma alanından elde edilen dinamik ve statik Parametreler.....	60

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Poisson oranı
CMP	: Common Mid Point
E	: Elastisite modülü
GÖ	: Görünür Özdirenç
GPR	: Ground Penetrating Radar
I	: Akım
K	: Elektrotların konumuna bağlı geometrik faktör
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
p	: Yoğunluk
R	: Direnç
V	: Potansiyel
μ	: Kayma modülü
T_0	: Zemin hakim titreşim periyodu
ΔV	: Potansiyel fark
V_p	: Boyuna dalga hızı
V_s	: Kayma veya kesme dalgası hızı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemizde ormancılık çalışmaları yaklaşık 20,7 milyon hektar civarındaki orman alanında yürütülmektedir. Bu kadar geniş ve dağınık, hatta çoğunlukla dağlık arazi üzerindeki orman alanlarını işletmek bu alanların iyi bir yol ağına sahip olması ile mümkündür.

Orman yolları, ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için yararlanılan en önemli alt yapı tesislerindedir. Bundan dolayı ekonomik, sosyal hatta kültürel faydalar oluştururlar (Erdaş vd., 1995). Orman alanlarını işletmeye açacak olan orman yol ağının planlanması, inşası ve bakımı; teknik ve ekonomik özellikleri ile birlikte ekolojik problemleri içermesi yönüyle de oldukça önem arz etmektedir. Çok yönlü işlevleri bulunan orman yollarının yapımı titiz mühendislik çalışmalarını ve bazı uygulama prensiplerini gerektirir. Buna göre; orman yolu geçkilerinde pozitif kardinal noktalar birbirine bağlanır. Yol geçkisi, jeolojik oluşum bakımından kararlı ve daha az üst yapıya imkân verecek, taşıma gücü yüksek ve sağlam zeminli güzergahlardan geçirilmesi gerekmektedir.

Orman yollarının yapım ve bakım çalışmaları sırasında doğal çevrede farklı şekillerde birçok zararlar ortaya çıkmaktadır. Bunlardan en önemlileri orman alanı kaybı, ağaçların yaralanması ve sonrasında böcek afetleri, erozyon ve heyelanlara zemin hazırlaması olarak belirlenmiştir (Acar, 1999).

Ülkemizde orman yolu yapım çalışmalarına ilk olarak 1937 yılında başlamıştır (Doğan, 1977). Fakat bu dönemde başlayan orman yolu yapım çalışmaları elle inşaat şeklinde gerçekleşmiştir. 1957 yılından sonra elle inşaatın yerini makineli yol inşaatı almıştır (Bayoğlu ve ark. 1995). Ülkemizde orman yolları planlaması ve inşaat işlerinin yürütülmesi 292 sayılı tebliğde belirtilen esaslara göre gerçekleştirilmektedir. Bu tebliğde ihale edilen yolların kazı işleri, kişisel tecrübeye dayalı arazi keşfi neticesinde zemin etüdü şeklinde yapılmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde orman yolları planlama ve yapım işleri tamamlanmış durumdadır. Yol inşaatları nedeniyle meydana gelen zararlar asgari düzeye indirilmiştir (OÖİKR, 2001). Ülkemiz ormanlarının ihtiyaç duyduğu orman yolu miktarı 201 810 km olarak belirlenmiştir (Anonim, 1988). Günümüzde ihtiyaç duyulan orman yolu miktarının

yaklaşık olarak 157000 km' si tamamlanmış olup, önümüzdeki yıllarda yaklaşık 50000 km daha yeni orman yolu yapılacaktır.

Son yıllarda, her yıl ortalama olarak 1000 km yeni orman yolu inşaatı ile standardı düşük 1000 km orman yolunun büyük onarımının yapılacağı belirtilmektedir (OÖİKR, 2001). Ülkemizde hedeflenen orman yolu miktarına ulaşıldığında, hektardaki serveti 250 m³'den fazla olan verimli nitelikteki ormanlarda yol yoğunluğu 20 m/ha olacaktır. Oysa ülkemiz ormanları ile benzerlik gösteren Avusturya'da yol yoğunluğu 30–35 m/ha'dır.

Ülkemizde maliyetler açısından bakıldığında, 27 adet Orman Bölge Müdürlüğü ortalaması için; 1 km yeni orman yolu yapımının maliyeti yaklaşık 30000 YTL' ye mal olmaktadır. Bölgeler bazında ele alındığında ise orman yolu yapımın en pahalı olduğu bölge, dağlık Doğu Karadeniz Bölgesidir. Bu nedenle başta dağlık Doğu Karadeniz Bölgesi olmak üzere, ülkemiz genelinde orman yolu yapımının hem ekonomik hem de çevresel açıdan en uygun şekilde yapılması kaçınılmaz bir zorunluluktur (Acar vd., 2005).

Orman yol ağı planlamada etkili faktörlerden çevre faktörleri; jeolojik yapı, iklim, akarsu, göl ve diğer su kaynakları, morfolojik yapı, arazi eğimi, topografya ve zeminin taşıma kapasitesidir. Bunlardan jeolojik yapı açısından; orman alanının ana kaya ve toprak yapısı, heyelan durumu gibi özellikleri arazide yapılacak etütlerle iyi bir şekilde tespit edilmelidir. Yol geçkisi tespitinde, üst yapı malzemesi ve sanat yapılarında kullanılacak malzeme alımına uygun alanlar tespit edilmelidir (Erdaş, 1997). Böylece hem yolun yapım maliyeti, hem de ileri yıllardaki tamir-bakım giderleri azaltılabilir.

Genel olarak orman alanları topoğrafik yapı bakımından yüksek eğimli, sarp ve engebeli olan aynı zamanda jeolojik yapısı bakımından da kayalık alanların yoğun olarak bulunduğu alanlar üzerinde yayılım göstermektedir. Orman yolları gerek üzerinde hareket eden araçlar gerekse olumsuz doğa şartları nedeniyle sürekli bir yıpranma halindedir. Yolların görevlerini tam olarak yerine getirebilmesi için, inşa edileceği güzergahın zemin özelliklerinin yol yapımından önce iyi bilinmesi gerekmektedir.

Ülkemizde orman yolu yapımında geleneksel olarak maliyetleri azaltmayı gözeterek ekonomik amaçların öncelikli olmasından dolayı buldozerler, angledozerler ve son yıllarda çevresel hassasiyetin artmasıyla birlikte hidrolik ekskavatörler kullanılmaktadır (Acar, 2003). Hem dozer hem de ekskavatör tarafından kazılan toprak ve küskülük ile yumuşak kayalık zeminlerde yol yapım maliyeti sert kayalık zeminlere göre daha az olmaktadır (Çağlar vd., 2006). Çünkü sert kayalık zeminlerde kayaların delinerek patlatılması ek maliyetleri ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle seçenekler arasında zemini en uygun olan

güzergahın tercih edilmesi gerekir. Ancak, günümüzde orman yolu yapımındaki zemin etüdü, kazı işleri, iş gücünün ölçütleri gibi unsurlar kişisel tecrübeye dayalı arazi keşfiyle yapılmaktadır. Özellikle sert kayalık zeminlerde, yol yapımı sırasında ortaya çıkan kayaların patlatılması ile müşkülât zammı gündeme gelmekte ve bu durum yapım maliyetlerini artırmaktadır (Acar vd, 2005). Bu şekilde arazi keşfiyle yapılan zemin etüdünde istenilen sonuçlar elde edilememektedir. Oysa zemin etütlerinin yol inşaatına başlamadan önce yapılması ile zemin sınıflarının belirlenmesi sonucu ileride oluşacak yol inşaat maliyeti ile keşif bedeli değerleri daha gerçekçi olarak belirlenebilir. Yine bu koşullara göre çevreyi koruyucu önlemler alınacak ya da alınması istenebilecektir.

Orman yollarında güzergâh seçiminde, yeraltı suyu veya yüzeysel su etkisinde kalan yollarda bozulma daha hızlı olacağı için drenaj imkânı en iyi olan yerler ile yapım ve bakım yönünden maliyeti en düşük olan güzergahlar tercih edilir. Heyelan tehlikesi olan yamaçlardan ve taşıma yeteneği düşük olan taban suyu seviyesi yüksek bataklık gibi araziden orman yolu geçirilmemeye çalışılır.

Orman yollarının görevlerini tam anlamıyla üstlenebilmesi için inşa edileceği arazinin zemin özelliklerinin iyi kavranması ve yol yapımından önce dikkate alınması gerekmektedir (Bayoğlu, 1997; Erdaş,1997). Bu nedenle planlama ve projelendirme aşamasından sonra yolun araziye uygulamasında zemin etüt edilmelidir.

Yol zeminleri gerek taşıma kapasiteleri ve gerekse inşaat maliyetleri açısından önem taşır. Yol zemininin dayanımı ve diğer teknik özellikleri yolun trafik yüküyle ilişkilidir. Yol güzergahının rastladığı arazideki zeminin özelliği, inşaat maliyetleri açısından kolay ya da zor işlenebilirliği ile ilişkilidir. Kazılması, patlatılması veya stabilitesi zor zeminler inşaat maliyetlerini arttırıcı özelliktedir. Öte yandan, yol inşaatı ve sonrasında çevresel zararları oluşturabilme özellikleri de zeminin tipiyle ilişkilendirilebilir (Acar vd., 2003).

Yol zemin etütleri iki yönüyle önem taşımaktadır. İlki, yol inşaat maliyetlerini ilgilendiren ekonomik boyutudur. Yolların planlama ve projelendirilme sürecinde, maliyetleri ortaya çıkaran faktörler sıralandığında; kazı ve dolgu işlerine ait giderler baskındır. Bu giderler, genellikle yol güzergahının zemin özelliklerine bağlı olarak artabilir ya da azalabilir. İkincisi ise, çevresel zararları ilgilendiren ekolojik boyutudur. Yol inşaatları sırasında kalıcı zararlar oluşturacak kaya patlatmaları, akıcı toprak alanlarının kazılması, dolgu şevlerinin akışa geçmesi gibi problemleri içerir (Acar vd., 2003).

Dağlık ve yamaç eğimi yüksek olan arazide orman yolunun yapımı müteahhitler tarafından (eksiltme usulü) ihale ile ve asgari düzeyde ki inşaat maliyetleriyle

üstlenilmektedir. İhale bedeli, kişisel tecrübeye dayalı olarak arazi keşfiyle zeminin sınıflandırılmasına göre belirlenmektedir. Ancak, yol inşaatının ilerleyişi sırasında kazılması mümkün olmayan çok sert kayalarla karşılaşılması ve dinamitle patlatılması, keşif sırasında belirlenemeyip kazıya bağlı olarak ortaya çıkan heyelanlı alanlarla ve bunların stabilitesi ile uğraşılması başlangıçtaki proje maliyetlerini arttırmaktadır (Acar vd., 2003).

Yol güzergahlarının, planlar ve projeler dahilinde araziye aplikasyonunda, negatif kardinal noktalar yaklaşımıyla; zemin altındaki sert ve çok sert kayalık alanlarla, heyelanlı ya da su kaynaklarının olabileceği hareketli, gevşek tabakalı zeminleri tespit etmek mümkün olabilmektedir. Zemin etütlerine ilişkin hassas bilgileri alabilmenin farklı yolları bulunmasına rağmen jeolojik yöntemleri destekleyecek jeofizik yöntemlerin duyarlı ve doğru sonuçlar verdiği bilinmektedir. Jeolojik ve jeofizik yöntemlerle zemin etüdü açısından arazi özellikleri önceden tespit edilebilmektedir (Acar vd., 2003).

Jeofizik yöntemler uygulanarak elde edilen zemin etüdü sonuçları, yol güzergahlarının belirlenmesinde kullanılan diğer bilgilerle birlikte bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir. Klasik planlama yaklaşımıyla planlanmış yolun projelendirilmesi ve araziye aplikasyonu sırasında, jeolojik ve jeofizik yöntemlerle zemin etütleri yapılabilmektedir. Jeofizik yöntemlerle zemin etüdü, yeni yapılacak yolların tümünde uygulanabileceği gibi, daha önceden problemlili olan alanlarda yapılacak büyük onarımlarda da kullanılabilir (Acar vd., 2003). Bu bakımdan diğer teknolojik gelişmelere paralel olarak, hassas bir şekilde zemin ölçüm ve inceleme olanağı veren jeofizik yöntemlerin orman yollarında da kullanılması gerekmektedir.

Günümüzde zemin etüdünde etkili bir şekilde kullanılan ve orman yolları yapımında da kullanılacak jeofizik yöntemler temel olarak üç şekildedir. Bunlar;

- Elektrik öz direnç yöntemleri,
- Sismik yöntemler ve
- Yer radarı (GPR) yöntemidir.

Mühendislik uygulamalarında; kazı hafriyat planlama ile karayolu güzergah seçiminde iyi çözümler veren, bununla birlikte yapı zemin-temel etüdü, kayaç-toprak mühendislik özellikleri, yerleşim alanı seçimi, toprak kayması (heyelan) etüdü için çok iyi çözümler veren *Elektrik Öz direnç Yöntemi* orman yolları geçkilerinin belirlenmesinde de iyi sonuçlar verecek şekilde kullanılabilir.

Sismik yöntem, ortamın ses dalgaları hızlarına duyarlıdır. Farklı materyaller içinde farklı hızda seyahat eden ses dalgaları, ortamda ilerleyen dalgaların varış zamanlarına göre dalga alanları her bir alıcıda kaydedilir. Yani alıcıya gelen dalgaların genlikleri zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Zaman uzaklık ilişkisinden katman hızları ve kalınlıkları hesaplanabilir. Bu ise yol yapımından önce hangi ekipman ve makinelerin kullanılabileceği hakkında önceden bir tespit yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca yol yapım maliyetleri daha gerçekçi olarak şekillenecektir.

Yer radarı; sığ jeofizik aramalar ve mühendislik jeofiziği alanlarında yeraltı görüntüsünü iyi verebilen bir ölçüm cihazıdır. Zemin etütlerinde çoğunlukla yol, hava alanı, baraj, su kanalı, yerleşim alanı gibi zeminlerin incelenmesinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda orman yolları yapımına ilişkin olarak yer radarı kullanımı yeraltının grafik görüntüsünün tespiti ile mümkündür.

Bu çalışmanın konusu; orman yol güzergahlarındaki zemin yapısının jeofizik yöntemlerle ortaya konularak teknik açıdan en uygun yol güzergahlarının belirlenmesidir. Böylelikle ortaya çıkan sonuçlar, gelecek yıllarda yapılacak olan yaklaşık 50000 km orman yolu için bir rehber niteliği taşıyacaktır. Ayrıca orman yolu projelendirilmesinde daha isabetli keşif özetleri yapılacak, güzergahların riskli alanlardan geçirilmesi de önlenmiş olacaktır.

1.2. Literatür Özeti

Ülkemizde orman yollarında jeofizik yöntemlerle zemin etüdüne ilişkin uygulamaya yönelik bir araştırma yoktur. Ancak jeofizik yöntemlerin orman yollarına uygulanabilirliğine ilişkin son yıllarda yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur. Bunlar aşağıda özetlenmiştir;

Acar vd. (2003)'de yapılan bir çalışmada, köy ve orman yollarının yapımında yol zemininin jeofizik yöntemlerle etüdü ile beklenen çevresel ve ekonomik yararlar irdelenmiş, jeofizik yöntemlerin orman ve köy yollarının zemin etütlerinde kullanılmasının önemi vurgulanmıştır.

Acar vd. (2005)'de, orman yolu yapımında zemin yapısının tespitinde jeofizik yöntemlerden yararlanma olanakları vurgulanmıştır. Bu çalışmada, jeofizik yöntemler kısaca tanıtarak, orman yolu yapımında kullanılabilirliği, teknik, ekonomik ve çevresel olarak kazandıracığı yararları tartışılmıştır. Çalışmanın sonucunda jeofizik yöntemlerin

orman yollarında zemin etüdünde kullanılabilirliği, bunun teknik ve çevresel açıdan gerekliliği vurgulanmıştır.

Jeofizik yöntemlerin, diğer mühendislik alanlarında kullanılması ile oldukça başarılı sonuçlar verdiği de pek çok çalışma ile ortaya konulmuştur.

Turan (2002) “zemin araştırması için bileşik jeofizik yöntemlerin uygulanması” adlı çalışmasında başarılı sonuçlar elde etmiştir. İnceleme alanındaki zemin ve kaya birimleri, aktif heyelan alanları ve yeraltı suyu gibi orman yol yapımında da etkili olan pek çok faktör başarılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Bunların sonucunda da yerleşim yeri olarak uygun olan ve olmayan alanlar belirlenmiştir.

Dumanoğlu (1994) “sismik ve özdirenç yöntemleri ile heyelan ve zemin incelemeleri” adlı çalışmada jeolojik ve mühendislik problemlerin çözümünde özellikle özdirenç ve sismik yöntemlerini kullanmıştır. Mühendislik çalışmalarında kayaçların özdirenç farklılıklarından yararlanarak tabakalı yapı ve su durumu ortaya çıkarılabilmektedir. Ayrıca bu çalışmada jeofizik yöntemler heyelan araştırmalarında kullanılarak; heyelan bölgesinin sınırları, kayan malzemenin kalınlığı ve kayma düzleminin topoğrafyası, heyelandaki değişik malzemelerin dağılım düzeni, su rejimi ve hareketin şeklinin belirlenebildiği ortaya konulmuştur.

Gündoğdu (2003) “mühendislik jeofiziğinde elektrik yöntem uygulamaları” adlı yüksek lisans seminer çalışmasında son yıllarda sektörel ve teknolojik alanlarda yaşanan gelişmelerin sıg arama jeofiziğinde önemli ilerlemelere neden olduğu vurgulanmış ve bu gelişmeler çerçevesinde mühendislik problemlerinde jeofizik yöntemlerin ürettiği çözümlerin başarısı ortaya konulmuştur. Kolay uygulanabilirliği nedeniyle elektrik yöntemlerin en çok kullanılan jeofizik yöntem olduğu ve mühendislik problemlerinin çözümünde oldukça iyi sonuçlar verdiği çeşitli uygulama örnekleri ile ortaya konulmuştur.

Akça vd. (2003) tarafından Amasya'nın Taşova ilçesinde bulunan ve yerleşim yerlerini tehdit eden heyelan yapısının kayma yüzeyinin belirlenmesi için yapılan çalışmada heyelan olayının ana nedeni olan suya doygunluk ve jeolojik birim faktörleri elektrik yöntemlerden doğru akım özdirenç yöntemiyle belirlenmiştir. Jeolojik birimler arasındaki geçiş ve birimlerin içerdikleri su miktarları ile heyelanın kayma yüzeyi hakkında kolayca yorum yapılmıştır. Doğru akım özdirenç çalışmalarına paralel profilde gerçekleştirilen sismik kırılma, yer radarı ve mekanik sondaj çalışmaları, kayma yüzeyinin derinliği ve yüzeyi sınırlayan jeolojik birimleri desteklemektedir.

Ülkemizde jeofizik uygulamalar henüz çok yaygın bir şekilde yapılmamaktadır. Bu nedenle mühendislik araştırmaları kapsamında yapılan uygulama örnekleri genelde yabancı kaynaklardan seçilmiştir.

Mühendislik araştırmaları; yol, havaalanı, baraj, su kanalı ve santrallerin yapımındaki yerleşim alanı yer araştırmaları, tünel araştırmaları, demiryolu, karayolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerisi araştırmaları, yapı araştırmaları, tavan, taban ve duvarların incelenmesi, restorasyon amaçlı araştırmalar, yapının duvar ve tabanlarındaki nemliliğın araştırılması gibi pek çok araştırma konularını içermektedir (Özürkan ve Ulugergerli, 2005).

Liberfinger (2000)'in yapmış olduğu çalışmada, Pennsylvania'daki karayolunda meydana gelen çöküntünün muhtemel ilerleme alanları araştırılmış ve boşluk yapısının kendini çevreleyen birimden özdirencinin farklı olmasından yararlanılarak zayıf noktalar belirlenmiştir.

Kahle (1992)'nin mühendislik jeofiziğı kapsamında yapmış olduğu yapı, duvar ve tabanlarındaki nemlilik araştırması ile yaklaşık 1,8 metre kalınlığında bir duvar içerisine temelde rutubetin yürümekte olduğu belirtilmiş. Jeofizik ölçümleriyle de rutubetin duvar içerisine ne kadar nüfuz ettiğı belirlenmiştir.

Fenner (1992)'de yaptığı bir çalışmada, maden galerilerinin yer yüzeyinden araştırılması amacıyla 7 ve 9 metre derinliğindeki iki tüneli yer radarı kesitinde çok belirgin bir biçimde gözlemlemiştir. Tünel üzerindeki kırık ve boşluklar da saptanmıştır. Arıca yapmış olduğu diğeri bir çalışmada, çevre araştırmaları kapsamında alt yapı hatlarının bulunması amacı ile jeofizik yöntemlerden yararlanmıştır. Bu çalışmada, farklı büyüklük ve farklı malzemelerden oluşan çeşitli borular için yapay yer radarı kesiti oluşturulmuştur. Boruların her biri radar kesitinde belirgin bir şekilde izlenebilmiştir.

Gelişli vd. (2003)'de yapmış oldukları "mermer işletmeciliğinde yer radarı uygulamaları" adlı çalışmada mermer ocaklarında kırık ve çatlakların belirlenmesi ve haritalanmasında yer radarı ile başarılı sonuçlar elde edildiğı ortaya konulmuştur. Ayrıca yer radarı üzerine bir çok çalışmanın gerçekleştirilmiş olduğu ve olumlu sonuçlar elde edildiğı belirtilmiştir.

Bu konudaki diğeri çalışmalardan bazıları; kaya şevlerindeki çatlakların belirlenerek haritalanması (Toshioka vd., 1995), kumlu topraklar içindeki tabakaların belirlenmesi (Boil vd., 1996), yeraltı kömür madenlerinde kömür damarlarının konumlarının belirlenmesi (Zhang vd., 1996), kireç taşı formasyonları içindeki jeolojik ve yapısal değışimlerin üç

boyutlu izlenmesi (Stgurdison vd., 1998), masif kaya kalitesinin yarı kantitatif olarak belirlenmesi (Orlando, 2003) olarak sıralanmıştır.

1.3. Orman Yolları

Orman yolları; ormanların işletmeye açılmasına hizmet eden lastik tekerlekli araçların bütün yıl nakliyat yapmasına yönelik, orman içi ile orman dışı bağlantıyı sağlayan tek şeritli yollar olarak tanımlanmaktadır (Erdaş, 1997).

Orman yollarının oluşturduğu orman yol şebekesinin düzenli ve kapsamlı olması halinde, başta koruma olmak üzere ormana yapılacak her türlü bilimsel ve teknik müdahale ile yıllık cari artım üzerine etkili olmak ve her türlü orman ürününün orman dışına taşınarak kıymetlendirilmesini sağlamak mümkün olmaktadır. Ayrıca orman içi ağaçlandırmaların yapılması, orman yangınlarında mahalline yetişerek gerekli hizmetin görülmesi yine yol şebekesinin orman içine dağılışına bağlı bulunmaktadır. Bu bakımdan orman yol yapımı orman işletmeciliğinin uygulanabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır (Erdaş, 1997).

1.3.1. Ülkemizde Orman Yol Yapım Çalışmaları

Türkiye’de orman yol yapım çalışmaları ilk olarak 1937 yılında yürürlüğe giren 3204 sayılı teşkilat kanununun 2. maddesine dayanarak kurulan inşaat şubesi bünyesi içinde başlamıştır. Daha sonra bu konudaki çalışmaların genişlemesi ve özellikle 1957 yılından sonra başlayan makineli yol yapımı işlerinin artması nedeniyle çalışmaların bağımsız bir ünite olarak yürütülmesinin zorunlu görülmesi ve bunun sonucu olarak 1966 yılında yol şubesinin kurulması ile çalışmalar inşaat şubesinden ayrılarak bu şube tarafından yürütülmeye başlanmıştır (Erdaş, 1997).

Ülkemiz orman yol şebeke çalışmalarını 1979 yılında genel hatları ile tamamlamıştır. Bu çalışmalara göre planlı orman yolu uzunluğu 201810 km olarak hesaplanmıştır. Böylece Türkiye’de genel orman yol yoğunluğu 9,99 m/ha olarak hesaplanmıştır.

Son yıllardaki orman yolu yapımı durumu dikkate alınırsa amaç yol uzunluğuna erişmek için önümüzdeki yıllarda yaklaşık 50000 km orman yolu yapılması gerektiği söylenebilir. Bugüne kadar yapılmış olan yollar için büyük miktarlarda para harcandığı

gibi bundan sonra yapılacak toplam orman yol uzunluğu için de büyük yatırımlara gerek olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere yol yapımı için büyük miktarda kapitalin yerinde kullanılmış olması ve haklı bir yatırım olabilmesi için yapılacak yolların bugün olduğu gibi gelecekte de teknik ve ekonomik nitelikte olması zorunludur. Bu nedenle önceden yol şebeke planlarında tasarlanan güzergahların arazide aplikasyonundan sonra yapılacak yolların bir projesinin yapılması yola ait bütün çalışmaların bu projeye göre yönlendirilmesi gerekmektedir (Erdaş, 1997).

1.3.2. Orman Yollarının Görevleri

Orman yolları orman işletmeciliğinde olmazsa olmaz bir alt yapı tesisidir. Orman yolları için her yıl büyük miktarlarda harcama yapılmaktadır. Bu harcamalar çeşitli amaçlar için yapılmakta olup aynı zamanda orman yollarının görevlerini ifade etmektedir. Bu görevler;

- Orman ürünlerinin ekonomik olarak taşınması,
- Orman içinde ekim, dikim, doğal gençleştirme gibi silvikültürel etkinliklerin zamanında gerçekleştirebilmesi için ulaşım sorununun çözümü,
- Ormanın sürekli ve kontrollü bir şekilde korunabilmesi için gerekli malzeme ve personelin taşınması,
- Orman yangınlarının ve böcek afetlerinin denetim altına alınması ile kontrollerinin yapılması için ulaşım sorununun çözümü,
- Orman işçilerinin denetimi için orman içine ulaşımın gerçekleştirilmesi,
- Dağınık orman içi köyler arasındaki ulaşım sorununun çözülmesi,
- Orman içi turistik yerlerin ulaşımına açılması,
- Yurt savunmasına ulaşım ve hizmet açısından katkıda bulunması gibi temel görevleri üstlenmektedir.

1.3.3. Orman Yolları Tipi ve Standartları

Orman yolları, bir yılda üzerinden taşınacak emval miktarları, yapılış amaçları, trafik yoğunluğu, seyir halindeki araçların büyüklüğü ve tonajları dikkate alınarak üç ana gruba ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla;

Ana orman yolları, tali orman yolları (A tipi tali orman yolu ve B tipi tali orman yolu) ve traktör yollarıdır. Bu yolların geometrik standartları aşağıda gösterilmiştir (OGM, 2008).

Tablo 1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008)

Yolun Tipi	Birimi	Ana Orman Yolu	Tali Orman Yolu				Traktör Yolu
			A - Tipi	B - Tipi			
				SBT	NBT	EBT	
Platform genişliği	m	7	6	5	4	3	3,5
Şerit sayısı	adet	2	1	1	1	1	1
Azami eğim	%	8	10	9	12	12	20
Asgari kurp yarıçapı	m	50	35	20	12	8	8
Şerit genişliği	m	3	3	3	3	3	3
Banket Genişliği	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Hendek genişliği	m	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	
Üst Yapı Genişliği	m	6	5	4	3	3	
Köprü genişliği	m	7+(2x0,6)	6+(2x0,6)	5+(2x0,6)		4+(2x0,6)	

SBT: Standartları yükseltilmiş B Tipi tali orman yolları, NBT: Normal B Tipi tali orman yolları, EBT: Ekstrem B Tipi tali orman yolları

Ana Orman Yolu; Trafiğe uygun platform genişliği 7 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 8 m olan, ana dereleri takip eden yollardır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için o yol üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarının 50000 m³' ten fazla olması ve Orman Genel Müdürlüğü'nden özel izin alınması gerekmektedir. Bu tip yolların tamamı 6 m genişliğinde üst yapı malzemesi ile kaplanacak, asgari kurp yarıçapı 50 m, azami eğim % 8 olacaktır. Bu tip yollarda standart trafik işaretleri konulması zorunludur.

A Tipi Tali Orman Yolu; Trafiğe uygun platform genişliği 6 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 7 m olan ana dere yollarıdır. Bu genişlikte yol yapılabilmesi için o yol üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarının 25000–50000 m³ arasında olması ve Orman Genel Müdürlüğü'nden özel izin alınması gerekmektedir. Bu tip yolların tamamı 5 m genişlikte üst yapı malzemesi ile kaplanacak ve asgari kurp yarıçapı 35 m ve azami eğim % 10 olacaktır.

B Tipi Tali Orman Yolu; Trafiğe uygun platform genişliği 4-5 m ve hendek genişliği 1 m olup toplam genişliği 5-6 m olan dere ve yamaç yollarıdır. Bu yollar üzerinde bir yılda taşınacak emval miktarı 25000 m³'ten azdır. Üretim ve nakliyat mevsimi, nakledilecek emvalin cinsi, arazi yapısı gibi faktörler dikkate alınarak bu tip yolların tamamı veya bir kısmı 3-4 m genişliğinde üst yapı malzemesi ile kaplanacaktır. Asgari kurp yarıçapı 12 m ve prensip olarak normal eğim olan % 9 kullanılacak, ancak ender olarak ve kısa mesafelerde uygulanmak şartıyla azami eğim % 12 olacaktır. Ters taşımada eğim 1000 m'ye kadar % 9, 1000 m'den daha fazla mesafede % 7 olacaktır. % 75' in üzerinde olan arazi yamaç eğiminde uzun mesafede som ve sert kaya olması halinde, yol platformu 3 m ve hendek 0,50 m olmak üzere B tipi tali orman yolu, toplam 3,5 m genişliğinde olacaktır.

Yukarıda genel tarifi yapılan ve ormanların çok büyük bir bölümüne ulaşımı sağlayan, B tipi tali orman yolları; arazinin topografik yapısı, ormancılık faaliyetlerinin yoğunluğu ve önceliği, iş merkezleri, trafik yoğunluğu gibi etkenler dikkate alınarak üç alt gruba ayrılmıştır.

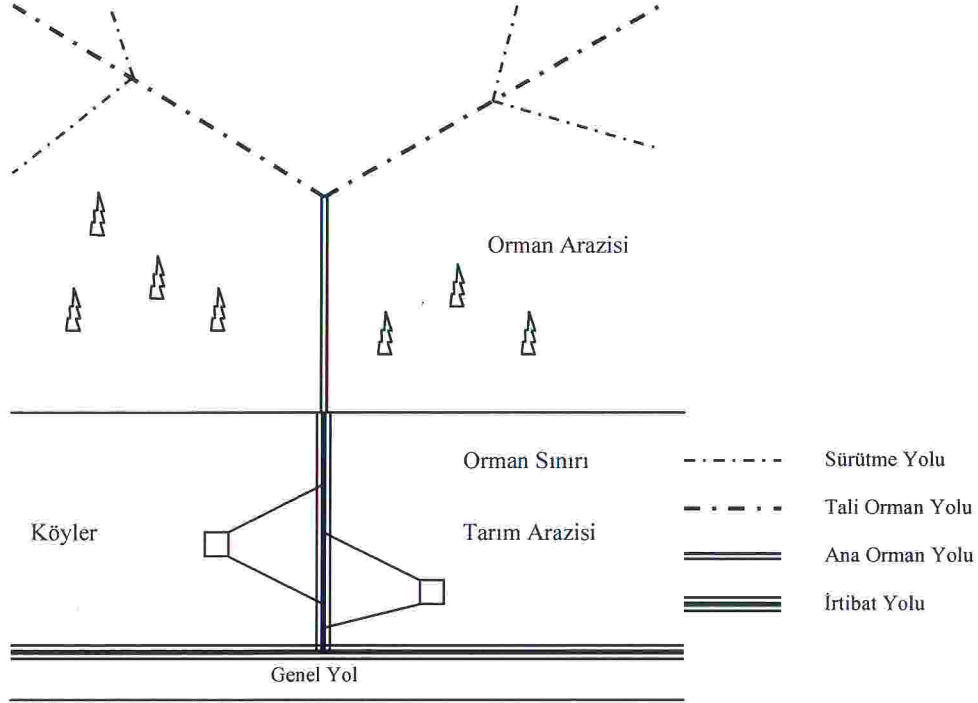
Standartları Yükseltilmiş B Tipi Tali Orman Yolları; Bu yollar, İşletme Şefliği ormanlarının merkezine ulaşan veya ormanlarla birlikte grup köylerin ulaşımını sağlayan, treylerlerin ağır iş makinelerini manevrasız taşıyabileceği, platform genişliği 5 m, hendek genişliği 1 m, azami eğimi %9, asgari kurp yarı çapı 20 m ve laseleri uygun, asgari 20 – 30 m görüş mesafesi olan, sanat yapısı ve üst yapı yapılması öncelikli yollardır.

Normal B Tipi Tali Orman Yolları; Platform genişliği 4 m, hendek genişliği 1 m, azami eğimi genelde %9, ender olarak % 12, kurp ve lase asgari yarıçapı 12 m olan ve ormanların geneline ulaşımı sağlayan yollardır. Bu yollar normal topografik yapı ve arazi şartlarında uygulanır.

Ekstrem B Tipi Tali Orman Yolları; Bu yollar, çok zor arazi şartlarının bulunduğu veya orman zonundan dağ zonuna yaklaşıldığında ucu kör yollar ile çok dik yamaçlar ve som kayalıkların bulunduğu alanlarda kısa mesafelerde uygulanabilecek yollardır. Platform genişliği 3 m, hendek genişliği 0,50 m, azami eğim kısa mesafelerde % 12 olabilecektir. Karşılaşma yerleri ve yolun sonunda dönüş yeri yapılacak, uygun görülen yerlerine trafik işaretleri konulacaktır.

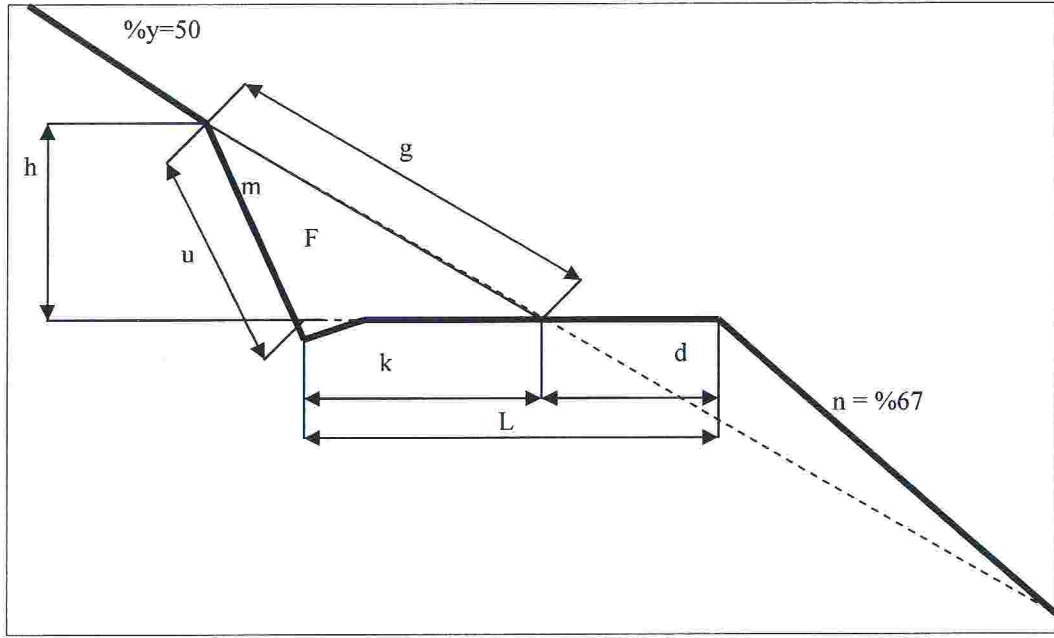
Traktör yolu; Mekanizasyon uygulaması henüz başlamayan üretim alanlarında, sürütülerek dere içlerinde belirli bir rampada toplanan emvalin mevcut yollara sürütülmesinin imkansız olması halinde, sadece sürütülen bu emvali almak amacıyla yapılan geçici yollara denir.

Traktör yollarında iniş aşağı nakliyatta azami eğim %20, yokuş yukarı nakliyatta azami eğim %12 olacak ve hiçbir surette bu eğimler aşılmayacaktır. Yol genişliği 3,5 m ve yol platformu dere tarafına %2-3 eğimlidir. Traktör yolları uzunluğu en fazla 1 km olacak ve bu miktar hiçbir şekilde aşılmayacaktır. Asgari kurp yarıçapı 8 m'dir. Traktör yollarında hiçbir şekilde üst yapı yapılmayacaktır.



1.3.4. Orman Yolu Enkesit Durumu

Bir orman yolu teknik bir yapı olup yol elemanları enkesit üzerinde Şekil 2'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2. Orman yolu en kesit görünüşü (OGM, 1984).

$\% y$ = Yamaç eğimini,

L = Platform + Hendek yol genişliği,

h = Kazı yüksekliği,

m = Kazı şevi eğimi, (2/1, 3/1, 4/1, 5/1)

n = Dolgu şevi eğimi, (2/3 = 0.67 Doğal zeminlerin durağan eğimi)

d = İnşa edilen yoldaki dolgu genişliğini,

k = İnşa edilen yoldaki kazı genişliğini,

F = m^2 cinsinden kazı alanını, (Hendek kazısı dahil edilecek)

g = Kazı şevi uzaklığını, (şev kazığı - seviye kazığı arası mesafe)

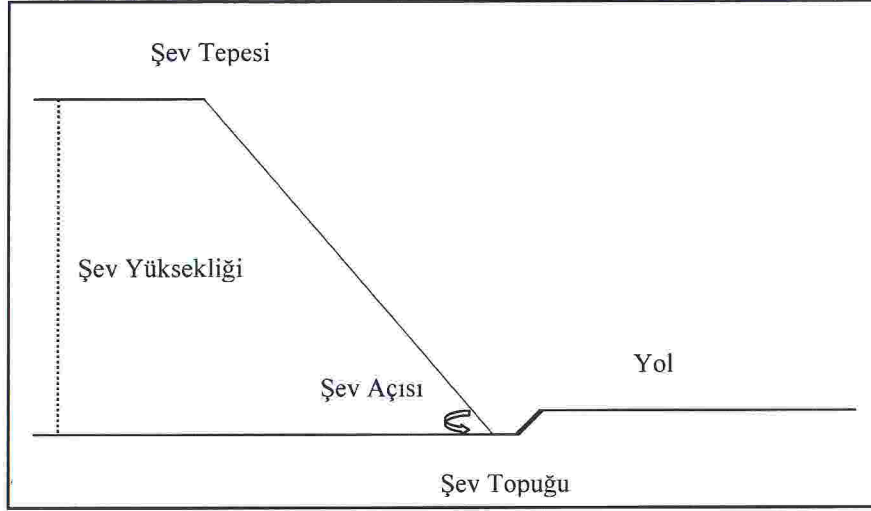
u = Kazı şevi uzunluğunu, göstermektedir.

1.3.5. Orman Yollarında Şevler

Herhangi bir kazı ve dolguda platform kenarı ile doğal yüzey arasındaki eğik yüzeye *şev* denir (Erdaş, 1997).

Şevin en yüksek tepesi “şev tepesi”, alt kenarı “şev topuğu”, bu iki nokta arasındaki düşey mesafe “şev yüksekliği”, şevin yatayla yaptığı açı “şev açısı”, bu açının tanjantı “şev

eğimi” olarak adlandırılmaktadır (Sekil 3). Şevler oluştuğu malzemeye göre kaya Şevler, küskülük Şevler ve toprak Şevler olarak gruplandırılır.

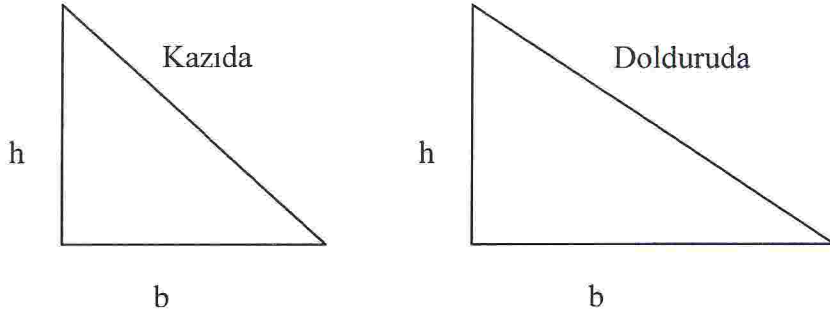


Şekil 3. Orman yollarında Şevler (Peker, 1988).

Orman yolları ekonomik, ekolojik ve teknik kriterlerin dikkate alındığı yollar olduğundan, bu yollarda Şevler, bir yandan zeminin dengesini bozmayacak diğer yandan mümkün olduğu kadar az toprak kazısı ve toprak isleri gerektirecek Şekilde düzenlenmelidir. Őevlerin eğimi genel olarak Şu faktörlere bağlıdır (Erdaş, 1997);

- Zeminin zellikleri
- Kazının derinliği
- Zemin içindeki tabakalaŐma durumu
- Yüzeysel suyun etkileri
- İnaŐat zamanı (mevsimi)
- Hava etkileri
- Yolda nakliyat yapan araçlardan doğan titreŐimler.

Orman yollarında Őevlerin eğimi genellikle Şev oranı seklinde ifade edilmektedir. Bunun için de Şev geninden yararlanılmaktadır. Böylece bir zemin cinsinde Şev oranı, bir Şev üçgeninde yüksekliğin (h), tabana (b) oranı olarak ifade edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Şev üçgeninde h ve b değerlerinin yeri (Erdaş, 1997).

1.3.6. Orman Yolları Sanat Yapıları

Orman yollarını kesintisiz aşmak, yağmur ve kar sularının zararlı etkilerinden korumak, kazı ve dolduru sevi çöküntülerini önleyerek nakliyatın yaz ve kış düzenli ve devamlı bir biçimde yapılmasını sağlamak amacıyla güzergâh boyunca inşa olunan her tip büz, menfez, istinad duvarı, drenaj hendeği, kanal ve kasis gibi tesislerin hepsine birden sanat yapıları adı verilir (Erdaş, 1997).

Ormanlarımızın büyük bir kısmı dağlık arazi üzerinde ve dağınık halde bulunmaktadır. Odun hammaddesinin buralardan üretilerek, inşa edilen yollarla tüketim merkezlerine sürekli ve düzenli olarak araçlarla taşınması, bu yollar boyunca toprak kaymasını önleyecek istinad duvarı, sel ve akarsuları aşmak için büz, menfez ve kasisler gibi tesisleri yapmakla mümkün olmaktadır (Erdaş, 1997).

Orman yol güzergahlarının jeolojik açıdan en uygun güzergahtan geçirilmesi ile pahalı sanat yapılarına daha az gerek duyulacak dolayısıyla daha güvenli ve ekonomik bir orman yolu elde edilmiş olunacaktır. Bu nedenle jeofizik yöntemler sayesinde optimum yol güzergahına ulaşılması pahalı sanat yapılarının sayısını azaltarak doğaya dost çevreci yapıda orman yol inşaatlarına da olanak sağlayacaktır.

1.3.7. Orman Yol Geçkisi

Orman yollarının planlanması sırasında yolların nereden geçeceğinin belirlenmesi için yapılan çalışmalara geçki etüdü denilmektedir. Geçki etüdü sonunda ortaya çıkan ve yolun plan olarak eş yükselti eğrili bir harita üzerinde nereden geçeceğini belirleyen çizgiye de orman yol geçkisi veya orman yol güzergahı adı verilmektedir (Erdaş, 1997).

Orman yol geçkilerinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken 3 temel esas vardır. Bunlar; teknik esaslar, planlama ile ilgili esaslar ve yapım ile ilgili esaslardır. Bunlardan teknik esaslar şunlardır;

- Bir orman yolu doğanın yapısını ve görünümünü bozmamalı, tam tersine doğanın bir parçasıymış gibi ona uyum sağlamalıdır.
- Heyelan tehlikesi olan yamaçlardan, taşıma yeteneği olmayan bataklık gibi arazilerden, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerden ve değerli tarım alanlarından orman yolu geçirilmemelidir.
- Dağlık alanlarda vadilerden ve boyun noktalarından yolların geçirilmesine özen gösterilmelidir.
- Yol bakım çalışmalarının kolaylaştırılması ve zeminin kuru kalmasını temin etmesi bakımından güney yamaçlardan ve kuru yerlerden orman yolları geçirilmelidir.
- Köprü yerlerinin seçimine özellikle dikkat edilmeli sağlam zeminler seçilmeli.
- Kaliteli yol yapı malzemesi ihtiyacı için bu tür malzemelerin kolayca sağlanacağı yerlere yakın yol geçkilerine öncelik vermelidir (Erdaş, 1997).

Orman yol geçkilerinin sağlaması gereken minimum koşullar ise şu şekildedir;

- Geçki, ana noktaları birbirine bağlamalıdır. Bunlar yolun başlangıçta karar verilen ve geçmesi zorunlu olan pozitif kardinal noktalardır.
- Geçki, ön görülen yol sınıfına ilişkin proje standartlarını sağlamalı ve yapımına imkan vermelidir.
- Geçki yolun ana kullanım amacına uygun olmalıdır.
- Geçki, jeolojik oluşum yönünden kararlı ve daha az kalın bir üst yapıya imkan verecek, taşıma gücü yüksek sağlam zeminli yerlerden geçmelidir.
- Geçki maliyeti; yapım, sanat yapıları, şev stabilitesi, oturmalar ve bakım yönünden en düşük olacak şekilde düşünülmelidir.
- Geçki, yolun sınıfına uygun olarak toprak işi mümkün olabildiği kadar az, toprak taşıma mesafeleri küçük ve kazıyla doldurunun birbirini dengeleyebileceği yerlerden geçirilmelidir.
- Normalin üstünde yeraltı suyu ve yüzeysel su etkisinde kalan yollarda bozulma daha çabuk olacağından drenaj imkanı en iyi olan yerden geçkinin geçirilmesine çalışılmalıdır.

- Akarsu geçişleri daha küçük maliyete imkan vermesi bakımından mümkün olduğu kadar dik açı altında yapılmalıdır.
- Geçki kamulaştırmaya imkân vermeden devlet ormanları içinden geçirilmelidir.
- Geçki sırasında ters eğim oluşmamalıdır.
- Geçki, mevcut karayolu şebekesiyle iyi bir uyum sağlamalıdır (Erdaş, 1997).

1.3.8. Orman Yolları Açısından Zeminin Morfolojik Olarak İncelenmesi

Orman yollarlı yapımında üç zemin tipi söz konusudur. Bunlar; toprak, küskülük ve kaya zeminlerdir (Erdaş, 1997).

Toprak zeminler üç grupta incelenmektedir. Bunlar ise;

Batak ve Balçık: Su muhtevası yüksek olan ve bu suyu kolay bırakmayan genellikle akıcı ve yapışkan nitelikteki zeminlerdir.

Yumuşak Toprak: Bel küreği ve kürekle kazılabilen gevşek toprak, bitkisel toprak, gevşek kum, gevşek silt ve benzeri zeminlerdir,

Sert Toprak: Kazmanın yassı ve ara sıra sivri ucu ile kazılabilen kil, kumlu kil, çakıllı kil ve kürekle atılabilen taşlı toprak gibi zeminlerdir.

Küskülük zeminler iki grupta incelenmektedir; yumuşak küskülük ve sert küskülük.

Yumuşak Küskülük: Kazmanın sivri ucu, ara sıra küskü ve kama ile kazılabilen toprak, sert kil, yumuşak marn ile 0,100 m³'e kadar büyüklükteki her cins moloz taşları yumuşak küskülük olarak adlandırılır.

Sert Küskülük: Kazmanın sivri ucu, küskü, kama ve kırıcı tabanca ile kazılabilen, çok ayrılmış yapıdaki granit, andezit, dasit, trakit, serpantin ve benzerleri; zayıf çimentolu ve yumuşak yapıdaki gre, konglomera, anglomera ve benzerleri; konsolide marn, kompakt kil, çok çatlaklı şist ile 0,100-0,400 m³ büyüklükteki her cins kaya parçaları sert küskülük olarak adlandırılır.

Kaya zeminler yumuşak kaya, sert kaya ve çok sert kaya olmak üzere üç gruba ayrılır.

Yumuşak Kaya: Küskü, kırıcı tabanca veya patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen gre, konglomera, şistler, alçı taşı, yumuşak marnlı kalkerler, çatlaklı ve ayrılmış gnays, taşlanmış marn ve kil taşları ile 0,400 m³'den büyük aynı cins blok kayalar yumuşak kaya olarak adlandırılır.

Sert Kaya: Patlayıcı madde kullanılarak atılabilen, kırıcı tabanca ile parçalanıp sökülebilen, çakıl tabaka ve kitle halindeki gre ve konglomera, andezit, dasit, trakit, gnays ve benzeri ile 0.400 m³'den büyük aynı cins kaya blokları sert kaya olarak adlandırılır.

Çok Sert Kaya: Fazla miktarda patlayıcı madde kullanılarak atılabilen veya kırıcı tabancayla parçalanıp sökülebilen, ayrışmamış granit ve benzeri kayalar, bazalt, mermer ve benzerleriyle 0,400 m³'den büyük aynı cins kaya parçaları çok sert kaya olarak adlandırılır.

Görüldüğü üzere bu zemin cinslerinden toprak ve küskülük zeminler muhtelif cins el aletleri ve makinelerle kazılmakta, kaya zeminler ise patlayıcı maddeler yardımıyla parçalara ayrılmakta, ancak bundan sonra el aletleri veya makineler yardımıyla hareket ettirilmektedir (Erdaş, 1997).

1.4. Zemin Etüdü

Zemin etüdü; tasarlanan bir mühendislik yapısının temel sisteminin güvenilir ve ekonomik bir şekilde projelendirilebilmesi için yeterli bir derinliği kapsamak üzere arazide zemin tabakalarının saptanması ve gerekli olan zemin parametrelerinin arazi ve laboratuarda belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmaların bütünüdür.

Zemin etütlerinde zemini oluşturan tabakaların dizilişi, kalınlıkları ve yanal süreksizlikleri konularında bilgi edinmek, varsa ana kayanın veya boşlukların yeri, derinlikleri ve boyutlarını ortaya koymak gerekmektedir. Ayrıca yeraltı suyu seviyesinin belirlenmesi de önem taşımaktadır. Bu amaçla günümüzde jeofizik yöntemler zemin etütlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.5. Jeofizik Yöntemler

Bilindiği gibi, jeofizik yöntemler 20. yüzyılın başlarından beri maden, yeraltı suyu ve petrol aramaları ile deprem araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeofiziğin bu uygulama alanına, 1950'lerden sonra büyük mühendislik yapılarının (baraj, çok katlı binalar, santraller, otoyollar gibi) kurulması ile zemin-mühendislik yapısı ilişkisinin saptanması ve zeminin jeolojik yapısının ortaya konmasını kapsayan mühendislik jeofiziği eklenmiştir. Mühendislik jeofiziği, mühendislik sorunlarının çözümüne yönelik jeofizik mühendisliği uygulamaları olarak da tanımlanabilir.

Jeofizik çalışmasının yapıldığı alanda uygulanan yöntemin önemi büyüktür. Aranılan şeyin niteliğine ve araştırma alanının jeofizik, jeolojik durumuna göre çalışmayı yapan kişilerin en iyi verileri elde etmesine yardımcı olacak, en az masraflı yöntemin kullanılması gerekir.

Fiziksel özelliklere dayanılarak oluşturulan jeofizik mühendisliği araştırma yöntemleri, belirli fiziksel özelliklerin arazide, yerinde ve laboratuarda ölçülmesi ile bunların amaca göre (hidrolojik, madencilik, yapılaşma, jeoloji vb.) değerlendirilmesi ve yorumlanmasına dayanır.

Fiziksel özelliklere göre jeofizik yöntemler;

- Sismik Yöntemler
- Gravite Yöntemi
- Elektrik-Elektromanyetik Yöntemler
- Manyetik Yöntemler
- Termik Yöntemler
- Radyoaktif Yöntemler
- Uzaktan Algılama
- Kuyu Jeofiziği Yöntemler

1.5.1. Jeofizik Yöntemlerin Uygulama Alanları

Doğal kaynakların araştırılması bakımından aşağıdaki alanlarda jeofizik yöntemler uygulanır. Bunlar:

- Endüstriyel hammadde ve radyoaktif mineral aramaları,
- Maden, kömür, taş ocağı, kum, çakıl rezervi aramaları,
- Yeraltı suyu aramaları,
- Petrol ve doğalgaz aramaları,
- Jeotermal kaynak aramaları,
- Doğal olayların araştırılması,
- Depremsellik ve deprem riski araştırmaları,
- Kayma yüzeyi tespiti ve heyelan araştırmaları,
- Su baskını ve çığ önleme araştırmaları, gibi temel mühendislik ve zemin etütlerinde kullanılmaktadır.

Yapıların zemin araştırmaları ve kent planlamalarında mikro bölgeleme çalışmaları için ise aşağıdaki alanlarda jeofizik yöntemler uygulanır. Bunlar ise:

- Yeni yerleşim alanlarının zemin araştırmaları,
- Bina, kooperatif, fabrika, sanayi tesisleri, havaalanları, gökdelen ve kulelerin zemin araştırmaları,
- Köprü ve viyadük ayakları araştırmaları,
- Baraj ve gölet araştırmaları,
- Kara ve demiryolları güzergah araştırmaları,
- Deniz, göl ve nehir araştırmaları,
- Tünel araştırmaları,
- Zemin tabakalarının kalınlık, cins ve özellikleri ile taban kaya derinliğinin belirlenmesi,
- Zemin dinamik parametrelerinin tespiti,
- Titreşim periyodunun hesabı,
- Termik, nükleer ve doğalgaz enerji santrallerinin zemin araştırmaları,
- Arkeolojik alanların tespiti ve ortaya çıkarılması,
- Liman, balıkçı barınağı, rıhtım ve deniz yolları zemin araştırmaları,
- Mikro bölgeleme, deprensellik çalışmaları ve risk analizleri,
- Zemin yapı etkileşimi,
- Sıvılaşma analizleri,
- Çevre sorunlarına yönelik araştırmalar,
- Toprak ve yeraltı suyu kirliliği araştırmaları,
- Doğalgaz yeraltı depolama alanlarının araştırılması,
- Çöp alanlarının, evsel ve kimyasal atık depolama alanlarının araştırılması,
- Doğalgaz ve petrol boru hatları korozyon araştırmaları,
- Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) araştırmaları,
- Karstik boşlukların araştırılması,
- Emniyetli patlayıcı maddelerin miktarının araştırılmasıdır.

Ayrıca yerkürenin ve uzayın özelliklerinin incelenmesi konusunda da jeofizik yöntemler uygulanır (URL-1, 2008).

1.5.2. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi şu özelliklere sahiptir;

- Yapay bir enerji kaynağı kullanılır.
- Yere verilen yapay bir akımla yeraltının görünür özdirenci hesaplanır.
- Elektrik özdirenç yöntemleri yere çakılan 4 adet elektrod ile yapılır.
- Ölçüm derinliği elektrod aralığına bağlıdır.
- En yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

Doğru akım elektrik özdirenç (rezistivite) yönteminin uygulama alanları ise şunlardır;

- Jeolojik yapıların kalınlık ve derinliklerinin belirlenmesi,
- Yanal değişimlerin saptanması ve jeolojik koşullara bağlı anomalilerin belirlenmesi,
- Tuzlu su girişi ve kirlilik haritalarının elde edilmesi,
- Gömülü atık yerlerinin belirlenmesi,
- Yeraltı suyu, petrol, maden gibi doğal zenginliklerin aranması,
- Kuyu logları.

Yöntemin özellikleri olarak kolaylıkları ve zorlukları şunlardır;

Kolaylıkları; düşey yönde oldukça iyi çözünürlük, hem sığ hem de derin amaçlı çalışmalar için kullanılması ve farklı uygulamalar için değişik elektrod dizilimidir.

Zorlukları ise yeraltında gömülü metalik cisimlerden, borulardan ve kablolardan kolayca etkilenmesi, çok düşük özdirenç değerlerinde etkinin azalması ve yüzey özdirenci çok yüksek olan alanlar için uygun olmamasıdır (URL-2, 2008).

Elektrik özdirenç yönteminin esası Ohm Kanunu'na dayanır.

- Ohm Kanunu: R direncine sahip bir telden geçen I akımının yarattığı potansiyel V;

$$V=I.R \quad (1)$$

I: Akım, *V*: Potansiyel (voltaj), *R*: Direnç

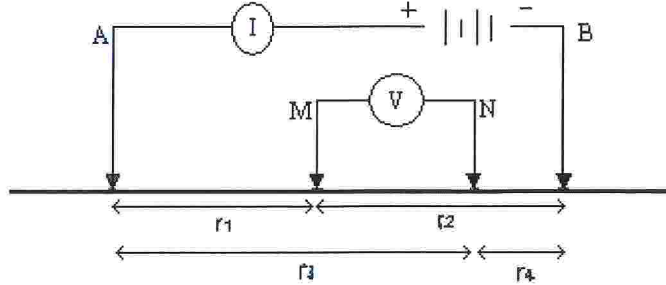
Yarı sonsuz homojen bir ortamda, *I* akımının *r* uzaklıktaki bir *P* noktasında yaratacağı potansiyeli şu şekilde verilmektedir;

$$V=pI/ 2\pi r \quad (2)$$

Özdirenç değeri;

$$p=2\pi r(V/I) \quad (3)$$

Elektrik özdirenç yöntemi genellikle iki elektrotla yere akım vermek (Şekil 5’de A ve B) ve başka iki elektrot (Şekil 5’de M ve N) arasındaki potansiyeli ölçmek şeklinde dört elektrot ile birlikte uygulanır.



Şekil 5. Elektrik özdirenç yöntemi (URL-2, 2008).

Her bir elektrottaki potansiyel şu şekilde verilir;

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi r_1} - \frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad (4)$$

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi r_3} - \frac{I\rho}{2\pi r_4} \quad (5)$$

İki elektrot arasındaki potansiyel fark ise şu şekilde hesaplanır;

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (6)$$

1.5.2.1. Elektrik Özdirenç Ölçülmesi

Özdirenç ölçümleri laboratuarda ve arazide olmak üzere iki türdür. Laboratuarda yapılan ölçümlerde numunelerin özdirençleri ilgili bağıntılarla hesaplanabilir. Arazide ise yere çakılan elektrotlar, yapay akım kaynağı ve ölçü aleti ile yapılan ölçümler sonucu belirlenir (URL-2, 2008).

Arazi ölçümlerinde şu aletler kullanılmaktadır;

Elektrotlar: Bakır, demir, pirinç gibi metallere yapılan, bir ucu sivri diğer ucu ise çekiçle vurulunca ezilmeyecek şekilde yapılan gereçlerdir.

Kablo: Yapılacak olan açılıma göre yeterli uzunlukta, oldukça iyi iletkenliğe sahip, yalıtılmış, kolayca kopmayan türde olması gereklidir.

Ölçü Aleti: Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli ölçü aletleri vardır. Hepsinde amaç, verilen akıma (I) karşılık potansiyel farkı (ΔV) ölçmektir.

Akım Kaynağı: Yere verilecek akım kaynağını oluşturan pil, akü veya jeneratör gibi gereçlerdir (URL-2, 2008).

Elektrik öz direnç ölçmeleri arazide uygulanma şekillerine göre iki ana gruba ayrılır. Bunlar;

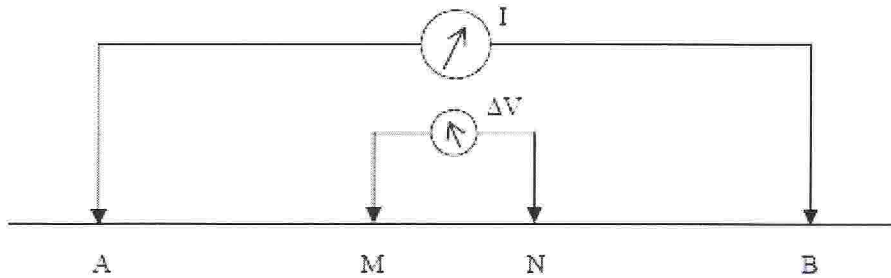
- Elektrik Sondaj (Açma Yöntemi)
- Elektrik Profil (Kaydırma Yöntemi)

Elektrik sondaj, derinlere doğru olan elektriksel öz direnç değişimini belirlemek için kullanılır. Elektrot aralıkları her ölçümde değiştirilir. Bu aralıklar önce küçük alınır ve sonra giderek arttırılır. Elektrotlar arası orta nokta sabittir.

Elektrik profil ölçümleri, yanal yöndeki öz direnç değişimlerini belirlemek için kullanılır. Bu tür ölçümlerde elektrod aralıkları sabit tutularak, elektrotlar arası orta nokta bir profil boyunca kaydırılır. İncelenecek yapının doğrultusuna dik olacak şekilde ve profiller boyunca ölçüm alınır.

1.5.2.2. Doğru Akım Öz direnç Yöntemi

Doğru akım öz direnç (DAÖ) yönteminde, çakılan elektrotlar ile yere akım uygulanır ve diğer noktalarındaki elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (Şekil 6). Ölçülen gerilim farkı, tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır.



Şekil 6. Akım (A ve B) ve gerilim (M ve N) elektrotları ile arazide oluşturulan ölçü sistemi

DAÖ yönteminde ölçülen büyüklük gerilim farkıdır. Ancak veri yorumu için gerilim farkı fiziksel bir büyüklük olan öz dirence dönüştürülür. Bu dönüştürme işlemi,

$$\rho_a = k \cdot (\Delta V / I) \quad (7)$$

bağıntısı ile yapılır. Burada I, yere uygulanan akım (amper), k, elektrotların konumuna bağlı geometrik faktör ve ΔV ölçülen gerilim farkıdır (volt). Bu bağıntı tekdüze ve izotrop

bir ortam için geçerlidir. Gerçekte yer tekdüze değildir ve bu bağıntıdan hesaplanan öz direnç, Görünür Öz direnç (GÖ) olarak adlandırılır.

Doğru akım öz direnç yönteminde veri toplama işlemi çok kanallı öz direnç aletleriyle çok kısa sürede ve kolayca yapılabilmektedir.

Ölçüm profillerinin konumu ve uzunluğu, ölçü noktalarının yerleri de aranan yapının vereceği yanıtı etkilemektedir. Bu nedenle bunların seçimi oldukça önemlidir.

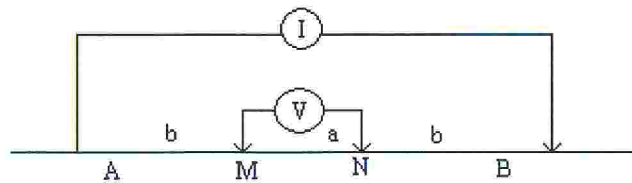
Ölçülen veriler yeraltının öz direnç değişimi hakkında bilgi vermek amacıyla yapma kesitler olarak sunulabilir. Bu tip veri sunumunda yatay eksen uzaklık, düşey eksen görecel derinlik olmak üzere elde edilen veriler konturlanır. Bu tip veri sunumu ölçü alanı hakkında nitel yorum yapma imkanı verir. Aranan yapıların gerçek konumları ve öz dirençleri (nicel yorum) uygun veri işlem teknikleri sonucu belirlenebilir. Ters çözüm olarak adlandırılan bu işlemler sonucunda yeraltı yapısını gerçek değerleri ile gösteren yer elektrik kesitleri elde edilir.

1.5.2.3. Elektrot Dizilim Türleri

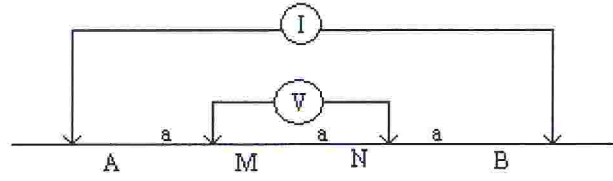
Elektrotların birbirlerine ve merkez noktaya olan konumlarına göre değişik dizilim türleri vardır. Elektrik öz direnç yönteminde kullanılan başlıca dizilim türleri şunlardır: (URL-2, 2008).

- Schlumberger
- Wenner
- Dipol-Dipol
- Pol-Dipol
- Yarım Schlumberger
- Yarım Wenner

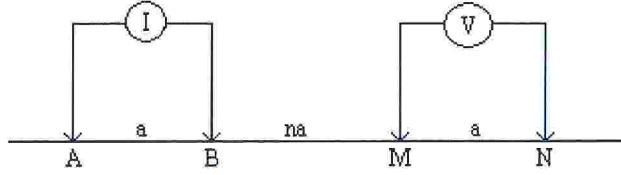
Yaygın olarak kullanılan dizilimler şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 7, 8, 9 ve 10).



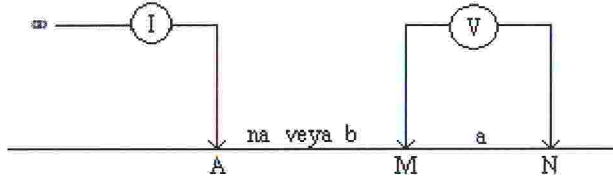
Şekil 7. Schlumberger dizilimi



Şekil 8. Wenner dizilimi



Şekil 9. Dipol-Dipol dizilimi



Şekil 10. Pol-Dipol dizilimi

1.5.3. Sismik Yöntemler

Sismik yöntemler yeraltındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamada elastik dalgaların arz içerisinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır. Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağı, yeryüzüne bir düzen içinde yerleştirilmiş bir seri alıcıya ve bu alıcılara gelen dalgaları kaydeden ölçüm aletine gerek vardır. Sismik yöntemde bir kaynakla oluşturulan elastik dalgaların kırılarak veya yansıtılarak yayılmalarına ilişkin yol alış zamanları ölçülür. Bu zaman-uzaklık kayıtları daha sonra uygun yöntemlerle işlenerek katmanlı ortamların kalınlık ve sismik dalga hızlarını belirleyen yeraltı modelleri oluşturulur. Sismik dalgaları üretmek için patlayıcılar ve diğer enerji kaynakları, bunun sonucu meydana gelen yer hareketini saptamak için de sismometre veya jeofon tertipleri kullanılır. Temel sismik arama tekniği, sismik dalgaların üretilmesi ve kaynaklardan jeofon serilerine giden dalgalar için gerekli zamanı ölçmekten ibarettir.

Bu düzen içinde temel prensip, enerji kaynağından yayılan ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşı amplitüdlerinin kaydedilmesidir.

Sismik yöntemler, kaynaktan yayılan sismik dalgaların takip ettiği ışın yollarına göre Sismik Yansıma (reflection) ve Sismik Kırılma (refraction) olmak üzere iki genel bölüme ayrılır (URL-3, 2008).

1.5.3.1. Sismik Yansıma Yöntemi

Sismik yansıma yöntemi yeraltının iki veya üç boyutlu, ayrıntılı yapısal ve stratigrafik kesitinin elde edilmesinde kullanılır.

Sismik Yansıma Yöntemi çalışmalarını üç aşamada toplamak mümkündür.

- 1- Arazide sismik verilerin toplanması
- 2- Verilerin ofiste bilgisayarlarla işleme tabi tutulması (Veri-İşlem)
- 3- Verilerin değerlendirilmesi

Sismik Yansıma Yöntemi ekonomik olarak petrol ve doğal gaz araştırmalarında, kömür yatağı araştırmalarında, mühendislik amaçlı olarak kıyı tesislerinin denizaltı zemin ve çökel istif şartlarının belirlenmesinde, liman, karayolu, baraj ve büyük yapıların inşası ile ilgili temel kaya problemlerinin çözümünde, kültürel olarak arkeolojik çalışmalarda bilimsel amaçlı olarak kara ve denizde yerkaşu araştırmalarında kullanılmaktadır (URL-3, 2008).

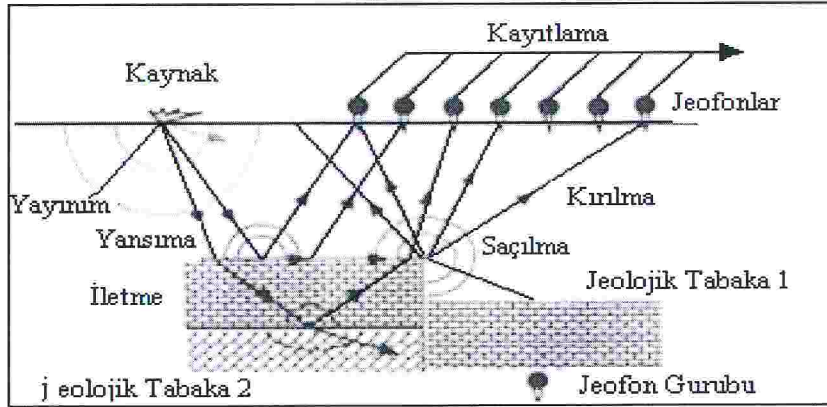
1.5.3.2. Sismik Kırılma Yöntemi

Bu yöntem, patlatıcı madde kullanma ve ağır bir cisim yüksekten yeryüzüne düşürme sırasında, darbe etkisiyle oluşan titreşimlerin (sismik dalgaların) belirli uzaklıklara ne kadar zamanda ulaştığı esasına dayanır. Sismik kırılma yöntemi, tabakalı bir ortamda kırılarak yayılan ve sonra yeryüzüne ulaşan elastik dalgalardan hızları ölçme esasına dayanır (Şekil 11). Sismik dalgalar çeşitli özellikteki kayalar içerisinde değişik hızda yayılırlar. Böylelikle ölçülen farklı hızlardan hareket edilerek doğrudan fiziksel özellikler çıkarılmış olur.

Sismik Kırılma Yöntemi, veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Diğer önemli bir özelliği ise dalga yayılım hızının

derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların hızlarının ve derinliklerinin yeterli bir doğrulukla bulunmasını sağlar.

Sismik Kırılma Yöntemi, yeraltı suyu araştırmalarında, mühendislik amaçlı zemin etütlerinde, özellikle deprem tehlikesinin beklendiği yöredeki sismik tehlike araştırmalarında yatay ve düşey yönde her bir katman için sismik hızların belirlenmesi ile gerçek tabaka kalınlıkları ve bunların dinamik özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 11. Sismik kırılma yöntemi oluşum şekli (URL-3, 2008).

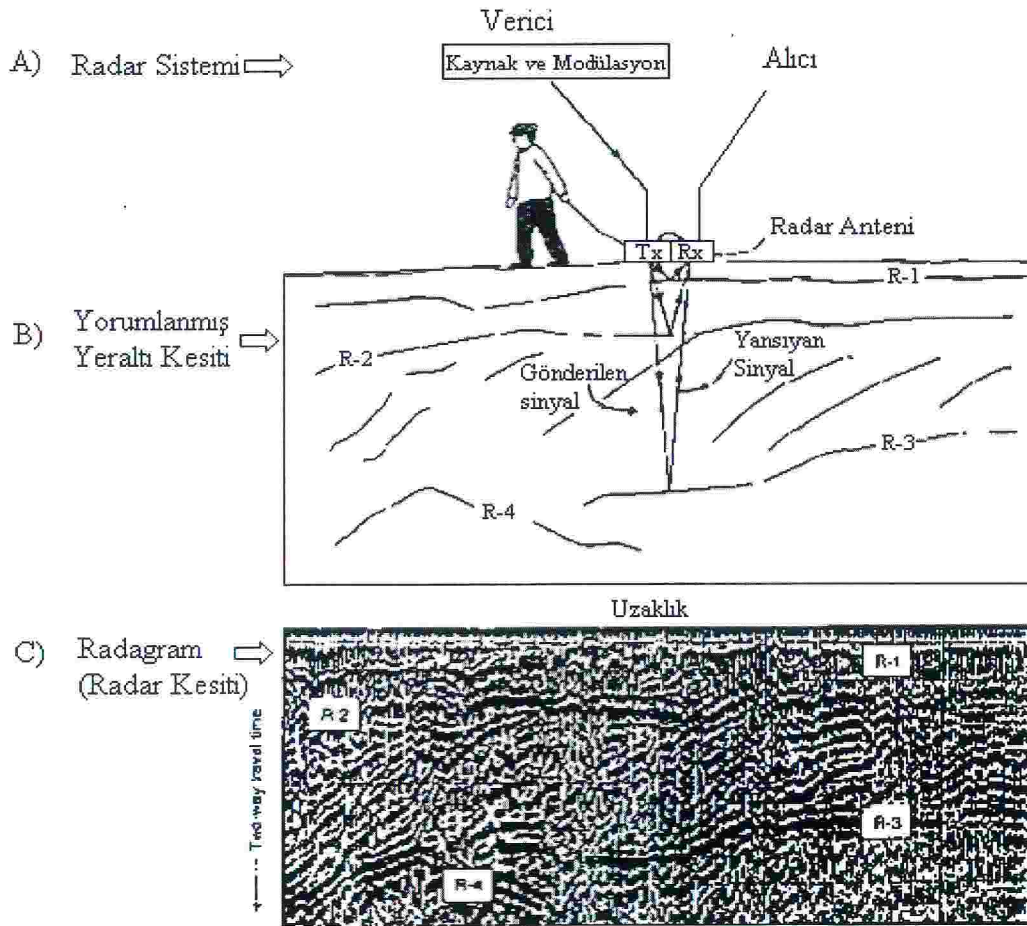
1.5.4. Yer Radarı

Yer radarı yönteminin ilk uygulaması 1929 yılında Avusturya'da buz kalınlığının ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilmiş ve sonraki yıllarda çok çeşitli sığ araştırmalarda geniş kullanım alanları kazanmıştır. Bu alanlar, mineral ve yeraltı suyu aramaları, arkeolojik araştırmalar ve mühendislik jeofiziği olarak sıralanabilir (Özürkan, vd., 2005).

Yer radarı (GPR) yöntemi, yakın yüzey araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik jeofizik yöntemdir. Bir yer radarı, verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Verici anten (transmitter) yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne sahiptir ve birkaç nanosaniyeli bir elektromanyetik sinyal üretir. Yer içinde ilerleyen dalgalar anomali verecek herhangi bir nesne ile karşılaştıklarında yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkarlar ve yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımı ile zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilirler (Şekil 12). Buna *radar izi* adı verilir. Zaman birimi nanosaniyedir. Ölçümler genellikle bir profil üzerinde, önceden

belirlenmiş ölçüm noktalarında alınır. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek *radagram* adı verilen radar kesitleri elde edilir (Şekil 12). Bir alan üzerinde çalışıldığında, arazide paralel profiller kullanılarak ölçümler alınır. Sonuçlar üç boyutlu olarak görüntülenebilir.

Yer radarında kaynak olarak yüksek frekans elektromanyetik dalgaları (radyo dalgaları) kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan frekans aralığı 10 MHz'den 2 GHz'dir. Frekans seçimi araştırılmak istenen derinliğe göre yapılmaktadır. Frekans derinlikle ters orantılıdır. Araştırma derinliği azaldıkça kullanılan frekans değeri artmaktadır. Yaklaşık 30 metre derinlik için yeraltı bilgisi istendiğinde 25 MHz antenler kullanılırken, 7-10 metre derinlik için 200- 250 MHz antenler kullanılır (Kadıoğlu, 2004).

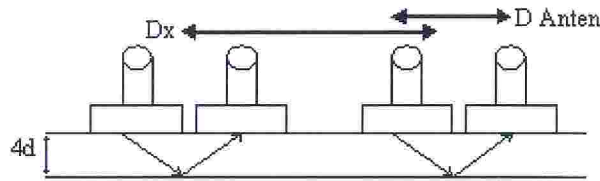


Şekil 12. Bir profil boyunca elde edilen radagram. A) Radar sistemi ile veri toplama, B) Profil boyunca yeraltı kesiti, C) Radagram görüntüsü

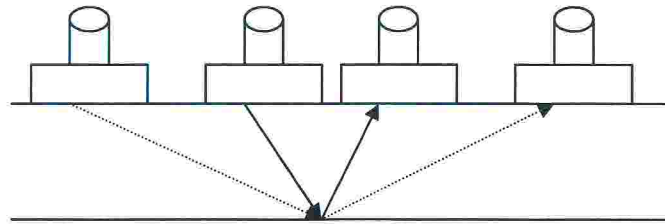
1.5.4.1. Yer Radarı Ölçüm Teknikleri

Ortamdaki öz direnç ve dielektrik sabitine bağlı olarak enerjinin tepe değerleri yüzeye belli bir açı ile ulaşabilmektedir. Yayınım özelliklerine bağlı olarak verici ve alıcı antenlerin birbirlerine göre konumları algılanacak imleri de etkileyecektir. Bu durum göz önüne alındığında farklı dizgeler türetmek olasıdır.

Uygulamada en yaygın kullanılan dizgede antenler birbirlerine paralel, ölçüm hattına ise dik tutulur. Ölçümler seçilen hatlar boyunca yapılmaktadır. Birbirlerine belirli bir uzaklıkta tutulan alıcı ve verici antenleri hat boyunca aralıklarla ilerletilir ve her bir durakta ölçüm yapılır. Çoğu yer radarı araştırmalarında sabit anten aralığı kullanılır ve sabit açıklık profili (fixed-offset profiling) dizgesi olarak tanımlanır (Şekil 13). Diğer bir yöntem ise, orta nokta sabit kalacak şekilde farklı anten aralığı kullanarak çoklu katlama (common mid point, CMP) tekniğidir (Şekil 14). CMP çalışmalarında sismik yöntemdekilere benzer biçimde, farklı açıklığa bağlı olarak oluşan yansımadaki değişimler kullanılarak hızlar elde edilir. Bu yöntem uygulaması zor olduğundan pek kullanılmamaktadır. Belirtilen dizgelerden farklı olarak antenlerin birbirlerine göre ve ölçüm hattına göre farklı konumlarda tutulması ile değişik dizgeler elde etmek de olasıdır (Özürlan, vd., 2005).



Şekil 13. Yer radarı ölçüm teknikleri (Sabit açıklık tekniği)



Şekil 14. Yer radarı ölçüm teknikleri (Çoklu katlama tekniği)

1.5.4.2. Yer Radarı Kullanım Alanları

Yer radarı yönteminin kullanım alanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Jeolojik araştırmalar,
- Çevre araştırmaları,
- Mühendislik araştırmaları,
- Arkeojeofizik araştırmalar,
- Maden araştırmaları.

Jeolojik araştırmalar: Jeolojik yapı araştırmaları, kırık/süreksizlik, sokulumların araştırılması, heyelan araştırmaları, karstik boşluk ve mağara araştırmaları, eski nehir yataklarının araştırılması, masif kayalar içinde kırık ve çatlakların araştırılması, kil mercekleri ve buz kamalarının araştırılmasıdır.

Çevre araştırmaları: Yeraltı suyu araştırmaları, yeraltı suyu kirliliği araştırmaları, gömülü katı atık depolarının araştırılması, fabrika, akaryakıt istasyonu, su ve kanalizasyon yollarından kaynaklanan kaçak ve sızıntıların belirlenmesi, katı atık boşaltım alanlarının yer seçimi amaçlı araştırmaları, alt yapı boru hatlarının bulunmasıdır.

Mühendislik araştırmaları: Yol, havaalanı, baraj, su kanalı ve santrallerin yapımında yerleşim alanı yer araştırmaları, tünel araştırmaları, demir yolu, karayolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerisi araştırmaları, yapı araştırmaları, tavan, taban ve duvarların incelenmesi, restorasyon amaçlı araştırmalar, yapı duvar ve tabanlarındaki nemliliğin araştırılmasıdır.

Arkeojeofizik araştırmalar: Antik şehir, tapınak, mezar, duvar, temel, dehliz ve benzeri tarihi kalıntıların bulunması, yeraltı şehirlerinin araştırılmasıdır.

Maden araştırmaları: Yüzeğe yakın (40 metreye kadar) madenlerin aranması, yeraltı galerilerinin araştırılması, rezerv geliştirme, galeri sürülerek yapılan maden (kömür) araştırmaları, göçük ve maden kazalarında ilk yardım amaçlı çalışmalar (Özürkan, vd., 2005).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

“Orman yol güzergahlarındaki zemin yapısının jeofizik yöntemlerle ortaya konulması” adlı çalışmada öncelikle araştırma alanında kullanılacak olan jeofizik yöntemler belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen çalışma alanında gözlem ve incelemeler yapılarak çalışma alanı hakkında bilgiler elde edilmiştir. Belirlenen jeofizik yöntemler (elektrik özdirenç, sismik yöntem ve yer radarı) ile yol güzergahı boyunca zemin etütleri yapılarak zeminin morfolojik yapısı ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular gerçek durumla kıyaslanarak hangi yöntemin daha doğru ve avantajlı olduğu durumlar ortaya konulmuştur. Böylece pratikte (uygulamada) elde edilecek yararlar öne çıkarılmıştır.

2.1. Araştırmanın Coğrafi, Teknik ve Zaman Açısından Sınırlandırılması

Çalışma alanı, Trabzon ili, Akçaabat ilçesi, Işıklar Beldesi sınırları içerisinde yer almaktadır.

Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde 2007 yılında yapılmış olan 81 kod nolu orman yolu yeni yapılmış olması ve ulaşım kolaylığı nedeni ile çalışma alanı olarak seçilmiştir. 81 kod nolu orman yolu Trabzon-G42-b2 ve Trabzon-G42-b3 paftalar içerisinde yer almaktadır.

Çalışma teknik açıdan da sınırlandırılmıştır. Çalışmada üç ayrı jeofizik yöntem kullanılarak zemin etüdü yapılmıştır. 81 kod nolu orman yolunun ilk 400 m’lik kısmında elektrik özdirenç yöntemi ile zemin etüdü yapılmıştır. Yol güzergahınının 10 m üzerinden yola paralel şekilde 100 m boyunca elektrik özdirenç, sismik ve yer radarı yöntemleri ile zemin etütleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanındaki ölçümler 2008 yılının Mayıs ve Aralık ayları arasındaki 8 aylık periyot içerisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 15. Çalışma alanına ait genel görünüş

2.2. Materyal

Çalışma alanı olarak belirlenen Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan 81 kod nolu, Işıklar Mezra-Kalecik Mezra adlı ve toplam tülü 5+200 km olan orman yolunun ilk 400 m'lik kısmında ölçümler alınmıştır.

Bu ölçümlerde ilk olarak ABEM Terrameter SAS 1000 isimli elektrik özdirenç aleti, daha sonra Geometrics Smart Seis sismik aleti, son olarak da Mala Geoscience Ramac GPR yer radarı aleti kullanılmıştır.

Elektrik özdirenç aleti ile ölçümler sırasında bir alıcı ve verici seti, izole edilmiş yeteri uzunlukta kablo, akım kaynağı ve bir çift akım elektrotu ile bir çift potansiyel elektrotu kullanılmıştır. Özdirenç ölçümlerinin ters çözümü Res2dinv programı ile yapılmıştır. Kullanılan Res2dinv ters çözüm programı, bir yarı-gösterim (semi-demo) programıdır.

Arazide kullanılan Geometrics Smart Seis sismik aleti, sığ kırılmaları ile iki ve üç boyutlu yansımaları planlamak için yüksek ayrımlılığa sahip sismik kazanım özelliği olan esnek bir sistem olup 12 kanallıdır.

Arazide kullanılan Mala Geoscience Ramac GPR yer radarı aleti genel olarak, radar kontrol birimi, laptop ve laptop tutucu, anten ve anten tutucular, güç kaynağı, fiber optik kablolar, iletişim kabloları ve tetikleme aletlerinden oluşmaktadır. Yer radarı aleti ile veri toplamak için veri toplama programı olan Ground Vision programı kullanılmıştır.

Bunlara ilaveten orman yolu yapım alanına ait yol şebeke planı ve haritaları, ölçümlerde çelik şerit metre ile yapılan çalışmaların görüntülenmesinde fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

2.2.1. Araştırmanın Yapıldığı Alan

Araştırmanın yapıldığı alan, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü, Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalmaktadır.

Araştırma alanı Trabzon G42-b2 ve b3 nolu paftalar içerisinde yer almaktadır. Düzköy Orman İşletme Şefliği tarafından yapılan ve araştırma alanı olarak seçilen orman yolu %5 eğimde yer almakta ve yol güzergahı boyunca Kayın (Kn)-Gökmar (Gn)-Kızılağaç (Kz) meşcere tipleri bulunmaktadır. Çalışma yapılan kısımdaki yol eğimi % 5, arazi eğimi ise %30 dur. Çalışma alanı güney bakıda yer almakta olup ortalama yükseltisi 1200 m'dir. Çalışma alanındaki mevcut ve planlanan yolların yol yoğunluğu 11,6 m/ha' dır.

Orman yol ağı planı tadilat raporuna göre planlanan yolun işletmeye açtığı ormanlık alanda 700 m³ bakım etası alınmış ve 450 m³ damga yapılmıştır. Ayrıca tadilat raporuna göre yolun toplam inşaat maliyeti 2007 yılı için 200 000 YTL olarak belirlenmiştir.

Doğu Karadeniz Bölgesinde dağlık bir arazide bulunan ve çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Trabzon ili, genelde kışları ılık yazları nispeten sıcak, her mevsimi yağışlı bir iklim karakterine sahiptir. Trabzon ilinin yağışlı olmasının nedeni dağların denize paralel olarak sıralanması ve bunun sonucunda denizden gelen nemli havanın dağlara tırmanarak topoğrafik yağışlar oluşturmasıdır.

Bölgede gece-gündüz sıcaklık farkları oldukça düşüktür. Tipik Karadeniz ikliminin yaşandığı alanda yıllık ortalama sıcaklık 14 derecedir. En sıcak ay Ağustos ayı olup 38 derece, en soğuk ay ise 5 derece ile Şubat ayıdır. Trabzon merkezinde yıllık ortalama nisbi nem %76'dır. Nisbi nemin en yüksek olduğu ay %81 oranı ile Mayıs ayıdır. Yıllık ortalama

yağış miktarı 807,3 mm olarak hesaplanmıştır. Bölgede yağışlar genellikle yağmur şeklinde düşmesine karşın Ocak ve Şubat aylarında kar yağışı olabilmektedir. Gece-gündüz sıcaklık farkının düşük olmasından dolayı, don olayı yok denecek kadar azdır.

Çalışma alanı Türkiye'nin üç büyük flora bölgesinden biri olan Avrupa-Sibirya flora bölgesinin Öksin (Euxin) kesiminde yer almaktadır (Anşin, 1983; Atalay, 1994). Ağaç türleri olarak 1200 m yüksekliğe kadar kızılbaş, kavak, kayın, karaağaç, kestane, kiraz, gürgen ve ceviz bulunur. Eğrelti otu, ısırgan, yonca, orman gülü, asma ve benzeri bitki türleri de yaygındır.

Çalışma alanı genel olarak % 30-35 arasında bir eğime sahiptir. Çalışma alanının güney kesimlerine doğru gidildikçe eğimin arttığı gözlenmektedir.

2.2.2. Jeolojik Yapı ve Tektonik Durum

Araştırma alanı Doğu Karadeniz Tektonik Ünitesinin (Ketin, 1996) kuzeydoğusunda yer alır.

Yol güzergahı boyunca yolun kazı şevinde yapılan incelemelerde yer yer çok ayrılmış, ayrılmış ve çok sert kayalara rastlanmıştır. Ayrıca kazı şevinin yüksek olduğu kısımlarda tabakalı yapı göze çarpmaktadır. Yol güzergahı boyunca yeraltı suyundan kaynaklanan bir problemle karşılaşılmamıştır. Çalışma alanında belirli yerlerde sızıntı suları mevcuttur.

Araştırma alanında Mesozoyik ve senozoyik dönemine ait toleyitik ve kalko-alkalen kayalar izlenmiştir. Mesozoyik dönemi Liyas yaşlı volkanitlerle başlar ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatları ile devam eder. Üst kretase dönemi yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Bu aktivite asit ve bazik nitelikli periyotlarla gelişimini sürdürmüştür. Üst kretase sonlarına doğru sona eren volkanik aktivite Paleosen sonlarına kadar yerini türbiditik çökellere bırakır (Ketin, 1996).

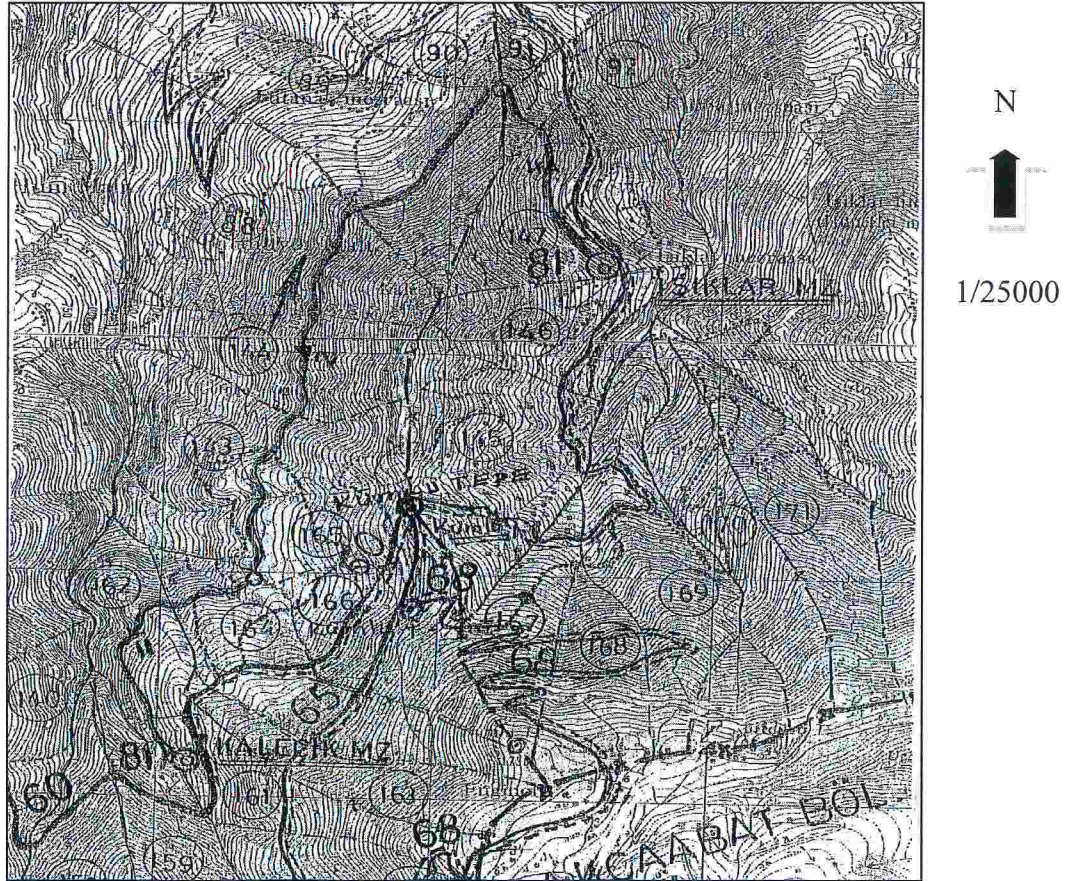
Liyas'ta başlayarak üst Kretase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren volkanik faaliyet denizaltı volkanizması şeklinde olup çökel ara katkılarıyla birlikte istiflenme gösterirler. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları izlenir. Paleosen sonlarında orojenik faaliyetlerle birlikte büyük ölçüde Granitoid yerleşimi gelişmiştir (Kaçkar Granitoidi I). Eosen döneminde ise yeniden hareketlenen volkanizma etkin bir şekilde devam eder. Denizaltı ortamında yayılma nedeni ile volkana-tortul bir istif yapısı gelişmiştir. Granitoid yerleşimi Eosen döneminde de devam etmiştir (Kaçkar Granitoidi

II). Pliyosen'de görülen genç volkanizma, andezitik breşler, volkanik çakıl taşları, horbnlendli-ojitli, andezit ve bazaltlardan oluşan dördüncü volkanik seriyi vermiştir (Ketin, 1996).

2.2.3. 81 Kod Nolu Orman Yolunun Durumu

Araştırma alanı olarak belirlenen Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan 81 kod nolu orman yolu B tipi tali orman yolları standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Araştırma yapılan yol %5-6 eğim gruplarında yer almaktadır ve 5200 m uzunluğundadır.

Yol güzergahı Kn-Gn-Kz karışık meşceresi içerisinde yer almaktadır. Orman yol ağı planı yenileme haritasında görüldüğü üzere 81 kod nolu orman yolu 88, 89, 90, 91, 92, 93, 144, 145, 146 ve 147 no'lu bölmeleri işletmeye açmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. Orman yol ağı planı yenileme haritasında 81 kod nolu orman yolu

2.2.4. Kullanılan Aletler, Programlar ve Diğer Malzemeler

Arazide yapılan ölçümlerde üç adet jeofizik alet kullanılmıştır. Bunlar sırası ile;

- Elektrik özdirenç aleti (ABEM Terrameter SAS 1000)
- Sismik alet (Geometrics Smart Seis)
- Yer radarı (Mala Geoscience Ramac GPR)

Arazide elektrik özdirenç aleti ile birlikte; elektrotlar, kablolar, şerit metre ve akü kullanılmıştır. Elektrik özdirenç aleti ile arazide elde edilen veriler Res2dinv ters çözüm programı ile bilgisayarda yorumlanmıştır. Arazide kullanılan ABEM Terrameter SAS 1000 elektrik özdirenç aleti Şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17. Arazide kullanılan Abem Terrameter Sas 1000 elektrik özdirenç aleti

Arazide sismik alet ile birlikte; jeofon, kablo, titreşim oluşturmak için balyoz, şerit metre, akü ve sismik alete bağlı klavye kullanılmıştır. Arazide kullanılan Geometrics Smart Seis Sismik aleti Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Arazide kullanılan Geometrics Smart Seis sismik aleti

Arazide yer radarı aleti ile birlikte; dizüstü bilgisayar, kablo, makara, şerit metre, alıcı ve verici antenler kullanılmıştır. Yer radarı aleti ile arazide elde edilen veriler Ramac Ground Vision programı ile bilgisayarda yorumlanmıştır. Arazide kullanılan yer radarı aleti Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Arazide kullanılan Mala Geoscience Ramac GPR yer radarı aleti

En basit şekliyle Ramac GPR sistemi genel olarak bir dış bilgisayar, bir radar kontrol birimi, bir verici anten ve bir alıcı antenden oluşur. Radar paralel iletişim kablolu bir bilgisayara ve optik kablolu bir alıcı antenle bir verici antene bağlanır. GPR sisteminde verici anten ile yere çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalga gönderilir. Bu dalga yeraltında bulunan herhangi bir nesneden yansiyarak alıcı antende bu sinyal algılanır ve kontrol birimine iletilir. Bu sinyal bilgisayar ekranında veri olarak görüntülenebilir. Daha sonra elde edilen tüm veriler gerekli veri işlem aşamalarına tabi tutularak yorumlanabilmektedir.

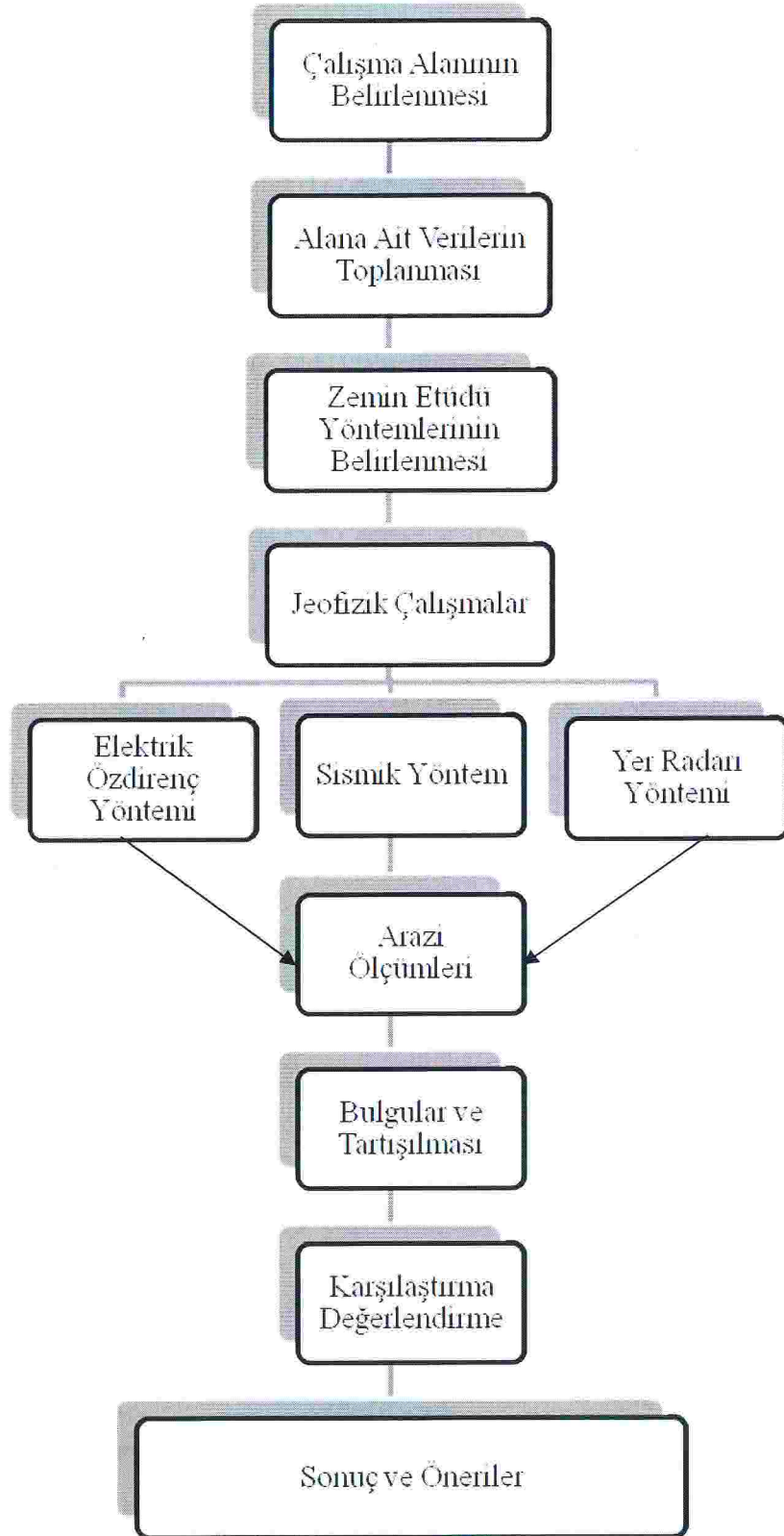
Kontrol ünitesi sistemin kalbidir. Radar, sinyal üretimini ve daha sonra bir zaman fonksiyonu olarak gelen sinyalleri kontrol eder. Sistemin verici antenini içine alan elektronik bileşeni çok kısa bir süre yüksek voltajda sinyal üretir. Verici anten bu sinyalin yer içinde yayılmasını sağlar. Verici elektroniği ve verici anten çifti yayılan sinyalin frekansını ve şeklini belirler. Alıcı elektroniği ve alıcı anten, verici elektroniği ve anteni özelliklerine göre tanımlıdır. Yer içinden yansımış veya saçılmış sinyal anten aracılığı ile alıcı elektroniğine ulaştırılır. Burada amaç; zamanın bir fonksiyonu olarak gelen sinyalin genliğini ölçmektir. Kayıt ünitesi alıcı ünitesinden gelen sinyali kaydeder. Gösterim ünitesi her bir kayıt noktasında elde edilen sinyalin kayıt ekranında görüntülenmesini sağlar.

2.3. Yöntem

2.3.1. Araştırmanın Planlanması

Araştırmada öncelikle planlama yapılarak çalışmanın akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 20). Buna göre; çalışma alanının belirlenmesinden sonra alana ait veriler toplanmıştır. Seçilen orman yolu üzerinde üç adet jeofizik yöntem uygulanarak güzergahtaki morfolojik durumu en iyi yansıtan yöntem ile avantaj-dezavantajları mevcut şev durumu da dikkate alınarak karşılıklı değerlendirilmiştir. Buna göre sonuç ve öneriler elde edilmiştir (Şekil 20).

Çalışma alanında, orman yolu güzergahı boyunca elektrik özdirenç yöntemi, sismik kırılma yöntemi ve yer radarı yöntemi ile zemin etütleri yapılarak zeminin yapısına ait bilgi ve parametreler elde edilmiştir.



Şekil 20. Çalışmanın akış şeması

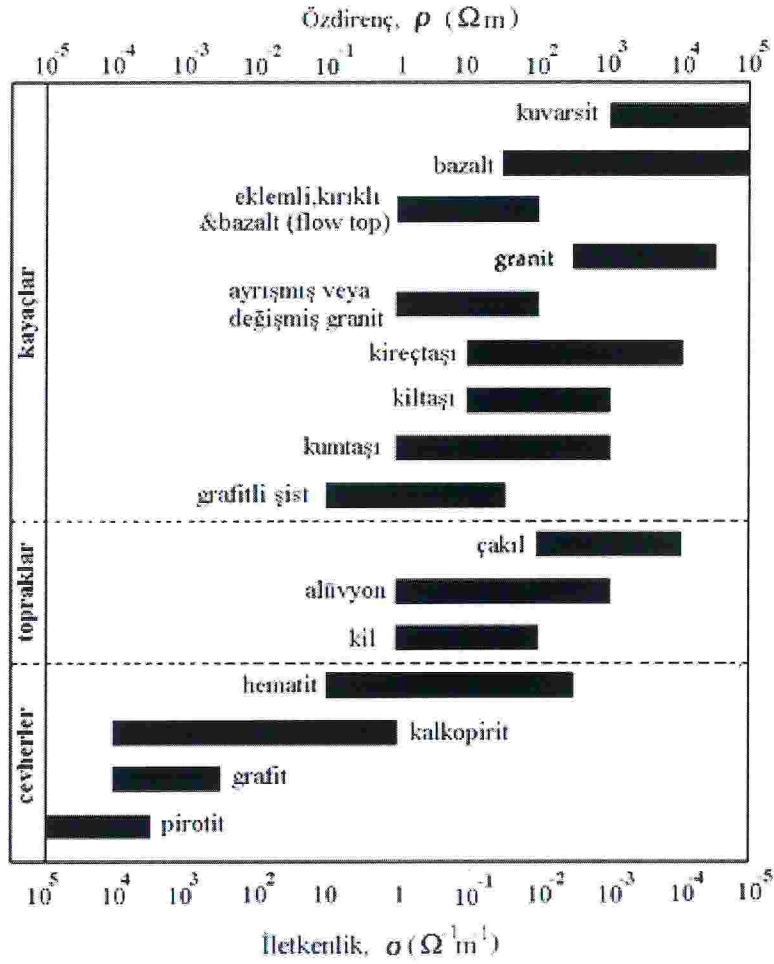
2.3.2. Çalışma Alanında Kullanılan Elektrik Özdirenç Yöntemi

Çalışma alanında ABEM Terrameter SAS 1000 elektrik özdirenç aleti ile Düzköy Orman İşletme Şefliği yol şebeke planına göre 81 kod nolu orman yolunun ilk 400 m'lik kısmında ve yol güzergahının 10 m üzerinden yola paralel olacak şekilde 100 m boyunca ayrı ayrı zemin etütleri yapılmıştır.

Arazide uygulama şekillerine göre elektrik özdirenç ölçümleri iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar açma yöntemi (elektrik sondaj) ve kaydırma (elektrik profil) yöntemi olarak uygulanmaktadır.

Çalışma alanında yol güzergahı boyunca kaydırma yöntemi uygulanmıştır. Elektrot aralıkları sabit tutularak ve elektrotlar arası orta nokta bir profil boyunca kaydırılarak ölçümler alınmıştır.

Bu yöntemde amaç, yeraltı yapısını farklı jeolojik birimlerin farklı özdirençlere sahip olmalarından yararlanarak belirlemektir. Şekil 21'de görüldüğü gibi jeolojik birimlerin özdirenç değerleri bir çok nedenden dolayı geniş aralıklarda olmaktadır. Bu yorumlamayı zorlaştırırsa da jeolojik birimlerde detaylı özdirenç dağılımını ortaya koyması açısından da avantaj sağlar.



Şekil 21. Çeşitli jeolojik birimlerin özdirenç/iletkenlik aralıkları (Lowrie, 2007).

2.3.2.1. Yol Güzergahı Boyunca Yapılan Ölçümler

Yol güzergahının ilk 400 m'lik kısmında Wenner dizilimi uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Wenner diziliminde elektrotlar arası 10 m alınarak kaydırma yöntemi ile yolun 400 m'lik kısmındaki özdirenç değerleri hesaplanmıştır (Şekil 22).

Yol güzergahı boyunca çakılan elektrotlar ile yere akım uygulanarak diğer noktadaki elektrotlar arasındaki gerilim farkları ölçülmüştür. Ölçülen gerilim farkları yorumlanmak için özdirence dönüştürülmüştür. Ölçümler sonucunda elde edilen gerilim farklarını görünür özdirence çevirmek için şu bağıntı kullanılmıştır;

$$\rho_a = k \cdot (\Delta V / I) \quad (8)$$

I: Yere uygulanan akım

k: Elektrotların konumuna bağlı geometrik faktör

ΔV : Ölçülen gerilim farkıdır.

Bu yöntem ile amaçlanan yeraltındaki farklı jeolojik birimleri, farklı özdirençlere sahip olmalarından yararlanarak belirlemektir.



Şekil 22. Yol güzergahı boyunca yapılan elektrik özdirenç ölçümü

2.3.2.2. Yol Güzergahının Üzerindeki Yamaçta Yapılan Ölçümler

81 kod nolu orman yol güzergahının 10m üzerinden ve yol güzergahına paralel şekilde elektrik özdirenç aleti ile 100 m boyunca zemin etüdü yapılarak zemine ait özdirenç değerleri ortaya konulmuştur. Ölçüm sırasında Wenner dizilimi kullanılarak elektrotlar arası 5'er metre alınmıştır. Çalışma alanında yol güzergahına paralel şekilde kaydırma yöntemi uygulanarak ölçümler yapılmış ve görünür özdirenç değerleri belirlenmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. Yol güzergahının 10 m üzerinden yapılan elektrik özdirenç ölçümü

2.3.3. Sismik Kırılma Yöntemi ile Elde Edilen Dinamik ve Statik Parametreler

Araştırma alanında bir adet sismik kırılma etüdü yapılarak zemine ait statik ve dinamik parametreler elde edilmiştir. Bu amaçla arazide yol eksenine 10 m mesafede kazı şevi tarafında yola paralel şekilde jeofizik sismik kırılma yöntemi uygulanarak sismik ölçümler alınmıştır. Ölçümlerde 39 metre açılım yapılarak ortalama 16 metre derinlik incelenmiştir (Şekil 24).

Huygens prensibine göre ara yüzeye (tabaka sınırı) gelen dalga ara yüzey boyunca her bir nokta yeni bir yarı küresel elastik dalga merkezi olur. Bu dalga P dalgası yayılımı için V_p hızıyla ve S dalgası için V_s hızıyla ortam içinde hareket ederler. Burada arazi uygulamalarında P ve S dalga hızlarının sismik kırılma yöntemiyle tespit edilerek alana ait tabakaların elastik parametreleri hakkında bilgi edinilmesi yoluna gidilmiştir.



Şekil 24. Çalışma alanında sismik alet ile yapılan zemin etüdü çalışması

Çalışma alanında yol güzergahı boyunca P ve S dalgası hızlarını tespit etmek için iki adet profilde karşılıklı atış yapılmış, atışların zaman uzaklık (x-t) grafiği çizilmiştir. Çizilen doğrulardan tabaka hızları hesaplanmış ve bu hızlardan zemine ait elastik parametreler bulunmuştur.

Arazide Geometrics Smart Seis sismik aleti ile yapılan ölçümlerde elde edilen dinamik ve statik parametreler şunlardır:

- Sismik P dalgası (Boyuna dalga hızı (V_p))
- Sismik S dalgası (Kayma veya kesme dalgası (V_s))
- Elastisite modülü (E , kg/cm^2)
- Kayma (Shear) modülü (μ , kg/cm^2)
- Bulk (Sıkışmazlık) modülü (K , kg/cm^2)
- Poisson oranı; (ν)
- Yoğunluk: ρ (gr/cm^3)
- Zemin hakim titreşim periyodu (T_0 , sn)
- Zemin taşıma gücü (kg/cm^2)

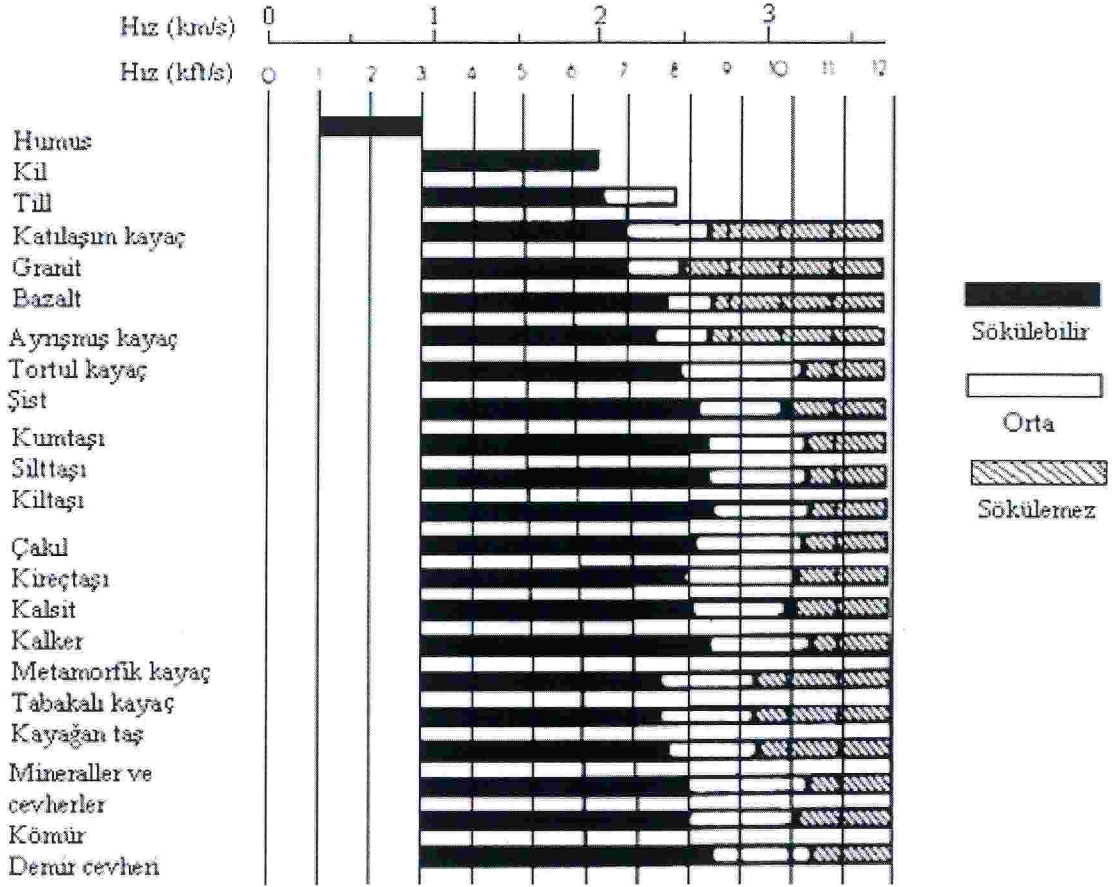
2.3.3.1. Sismik P Dalgası (Boyuna Dalga Hızı)

Bu tür dalgalar, sıkışma veya ilk dalgalar olarak adlandırılırlar. Bu dalgaların yayınımlı sırasında sıkışmadan dolayı kübik genişleme veya hacim değişikliği olur. Boyuna dalgalarda sıkışma ve genişlemeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayınımlı doğrultusuyla aynıdır. Dolayısıyla sıkışabilir (gevşek) zeminlerde P dalgası hızı düşük, sıkışması zor zeminlerde (kaya) P dalgası hızı yüksek çıkacaktır.

Tablo 2. P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaların sökülebilirlikleri (Bilgin 1989)

P dalgası hızı (m/sn)	Sökülebilirlik
300-600	Çok kolay
600-900	Kolay
900-1500	Orta
1500-2100	Zor
2100-2400	Çok zor
2400-2700	Son derece zor

P dalgası hız değerlerine göre çeşitli jeolojik birimlerin sökülebilirlikleri Şekil 25'de gösterilmiştir. Burada P-dalga hızlarına ilişkin bir buldozer ile kayaların sökülebilirlikleri verilmektedir. Sismik kırılma yöntemi ile elde edilen bu tabloya göre 2000 m/s'den az hıza sahip kayalar buldozer ile sökülebilir. Bu değer üstündeki kayalarda patlatıcılar kullanılır.



Şekil 25. Çeşitli jeolojik birimlerin sökülebilirlik değerleri (Sharma, 1997).

2.3.3.2. Sismik S Dalgası (Kayma veya Kesme Dalgası)

Kayma dalgalarının yayılımı sırasında elemanlarda şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni de dalga yayılımında parçacıkların titreşim doğrultusunun dalga yayılım doğrultusuna dik olmasındandır. Kayma dalgası hızları, malzemenin şekil bozunumuna veya burulmaya karşı direnci varsa meydana gelmektedir. Suda S dalgası hızının sıfır olmasının nedeni de suyun burulmaya ve şekil değiştirmeye karşı direncinin olmaması ve kesilebilmesi özelliğindedir. Normalde P dalgası ile S dalgası birlikte artıp birlikte azalmaya eğilimi gösterirler. Ancak suda P dalgası 1500 m/sn civarında bir değer alırken S dalgası hızı sıfırdır. Çünkü suyun sıkışma özelliği olmadığından P dalga hızı yüksek, suda S dalgası hızının sıfır olması ise suyun burulmaya ve şekil değiştirmeye karşı direncinin olmaması ile kesilebilmesi özelliğindedir.

Tablo 3. S (kayma veya kesme) dalga hızlarına göre kaya ve zeminlerin sınıflandırılması (Keçeli, 1990)

Kayma dalgası hızı (m/sn)	Yerel birim türü	Zemin grubu
<200	Yumuşak kil, siltli kil	D
<200	Gevşek kum	D
<200	Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu yumuşak- suya doymuş kalın alüvyonlu katmanlar	D
200-300	Katı kil –siltli kil	C
200-400	Orta sıkı kum, çakıl	C
400-700	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	C
300-700	Çok katı kil, siltli kil	B
400-700	Çok katı kum, çakıl	B
700-1000	Tüf ve anglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortullu kayalar	B
>700	Sert kil siltli kil	A
>700	Çok sıkı kum, çakıl	A
>1000	Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert ve çimentolu tortul kayalar	A

2.3.3.3. Elastisite Modülü

Bir doğrultuda streslerin (gerilmelerin), strainlere (deformasyonlara) oranı olarak tanımlanıp, birimi kg/cm^2 'dir. Başka bir deyişle uygulanan düşey basınç yönünde yerin düşey yamulmasını tanımlar. Elastisite modülü değerlerine göre zemin yada kayaların dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 4. Elastisite modülü değerlerine göre zemin yada kayaların dayanımı (Keçeli, 1990).

Elastisite Modülü - E- kg/cm ²	Dayanım
<1000	Çok zayıf
1000-5000	Zayıf
5000-10000	Orta
10000-30000	Sağlam
>30000	Çok sağlam

2.3.3.4. Kayma (Shear) Modülü

Makaslama gerilmelerine yani yatay kuvvetlere karşı formasyonun direncini gösterip, birimi kg/cm²'dir. Sıvıların makaslama karşı direnci olmadığından bu parametre sıfırdır. Kayma modülü ne kadar yüksekse, formasyonun makaslama gerilmelerine yani yatay kuvvetlere (yatay deprem yükü) karşı direnci o kadar fazla demektir.

Kayma modülü şu şekilde hesaplanır;

$$\mu = p * V_s^2 \quad (9)$$

Burada p şu şekilde hesaplanır;

$$p = \gamma_n / g \quad (10)$$

Burada; p=yoğunluk, γ_n = doğal (toplam) birim hacim ağırlık, g= yerçekimi ivmesi (9,8m/sn²)dir.

Tablo 5. Kayma modülü değerlerine göre zemin yada kayaların dayanımı (Keçeli, 1990).

Kayma (Shear) Modülü (kg/cm ²)	Dayanım
<400	Çok zayıf
400-1500	Zayıf
1500-3000	Orta
3000-10000	Sağlam
>10000	Çok sağlam

2.3.3.5. Bulk (Sıkışmazlık) Modülü

Bulk Modülü, bir çepçevre saran basınç altında sıkışmanın ölçüsü olup, birimi kg/cm^2 'dir. Dalga teorisinden elde edilir.

Tablo 6. Bulk modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Bulk Modülü (m, kg/cm^2)	Sıkışma
<400	Çok Az
400-10000	Az
10000-40000	Orta
40000-100000	Yüksek
>1000000	Çok yüksek

2.3.3.6. Poisson Oranı

Formasyonun enine birim değişmesinin boyuna birim değişmesine oranı olarak tanımlanır. Bu oran, gözeneksiz ortamlarda 0-0,25 arası, orta dereceli gözenekli ortamlarda 0,25-0,35 arası ve gözenekli ortamlarda ise 0,35-0,50 arasında değişmektedir. Poisson oranı birimlerin katılığını bir başka ifadeyle gözenekliliğini ifade etmektedir ve birimsizdir.

$$P = (V_p^2 - 2*V_s^2) / (2*V_p^2 - 2V_s^2) \quad (11)$$

Tablo 7. Poisson sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması

Poisson Oranı	Sıklık	V_p/V_s
0,5	Cıvık- sıvı	∞
0,4-0,49	Çok gevşek	∞ -2,49
0,3-0,39	Gevşek	2,49-1,87
0,2-0,29	Sıkı katı	1,87-1,71
0,1-0,19	Katı	1,71-1,5
0-0,09	Sağlam kaya	1,5-1,41

2.3.3.7. Yoğunluk

Boyuna dalga hızına göre amprik olarak Telford (1976) tarafından verilen yoğunluk aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$P=d=0,31 V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (12)$$

V_p = Boyuna dalga hızı

Tablo 8. Zemin birimlerinin yoğunluk sınıflaması (Keçeli, 1990)

Yoğunluk: p (gr/cm ³)	Tanımlama
<1,20	Çok düşük
1,20-1,40	Düşük
1,40-1,90	Orta
1,90-2,20	Yüksek
>2,20	Çok yüksek

2.3.3.8. Zemin Hakim Titreşim Periyodu

Zeminin doğal olarak titreştiği periyodudur. Periyot, doğal yada yapay etkenlerden oluşmuş, periyodu 0,05-2 saniye arasında olan yer titreşimleridir. Belli bir alanda, belli bir periyodun tekrarlanma sayısı maksimum olmaktadır. Maksimum tekrarlı olan periyot, hakim periyot olarak tanımlanmaktadır.

2.3.3.9. Zemin Taşıma Gücü

Zeminin 1 cm² sinin taşıyabileceği son taşıma gücünü gösterir.

$$Q_s=Q_u/G_k \quad (13)$$

G_k güvenlik faktörü 3 olarak alınmıştır.

$$d=0.31 * V_p^{0.25} \quad (14)$$

$$q_{s\text{mir}}=dV_s / 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (15)$$

$$q_{em}= dV_s^2/100V_p \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (16)$$

Formüldeki semboller; V_p : Boyuna dalga hızı, V_s : Kayma dalgası

2.3.4. Çalışma Alanında Kullanılan Yer Radarı Yöntemi

Çalışma alanında Mala Geoscience Ramac GPR yer radarı aleti ile yol güzergahı doğrultusundaki yüz metrelik kısımda yola paralel şekilde 10 m yukarıda ölçümler yapılmıştır. Yer radarı verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtcıdan oluşmaktadır. Verici antenin ürettiği elektromanyetik dalgalar yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkarlar ve yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtcı yardımı ile zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilir. Buna radar izi adı verilir.

Çalışma alanında yol güzergahında bir profil boyunca sabit açıklık tekniği kullanılarak yer radarı ile ölçümler alınmıştır. Sabit açıklık profilinde anten aralığı sabit tutularak alıcı ve verici antenler hat boyunca aralıklarla ilerletilmiş ve her bir durakta ölçümler alınmıştır. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek radagram adı verilen radar kesitleri elde edilmiştir.

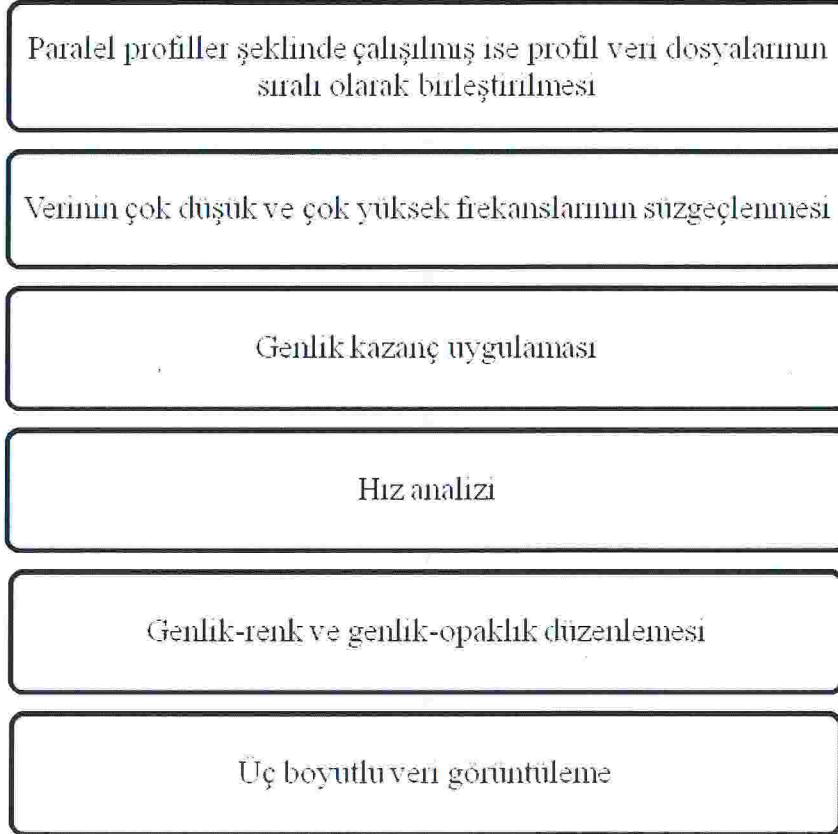
Yer radarında kaynak olarak yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılmıştır. Kullanılan frekans değeri arttıkça araştırma derinliği azalmaktadır. Araştırma derinliği frekansa ve ortamın iletkenliğine bağlıdır. Araştırma derinliği azaldıkça kullanılan frekans değeri artmaktadır. Bu çalışmada 100 MHz antenler kullanılarak yaklaşık 4-5 m derinliğe nüfuz edilmiştir.



Şekil 26. Yol güzergahı boyunca 10 m yukarıdan yapılan yer radarı ölçümü

2.3.4.1. Yer Radarı Verilerine Uygulanan Temel Veri-İşlem Aşamaları

Çalışma alanında yer radarı yöntemi ile elde edilen veriler daha sonra temel veri işlem aşamalarından geçirilmiştir. Temel veri işlem aşamaları Şekil 27'de gösterilmiştir.



Şekil 27. Yer radarı verilerine uygulanan veri-işlem aşamaları

2.3.4.2. Yer Radarı Aletinin Kurulması

Yer radarı aletinin kurulma aşamalarını ise şu şekildedir. Bunlar;

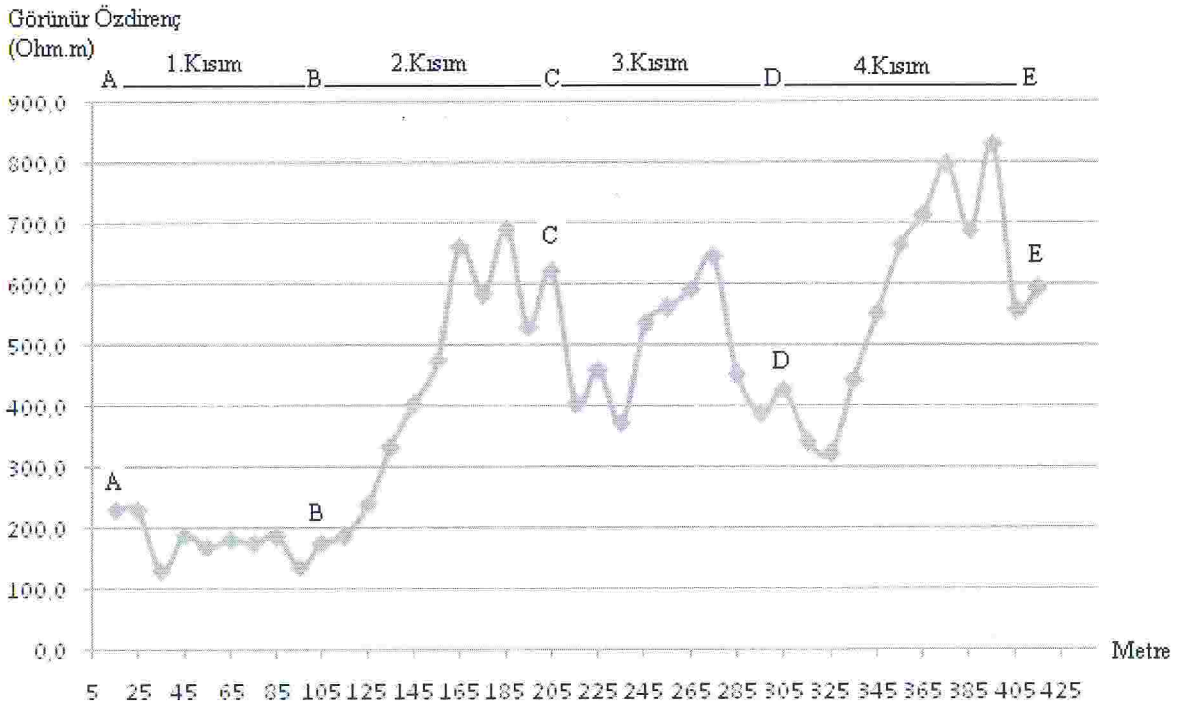
- Anten elementleri anten elektroniklerine monte edilir.
- Bilgisayar kontrol birimine bağlanır.
- Kontrol birimi ve anten elektronikleri fiber optik kablolar aracılığıyla birleştirilir.
- Ölçüm aleti uygun bir şekilde monte edilir.
- Anten elektronikleri üzerindeki güç düğmesi açılır. Bilgisayar açılır ve veri toplama programı Ground Vision başlatılır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Elektrik Özdirenç Yöntemine Ait Bulgular ve Tartışma

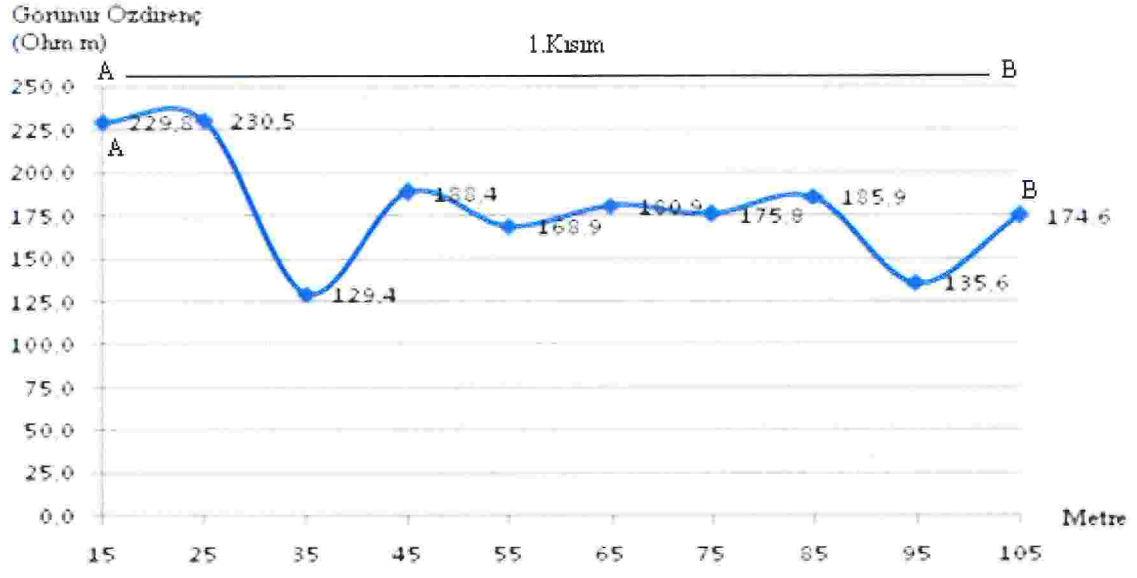
3.1.1. Yol Platformu Boyunca Yapılan Ölçümlerde Elde Edilen Bulgular

Yol platformunun ilk dört yüz metresinde elektrik özdirenç aleti ile yapılan ölçümlerde elde edilen özdirenç değerleri Şekil 28’de gösterilmiştir.

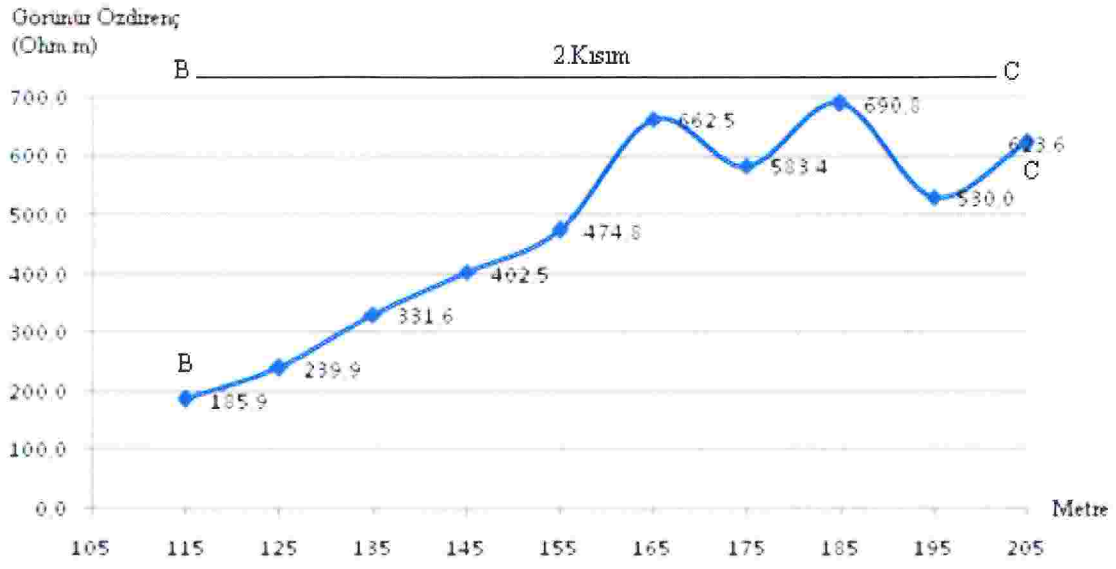


Şekil 28. Yol güzergahı boyunca gözlenen yatay özdirenç profili (Wenner dizilimi a=10 m)

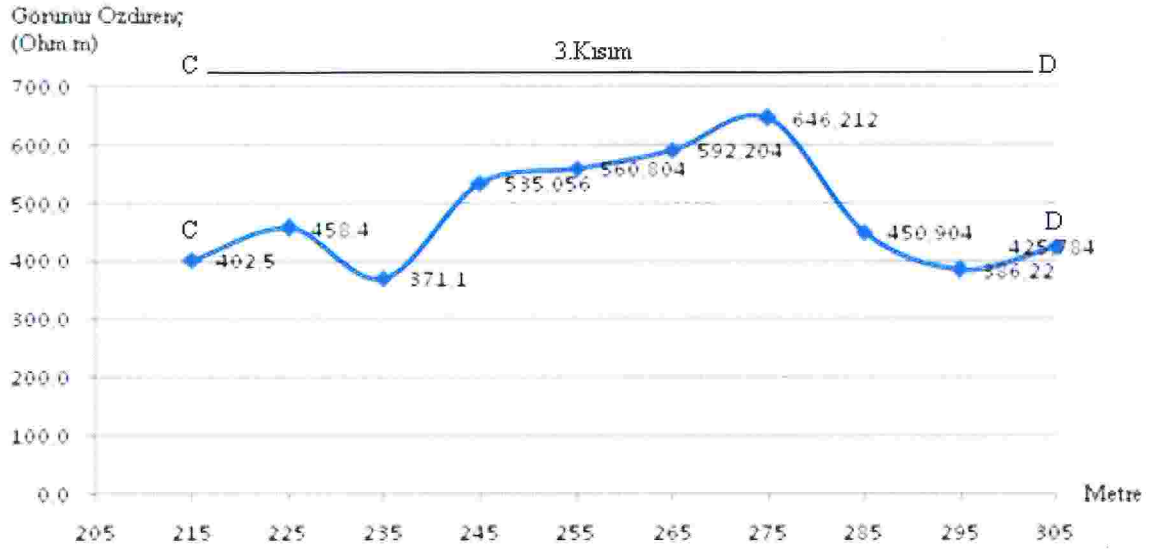
Yol güzergahı boyunca elde edilen özdirenç değerleri daha anlaşılır şekilde yorumlama yapılması amacıyla dört ayrı kısma ayrılarak arazide çekilen fotoğraflar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 28’de gösterilen A ve B noktaları arası 1. kısım, B ve C noktaları arası 2. kısım, C ve D noktaları arası 3. kısım, D ve E noktaları arası 4. kısım olarak belirlenmiştir. Bu dört kısma ait özdirenç değerleri ayrı tablolar halinde hazırlanarak arazide çekilen fotoğraflar ile karşılaştırılmıştır.



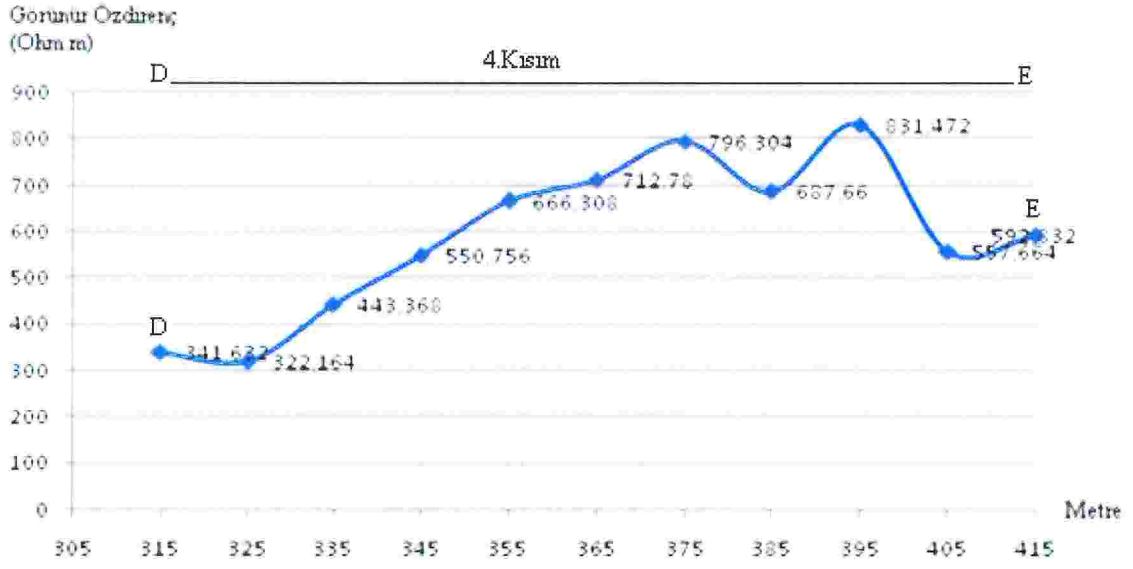
Şekil 29. Yol güzergahının 1. kısmından (0-100m) elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi



Şekil 30. Yol güzergahının 2. kısmından (105-205 m) elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi



Şekil 31. Yol güzergahının 3. kısmından (205-305 m) elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi



Şekil 32. Yol güzergahının 4. kısmından (305-415 m) elde edilen özdirenç değerleri ile arazide çekilen fotoğrafın karşılıklı gösterimi

Yapılan karşılaştırmalarda ve arazide yapılan incelemelerde özdirenç değerlerinin yüksek çıktığı noktalarda kaya, sert kaya ve çok sert kayaların

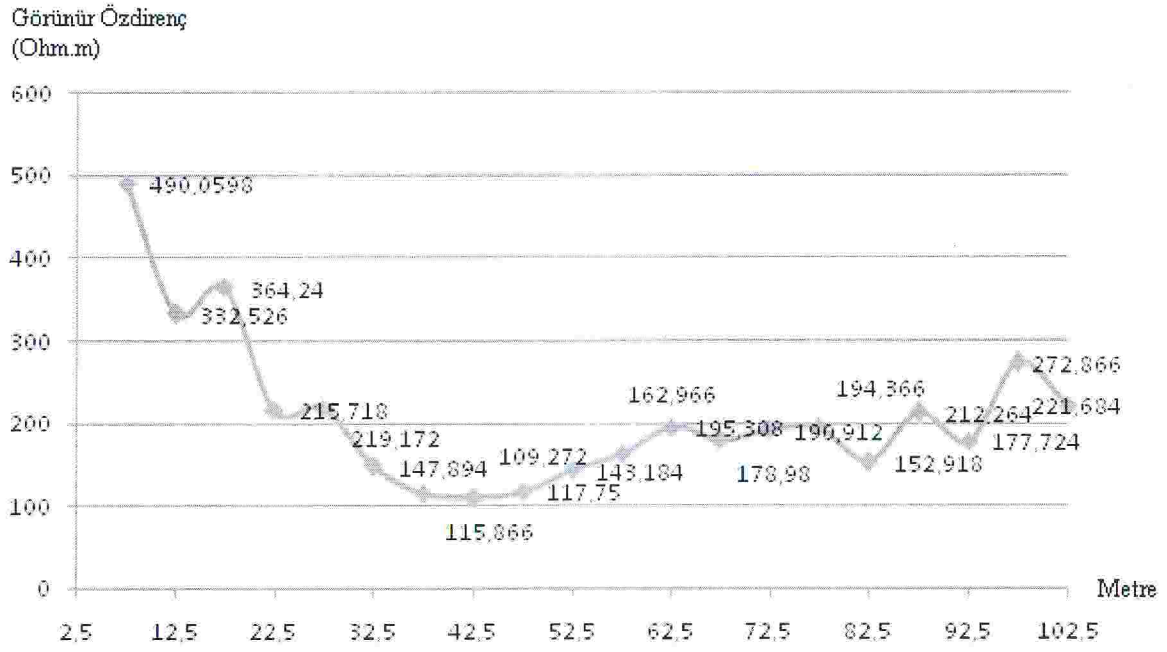
bulunduğu, özdirenç değerlerinin düşük çıktığı noktalarda ise ayrışmış kayaçların ve yamaç molozlarının bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 29, 30, 31 ve 32).

Ölçüm yapılan yol güzergahının birinci kısmına ait Şekil 29 incelendiğinde, A noktasından B noktasına doğru gidildikçe özdirenç değerlerinin dalgalı bir seyir izlediği görölmektedir. Ani artış ve azalmaların olduğu 25-45'nci metreler ile 85-105'nci metreler arasında belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Özdirenç değerlerinin yüksek olduğu kısımlarda yapılan gözlemlerde ayrışmış sağlam kayaçların bulunduğu, özdirenç değerlerinde belirgin azalmalar olan kısımlarda ise kum ve çakılların olduğu tespit edilmiştir.

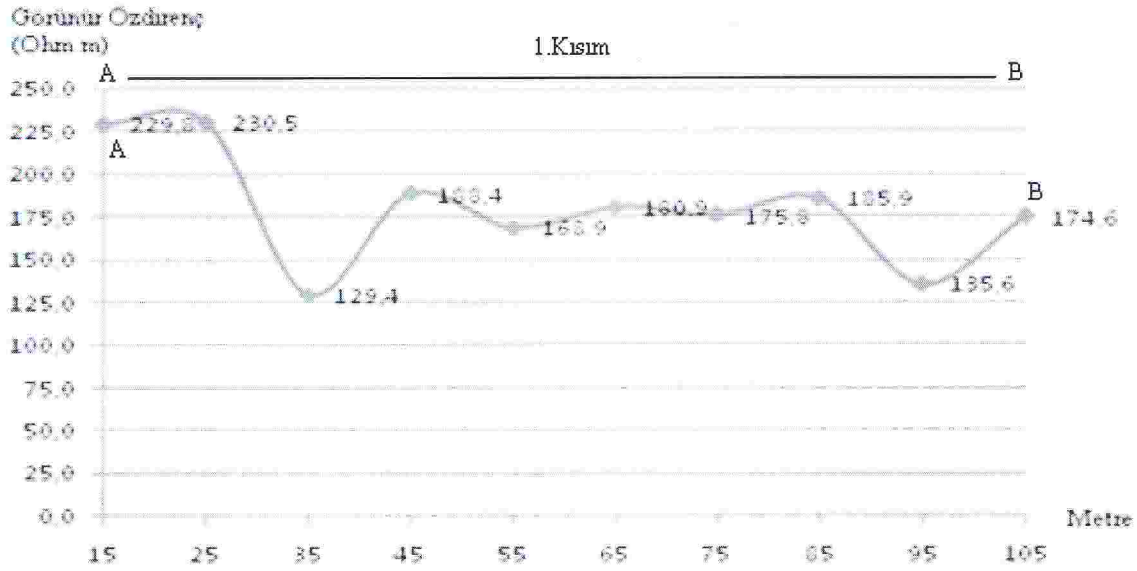
Özdirenç değerlerinin belirgin bir şekilde artış gösterdiği Şekil 30 incelendiğinde, B noktasından C noktasına doğru gidildikçe zemindeki değişimler belirgin bir şekilde görölmektedir. Güzergahın 115 ve 155' inci metreleri arası kazı şevi incelendiğinde, kazı şevinin kum ve yamaç molozundan oluştuğu, 165 ve 205' inci metreler arası ise oldukça sert kayaçlardan oluştuğu gözlenmektedir. Yol güzergahının üçüncü ve dördüncü kısımları incelendiğinde de benzer durumlar söz konusudur. Sağlam kayaçların olduğu yerlerde özdirenç değerleri yüksek, yamaç molozu ve kum olan yerlerde özdirenç değerleri düşük bulunmuştur.

3.1.2. Yol Güzergahının 10 m Üzerinden Yapılan Ölçümlerde Elde Edilen Bulgular

Orman yol güzergahının 10 m üzerinden yol güzergahına paralel şekilde 100 m boyunca elektrotlar arası mesafe beşer metre aralıklarla alınarak Wenner dizilimi ile yapılan ölçümlerde elde edilen görünür özdirenç değerleri Şekil 33'de gösterildiği gibi bulunmuştur.



Şekil 33. Orman yol güzergahının 10 m üzerinden yol güzergahına paralel şekilde 100 m boyunca yapılan ölçümlerde elde edilen görünür özdirenç değerleri.

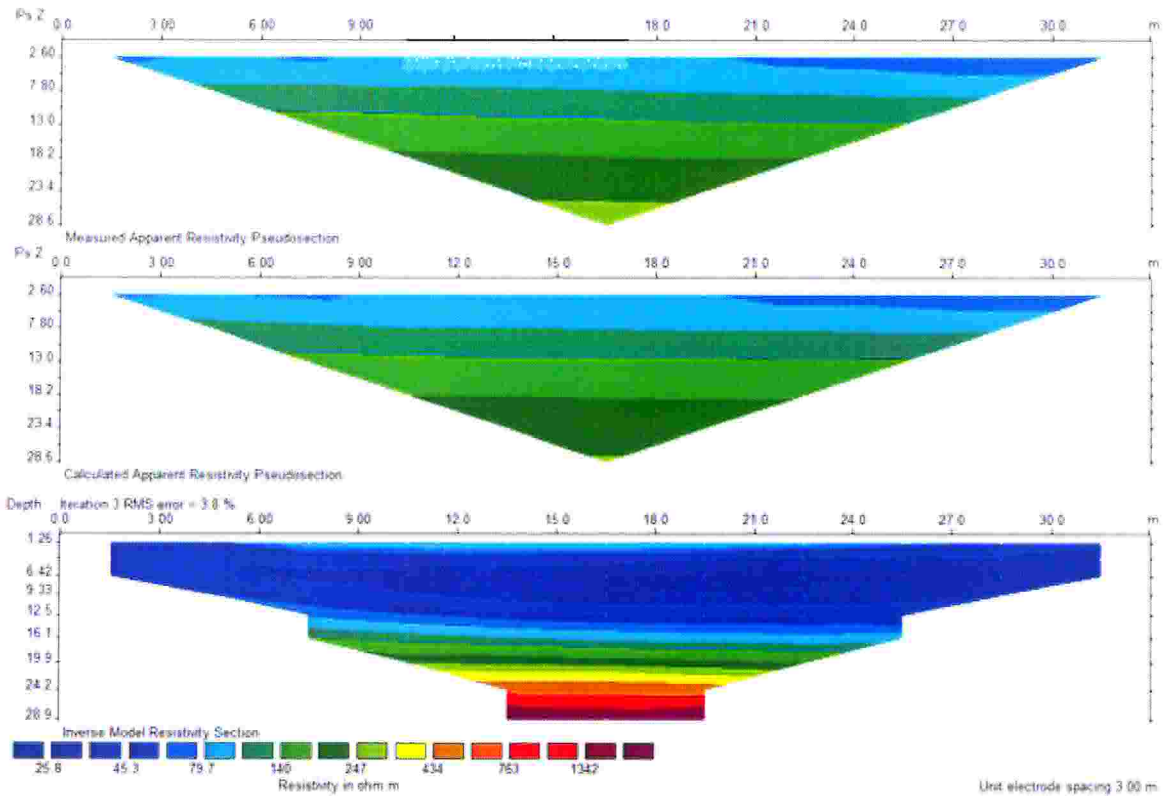


Şekil 34. Yol güzergahının 1. kısmından (0-100 m) elde edilen özdirenç değerleri

Yol güzergahı boyunca yol platformu üzerinde yapılan ölçümlerde elde edilen 1. kısma ait özdirenç değerleri ile yol güzergahının 10 m üzerinden yol güzergahına paralel şekilde 100 m boyunca yapılan ölçümlerde elde edilen özdirenç değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir (Şekil 33 ve 34).

Elektrik özdirenç yöntemi ile sabit elektrot aralığı kullanılarak yapılan bu çalışmalar yeraltı yapısı ile ilgili detaylı bilgi vermez, ancak lineer hatlar boyunca alınan ölçümlerden çok yararlı bilgiler de elde edilebilir.

Güzergah boyunca farklı açılım aralıkları ile alınan verilerin yorumlanması sonucu yeraltı yapısının detaylı gerçek özdirenç değerleri elde edilebilir. Şekil 35’de farklı bir teknikle (birleşik sondaj-profil) alınan görünür özdirenç andıran kesitinin Res2Dinv ters çözüm programı ile yorumlanmış hali görülmektedir.



Şekil 35. Çalışma alanına yakın bir yerde alınan birleşik sondaj-profil

3.2. Sismik Yönteme Ait Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında yol güzergahının 10 m üzerinden yola paralel şekilde sismik kırılma yöntemi uygulanarak elde edilen dinamik ve statik parametre sonuçları Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. Sismik yöntem ile araştırma alanından elde edilen dinamik ve statik parametreler

Parametreler		Birimi	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
Sismik P dalgası hızı	P dalga hızı	(m/sn)	774	1055	2845
	Sökülebilirlik		Kolay	Orta	Son derece zor
Sismik S dalgası	S dalga hızı	(m/sn)	479	724	1066
	Zemin grubu		C	B	A
Elastisite modülü	Elastisite modülü	(kg/cm ²)	7693	19539	72980
	Dayanım		Orta	Sağlam	Çok sağlam
Kayma modülü	Kayma modülü	(kg/cm ²)	3009	9261	25727
	Dayanım		Orta	Sağlam	Çok sağlam
Bulk modülü	Bulk modülü	(kg/cm ²)	5783	7317	148948
	Sıkışma		Az	Az	Yüksek
Poisson oranı	Poisson oranı		0,27	0,05	0,41
	Sıklık		Sıkı-katı	Sağlam kaya	Çok gevşek
Yoğunluk	Yoğunluk	(gr/cm ³)	1,64	1,77	2,26
	Tanımlama		Orta	Orta	Çok yüksek
Zemin taşıma gücü	Emniyetli taşıma gücü	(kg/cm ²)	3,89	8,78	9,04
Zemin yatak katsayısı	Zemin yatak katsayısı	(K _o)	27888	87693	178838

Araştırma alanında yapılan sismik kırılma yöntemi ile yaklaşık 16 metre derinlik incelenmiş ve tabakalı bir yapı tespit edilmiştir. Arazinin 1. tabaka kalınlığı 3-8 metre arasında ve çok ayrılmış kayaktan oluşmuş, 2. tabaka kalınlığı ise ortalama 1 metre ve ayrılmış kayaktan oluşmuş, 3. tabaka ise sağlam kaya külesinden oluşmuştur. Arazide sismik yöntem ile P dalgası hızları hesaplanarak zeminin her tabaka için sökülebilirlikleri belirlenmiştir. Sökülebilirlik 1. tabakada kolay, 2. tabakada orta, 3. tabakada ise son derece

zor olduğu belirlenmiştir. Zeminin 1 cm^2 sinin taşıyabileceği son taşıma gücü anlamına gelen zemin taşıma gücü 1. tabakada $3,89 \text{ kg/cm}^2$, 2. tabakada $8,78 \text{ kg/cm}^2$, 3. tabakada $9,04 \text{ kg/cm}^2$ olduğu belirlenmiştir.

Güzergah boyunca gerilmelerin deformasyonlara oranı olarak tanımlanan elastisite modülü değerlerine göre zemin ve kayaçların dayanımları 1. tabaka için orta, 2. tabaka için sağlam, 3. tabaka için ise çok sağlam olarak belirlenmiştir. Yatay kuvvetlere karşı formasyonun direncini gösteren kayma modülü ne kadar yüksekse, formasyonun makaslama gerilmelerine yani yatay kuvvetlere (yatay deprem yükü) karşı direnci o kadar fazla demektir. Sismik yöntem ile elde edilen kayma modülü değerlerine göre zeminlerin dayanımları 1. tabaka için orta, 2. tabaka için sağlam ve 3. tabaka için çok sağlam olduğu belirlenmiştir.

Formasyonun enine birim değişmesinin boyuna birim değişmesine oranı olarak tanımlanan poisson oranı değerlerine göre tabakaların sıkılık durumları, 1. tabaka için sıkı-katı, 2. tabaka için sağlam kaya ve 3. tabaka için çok gevşek olarak belirlenmiştir. Arazide elde edilen bulk modü değerlerine göre sıkışma özellikleri birinci ve ikinci tabaka için az, üçüncü tabaka için yüksek olduğu belirlenmiştir.

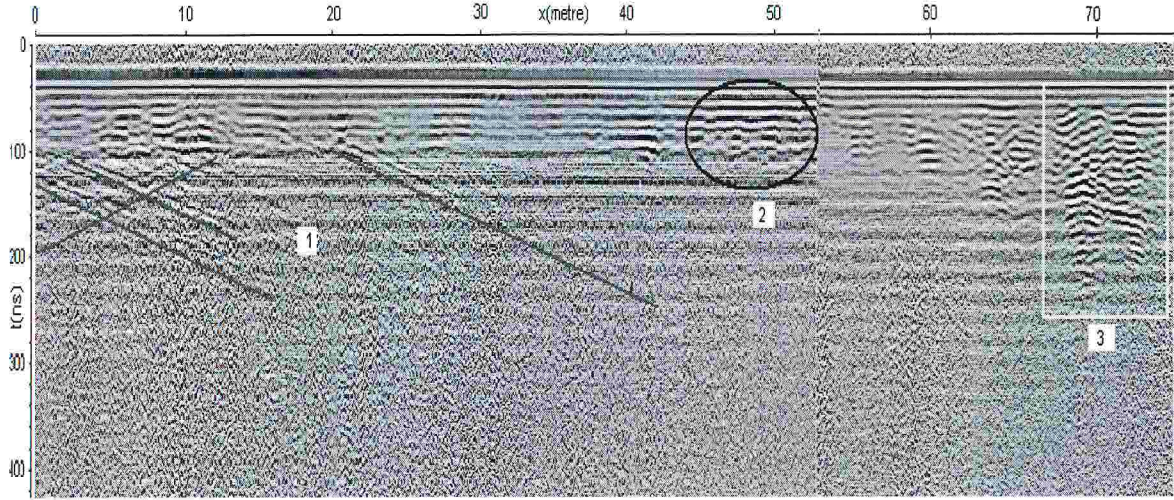
Sismik yöntem ile elde edilen araştırma alanına ait sismik S dalgası (kayma dalgası) hızlarına göre tabakaların zemin grupları belirlenmiştir. Sismik yöntem ile elde edilen kayma dalgası hızlarına göre 1. tabakanın C zemin grubunda yer aldığı, 2. tabakanın B zemin grubunda yer aldığı ve 3. tabakanın A zemin grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Yani 1. tabakanın çok katı kum ve çakıldan oluştuğu, 2. tabakanın tüf ve anglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar ile süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlardan oluştuğu, 3. tabakanın ise masif volkanik kayaçlar, ayrışmış sağlam metamorfik kayaçlar ile sert ve çimentolu tortul kayaçlardan oluştuğu belirlenmiştir.

3.3. Yer Radarı Yöntemine Ait Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında yol güzergahının 10 m üzerinden yola paralel şekilde yer radarı yöntemi için ölçüm parametreleri aşağıdaki şekilde belirlenerek ölçüm alınmıştır.

Yer radarı ölçüm parametreleri olarak; 100 MHz anten frekansı, korumasız anten tipi, 0,01 ns örnekleme aralığı, 1 m anten aralığı, 470 ns kayıt süresi, 0,03 feet ölçüm aralığı, 0,12 m/ns hız alınmıştır.

Yer radarı aleti ile çalışma alanında yapılan ölçümlerde elde edilen veriler Ramac Groundvision ve Reflex programları kullanılarak çalışma alanına ait iki boyutlu yeraltı kesiti elde edilmiştir.



Şekil 36. Yer radarı yöntemi ile elde edilen çalışma alanına ait iki boyutlu yeraltı kesiti

Yukarıda belirtilen ölçüm parametrelerine göre en fazla 6 m derinliğe inilebilmiş ve 0,5 m düşey çözünürlüğe sahip olunmuştur. Şekil 35'deki yeraltı kesitinde 100 ns (6 metre)' den aşağı kısımlardan bilgi alınamamıştır. Bunun nedeni uygulama alanının yer radarı yöntemine tam olarak uygun olmamasıdır. 120 ns'de (7,2metre) 20 ve 50 metre arasında belirgin yansıma gözlemlenmekte ve tabaka sınırını vermektedir. Sonuç olarak tam anlamıyla belirgin bir tabaka sınırlaması yapılamamaktadır. Yer radarı, ayrılmış ve su ihtiva eden ortamlarda etkinlik gösterememektedir.

Çalışma alanına ait iki boyutlu yeraltı kesitinde 1, 2 ve 3 ile gösterilen kısımlarda oluşan farklılıkların nedenleri;

1. Sabit bir yapının etkisi; uygulama alanında orijin (ölçüm başlangıcı) noktasında bulunan ağaçların etkisi,

2. Boşluk etkisi; profil üzerinde karşılaşılan yaklaşık $20 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$ 'lük (daha önce sismik çalışma için açılmış olan s çukuru) boşluğun etkisi,

3. Ölçüm hatası; ölçüm elemanlarının profil sonundaki metalik eşyalarından kaynaklanan hatalardır.

3.4. Kullanılan Jeofizik Yöntem Sonuçlarının Birbirleri ile Karşılaştırılması

Dağlık ve ağaçlarla kaplı bir araziye sahip çalışma alanında, üç farklı jeofizik yöntemin uygulanması sırasında çeşitli kolaylıklar ve zorluklarla karşılaşılmıştır.

Elektrik özdirenç aleti ile yapılan ölçümlerde kullanılan dört ayrı makara kablosu ormanlık arazide ağaç ve çalılara dolaşmakta ve bu durum zaman kaybına yol açmaktadır. Ayrıca her bir makara için bir işçi gerekmektedir. Ölçüm alan kişi ile birlikte elektrik özdirenç yönteminde ölçümlerin seri bir şekilde yapılabilmesi için en az beş kişi gerekli olup bu durum maliyetleri önemli ölçüde arttırmaktadır.

Elektrik özdirenç yöntemiyle elde edilen özdirenç değerleri yol güzergâhındaki mevcut kazı şevi ile karşılaştırılmıştır. Yapılan gözlemlerde özdirenç değerleri ile arazide gözlem sonucu belirlenen değerlerin örtüştüğü görülmüştür. Fakat bu tek başına yeterli olmamaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi orman yolları yapımında önem arz eden ana kaya derinliği, toprak özellikleri, yeraltındaki gevşek malzemenin yeri, kalınlığı ve zemin türü gibi pek çok parametre hakkında net sonuçlar verememesine karşın elde edilen grafiklerde zemine ait yorumlar yapılabilmektedir.

Sismik yöntem uygulama açısından elektrik özdirenç yöntemine göre daha kolay olup fazla iş gücü gerektirmemektedir. Arazi ölçümleri için iki veya üç işçi yeterlidir. Bu yönüyle de elektrik özdirenç yöntemine göre oldukça pratik ve ekonomiktir.

Sismik yöntem ile yapılan ölçümlerde zemine ait pek çok parametre hakkında doğru sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan ölçümler ile orman yolları yapımında oldukça önemli olan ve yol yapım maliyetlerinin önceden belirlenmesinde önemli katkılarda bulunacak olan zemine ait sökülebilirlik, zemin grubu, dayanım, emniyetli taşıma gücü gibi pek çok parametre hakkında doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle üç yöntem arasından en doğru sonucu veren yöntemin sismik yöntem olduğu belirlenmiştir.

Yer radarı yönteminin dağlık arazilerde, özellikle ormanlık alanlarda uygulanması elektrik özdirenç yöntemine göre daha kolay ancak sismik yöntemine göre ise daha zordur. Yer radarı yöntemi ile en fazla 6 m derinliğe kadar nüfuz edilebilmiştir. Bu derinliğin daha aşağısından bilgi alınamamıştır. Yer radarı yöntemi ile belirli bir tabaka sınırı belirlenememiştir. Yer radarı yöntemi ekonomiklik açısından en ekonomik olan yöntemdir. Fakat ormanlık alanlarda ağaç köklerinden etkilendiği için doğru sonuçlar elde edilememiştir.

Sonuç olarak yöntemler karşılaştırıldığında, orman yolu güzergahlarında uygulanabilirlik ve zemine ilişkin sonuçların doğruluğu açısından sismik yöntem ilk sıradadır. Yer radarı en pratik yöntemdir. Fakat ormanlık alanlarda çalışma koşulları için doğru sonuçlar vermemektedir. Ağaç köklerinden etkilenmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde orman yolları planlaması ve inşaat işlerinin yürütülmesi, Orman Genel Müdürlüğünün 292 sayılı tebliğinde belirtilen esaslara göre gerçekleştirilmektedir. Bu tebliğde orman yolu yapımı aşamasında yolların zemin etüdü kişisel tecrübeye dayalı arazi keşfi neticesinde yapılmaktadır. Bu durum kimi zaman yol yapımını üstlenen müteahhit ile orman idaresi arasında anlaşmazlıklara neden olabilmektedir. Oysa orman yolları teknik, ekonomik ve ekolojik kriterlerin dikkate alındığı yollar olduğundan planlama ve yapım aşamasında; güzergah seçimi, zemin yapısı, taşıma yeteneği, yapılacak kazı miktarı, su ve heyelan durumları gibi bir çok kısıtlayıcı faktörün bir arada düşünülmesi gerekmektedir. Bu amaçla birçok mühendislik alanında uygulanan jeofizik yöntemlerin, orman yolu inşaatları için de zemin etütlerinde kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Uygulamaya yönelik ve geri dönüşümü olan bu çalışma ile orman yol güzergâhlarındaki; yeraltı suyu durumu, heyelan durumu, zeminin taşıma kapasitesi, ana kaya ve toprak özellikleri, bataklık gibi orman yolu yapımına engel bir durumun olup olmadığı, yol güzergâhındaki kaya formasyonlarının durumları gibi pek çok özellik, jeofizik yöntemler ile etüt edildikten sonra teknik ve çevresel açıdan incelenerek en iyi ve doğru sonucu veren jeofizik yöntemin ortaya konulması amaçlanmıştır. Sonuçta, orman yollarında uygulamaya yönelik sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle yapım ve bakım yönünden ekonomik, sağlam ve çevreye en az zararı olan orman yol güzergâhının belirlenmesi ile yol yapım maliyetleri azaltılabilecek ve yapım sırasında veya sonrasında ortaya çıkan sorunların önceden önüne geçilebilecektir.

Bu çalışmada; Düzköy Orman İşletme Şefliği yol ağı planında yer alan 81 kod nolu orman yol güzergahı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanında elektrik özdirenç yöntemi, sismik yöntem ve yer radarı yöntemi ile zemin etütleri yapılarak zemine ait parametreler belirlenmiştir.

Elektrik özdirenç yöntemi ile 81 kod nolu orman yol güzergahının ilk 400 m'lik kısmında ve 81 kod nolu orman yol güzergahının 10 m üzerinden yol güzergahına paralel doğrultuda 100 m'lik kısımda zemin etüdü yapılarak görünür özdirenç değerleri hesaplanmıştır. Çalışma alanından elde edilen özdirenç değerleri ile arazideki mevcut durum karşılaştırılmıştır. Özdirenç değerlerinin yüksek çıktığı yerlerde sağlam kayaların

olduğu, özdirenç değerlerinin düşük olduğu kısımlarda ise sert toprak ve yamaç molozlarının olduğu belirlenmiştir.

Araştırma alanında yapılan sismik kırılma yöntemi ile yaklaşık 16 metre derinlik incelenmiş ve zeminin tabakalı bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Zemindeki 1. tabaka kalınlığı 3-8 metre arasında ve çok ayrıışmış kayaçtan oluşmuş, 2. tabaka kalınlığı ise ortalama 1 metre ve ayrıışmış kayaçtan oluşmuş, 3. tabaka ise sağlam kayaçtan oluştuğu belirlenmiştir.

Sismik yöntem ile belirlenen 1. tabakaya ait parametreler; P dalgası hızı 774 m/sn ve sökülebilirliği kolay, S dalga hızı 479 m/sn ve zemin grubu C (katı kum ve çakıl), elastisite modülüne göre dayanımı orta, kayma modülüne göre dayanımı orta, poisson oranı 0,27 (sıkı-katı), yoğunluk 1,64 (orta) ve zeminin emniyetli taşıma gücü $3,89 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Sismik yöntem ile belirlenen 2. tabakaya ait parametreler; P dalgası hızı 1055 m/sn ve sökülebilirliği orta, S dalga hızı 724 m/sn ve zemin grubu B (tüf ve anglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrıışmış çimentolu tortul kayaçlar), elastisite modülüne göre dayanımı sağlam, kayma modülüne göre dayanımı sağlam, poisson oranı 0,05 (sağlam kaya), yoğunluk 1,77 (orta) ve zeminin emniyetli taşıma gücü $8,78 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Sismik yöntem ile belirlenen 3. tabakaya ait parametreler; P dalgası hızı 2845 m/sn ve sökülebilirliği son derece zor, S dalga hızı 1066 m/sn ve zemin grubu A (masif volkanik kayaçlar, ayrıışmış sağlam metamorfik kayaçlar ile sert ve çimentolu tortul kayaçlar), elastisite modülüne göre dayanımı çok sağlam, kayma modülüne göre dayanımı çok sağlam, poisson oranı 0,41 (çok gevşek), yoğunluk 2,26 (çok yüksek) ve zeminin emniyetli taşıma gücü $9,04 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Yer radarı ile çalışma alanında yapılan ölçümlerde alana ait iki boyutlu yeraltı kesiti elde edilmiştir. Yer radarı ölçümlerinde; anten frekansı 100 MHz, anten tipi korumasız (unshielded), örnekleme aralığı 0,01 ns, anten aralığı 1 m, ölçüm aralığı 0,03 feet ve hız 0,12 m/ns olarak belirlenmiştir. Yer radarı yöntemi ile yapılan ölçümlerde belirgin bir tabaka sınırlaması yapılamamıştır.

Sonuç olarak; kullanılan jeofizik yöntemler karşılaştırıldığında, sismik yöntem dağlık ve ormanlık alanlarda uygulanabilirliği ve sonuçların doğruluğu açısından en başarılı yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

Orman yol güzergahlarında jeofizik yöntemler ile yapılan zemin etütlerinden elde edilmiş olan sonuçlara göre, gelecek yıllarda yapılacak olan yaklaşık 50000 km orman yollarının ekonomik, sağlam ve bakım masrafları düşük yol geçkilerinin belirlenmesinde hangi jeofizik yöntemin kullanılabilceği bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Bu çalışma sonucunda, zemin bakımından en doğru yol güzergâhları belirlenebilecek, yol yapımında gerçek durum ve maliyetler önceden ortaya çıkarılacaktır. Böylelikle önceden karşılaşılan ve orman işletmelerini müşkûlat zammı gibi konularda zor duruma sokan aynı zaman da diğer ormancılık çalışmalarının da gecikmesine neden olan problemlerin önüne geçilebilecektir. Yine yol yapımı sırasında daha önceden tespiti yapılamayan zemin şartları, teknik-ekonomik nedenlerle işletme ve müteahhit arasında ortaya çıkabilen anlaşmazlıkların da önüne geçilebilecektir.

Bu çalışma sonuçlarının Orman Genel Müdürlüğü tarafından orman yollarının yapımında kullanılması ile yüksek maliyetli olan orman yollarının yapımı sırasında ekonomik ve güvenli jeofizik yöntem (Sismik) kullanılarak, alternatif yol güzergâhları arasından en uygun olanı belirlenecektir. Bu sayede yapım öncesindeki gerçek maliyetler ortaya çıkacak, bunun sonucunda da yol yapım işlerinde hem işletmeler hem de müteahhit açısından herhangi bir ekonomik kayıp olmayacaktır. Yine yılın belirli periyotlarında yapılabilen orman yolu yapım işi de sekteye uğratılmadan ormancılık çalışmalarının sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır.

Bu çalışma sonuçlarından yola çıkarak gelecekteki çalışmalarda orman yol güzergahlarında sismik çalışmalar üzerine yoğunluk kazandırılmalıdır. Bu şekilde yol güzergahlarının morfolojisi ile kayaç, su, tabakalılık durumları en az hata payı ile ortaya konulabilir.

5. KAYNAKLAR

- Acar, H.H., 1999. Orman İşletmeciliğinde Yol İnşaatı, Üretim ve Transport Çalışmalarının Doğal Çevre ve Korunması Açısından Değerlendirilmesi. I. International Symposium on Production of Natural Environment and Ehrami Karaçam, 497–507 s., Kütahya.
- Acar, H.H. ve Eker, M., 2003. The Use of Excavation in Forest Road Construction and Their Environmental Benefits, Journal of South-West Anatolia Forest Research Institute, 5, 97-128, Antalya.
- Acar, H.H., Coşkun, N. ve Eker, M., 2003. Köy ve Orman Yollarının Yapımında Yol Zemininin Jeofizik Yöntemlerle Etüdü, Beklenen Çevresel ve Ekonomik Yararlar, Doğu Karadeniz Bölgesi Kırsal Alanda Ulaşım, Yerleşim Sorunları ve Çözümleri Sempozyumu, 18-20 Aralık 2003, Bildiriler Kitabı, 68-74 s., Trabzon.
- Acar, H.H., Eker, M., Çağlar, S., 2005. Orman Yolu Yapımında Zemin Yapısının Tespitinde Bazı Jeofizik Yöntemlerden Yararlanma Olanakları, TC. Çevre ve Orman Bakanlığı, 1. Çevre ve Ormancılık Şurası Bildiriler Kitabı: II., 464–471 s., Mart, Antalya.
- Akça, İ., Gündoğdu, N.Y., Bilgehan, R.P., Ulugergerli E.U. ve Kılıç R. 2003. Fosil heyelanların kayma yüzeylerinin belirlenmesinde jeofizik çalışmalar, Türkiye 15. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, 82 s., İzmir.
- Anonim, 1988. Ormancılık Ana Planı (1990-2009), Orman Genel Müdürlüğü, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 3, 176s., Ankara.
- Anşin, R., 1983. Türkiye'nin Flora Bölgeleri ve Bu Bölgelerde Yayılan Asal Vejetasyon Tipleri, KTÜ Orman Fak. Dergisi, 6, 2, 318-339.
- Bayoğlu, S., 1997. Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları (Orman Yolları). İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3969, O.F. Yayın No. 434, İstanbul.
- Bayoğlu, S., Seçkin, Ö.B. ve Şentürk, N., 1995. Orman yollarının Bilgisayar Ortamında Projelendirilmesi. I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Cilt: 5, Trabzon.
- Boil, J., 1996. Using ground penetrating radar to dedect layers in a sandy field soil, Geoderma, 70, 2-4, 117-132.
- Çağlar, S., Acar, H.H. ve Kesimal, A., 2006. Orman Yolu İnşaatlarında Kaya Patlatmanın Çevresel Etkilerinin İrdelenmesi, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 253–258, Eylül, Trabzon.

- Doğan, E., 1977. Orman Yollarının Projelendirilmesinde İkinci ve Üçüncü Derece Aletlerden Faydalanma Olanaklarının Araştırılması, KTÜ Basımevi, Trabzon.
- Dumanoğlu, B., 1994. Sismik ve Özdirenç Yöntemleri ile Heyelan ve Zemin İncelemeleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erdaş, O., 1997, Orman Yolları-Cilt I-II, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:187/25-188/26, Trabzon.
- Erdaş,O., Acar, H. H., Tunay, M. ve Karaman, A., 1995. Türkiye'de Orman İşçiliği ve Üretim, Orman Yolları, Orman Ürünleri Transportu, Ormancılıkta Mekanizasyon ve Mülkiyet-Kadastro ile İlgili Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Türkiye Ormancılık Raporu, KTÜ Orman Fak. Yay. No:48, 44-79, Trabzon.
- Fenner, T.J., 1992. Ground penetrating radar for identification of mine tunnels and abandoned mine stopes, Paper presented at the SME Annual Meeting, Phoenix, 24-27, Arizona, February.
- Gelişli, K., Alp, İ., Kaya, R., Yılmaz, O. ve Çavuşoğlu, İ., 2003. Mermer İşletmeciliğinde Yer Radarı (GPR) Uygulamaları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Aralık, Afyon.
- Görcelioğlu, E., 2004. Orman Yolları-Erozyon ilişkileri, İ.Ü. Orman Fakültesi. Yay. No: 476, İstanbul.
- Gündoğdu, N.Y., 2003. Mühendislik Jeofiziğinde Elektrik Yöntem Uygulamaları, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Semineri, Aralık, Ankara.
- Kadioğlu, S., 2004. Yer Radarı (GPR) Yöntemi, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ekim, Ankara.
- Kahle, M., 1992. Investigation of Historic Masonary by means of radar: In Bautechnik, 69, Heft 7.
- Keçeli, A., 1990. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, Jeofizik Dergisi, 4, 9, 55-91.
- Ketin, İ. 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-43, Ankara.
- Liberfinger, J.L., 2000. Three dimensional electrical imaging, The First International Conference on the Application of Geophysical Methodologies & NDT to Transportation Facilities and Infrastructure, Conference Proceedings, Category 4: Case Histories, paper 4-30, St. Louis, Missouri.
- Lowrie, W., 2007. Fundamentals of Geophysics, Cambridge University Press.

- OGM, 1984. Orman Yollarının planlanması ve İnşaat İşlerinin Yürütülmesi Hakkında 202 Sayılı Tebliğ, OGM yayınları, Ankara
- OGM, 2006. Orman Genel Müdürlüğü 2006 Yılı Döner Sermaye Bütçesi, APK Dairesi Başkanlığı 2006, Ankara
- OGM, 2008. Orman Yollarının Planlanması, Yapımı ve Bakımı, Tebliğ No: 292, Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığı, 338 s., Ankara.
- OÖİKR, 2001. Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu, VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Yayın No. DPT:2531-OİK:547, Ankara.
- Orlando L., 2003. Semiquantative evaluation of massive rock quality using ground penetrating radar, Journal of Applied Geophysics, 52, 1-9.
- Özürlan, G. ve Ulugergerli, U.E., 2005. Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Peker, T., 1988. Ülkemiz Karayollarında Karşılaşılan Morfolojik Sorunlar ve Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınabilecek Önlemler. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sharma, P.V., 1997. Environmental and Engineering Geophysics, Cambridge University Press.
- Sturtdsson T. ve Overgaard T., 1998. Application of GPR for 3-D visualization of geological and structural variation in a limestone formation. Journal of Applied Geophysics, 40, 29-36.
- Toshioka T., Tsuchida T., Sasahara K., 1995. Application of GPR to detecting and mapping cracks in rock slopes, Journal of Applied Geophysics, 33, 119-124.
- Turan, Ö., 2002. Trabzon ili Yerleşim Alanında Zemin Araştırması için Bileşik Jeofizik Yöntemlerin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1. <http://www.mta.gov.tr/v1.0/index.php> /15.10.2008
- URL-2. http://www.ugurevirgen.com/onurdongel/JEM207_Ders08.pdf /15.10.2008
- URL-3. <http://www.mta.gov.tr/jeof/sismikyon.htm> /15.10.2008
- Zhang, J. ve Ruidian, R., 1996. Application of GPR in underground coal mine (in Chinese), Int J. Of Rock Mec. and Mining Science & Geomechanics, 33, 5, 233.

ÖZGEÇMİŞ

Orman mühendisi Ersin DURSUN 12 Mayıs 1982 tarihinde İzmit’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümüne girdi. Üniversitenin ilk yılında İngilizce hazırlık eğitimi gördü. 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim dalından yüksek lisans eğitimine başladı. İngilizce bilmektedir.