

## Orman Yolu Güzergahlarının Sismik Zemin Etüdü Metodu ile Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma

Ersin DURSUN<sup>1</sup>, Saliha ÜNVER<sup>2,\*</sup>, Hafız Hulusi ACAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Almus Meslek Yüksek Okulu / TOKAT

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi / TRABZON

Alınış Tarihi:21.10.2011, Kabul Tarihi:30.03.2012

**Özet:** Bu çalışmada, ekonomik, çevresel ve zamansal açıdan doğru orman yolu güzergahlarının tespitinde sismik jeofizik yönteminin kullanılması araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 2007 yılında Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü, Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde inşa edilen 81 kod nolu orman yolu güzergahı incelenmiştir. Çalışma alanındaki ölçümler 2008 yılının Mayıs ve Aralık ayları arasında gerçekleştirilmiştir. B tipi tali orman yolu standardında olan 81 kod nolu orman yolu toplam 5+200 km uzunluğunda olup ortalama eğimi %5'dir. Ölçümler, yolun kazı şevi tarafında, yol eksenine 10 m uzaklıkta ve yola paralel şekilde 12 kanallı Geometrics Smartseis 12 model sismik kayıtçı aleti ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; P dalga hızı ( $V_p$ ), S dalga hızı ( $V_s$ ), yoğunluk ( $d$ ) ( $gr/cm^3$ ), kayma modülü ( $\mu$ ) ( $kg/cm^2$ ), elastisite modülü ( $E_d$ ) ( $kg/cm^2$ ), bulk modülü ( $K_d$ ) ( $kg/cm^2$ ), poisson oranı ( $a$ ), zemin taşıma gücü ( $q_u$ ) ( $kg/cm^2$ ) ve zemin emniyet gerilmesi ( $q_s$ ) ( $kg/cm^2$ ) parametreleri tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, 81 kod nolu orman yol güzergahının tabakalı bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Tabakalar, yol zemininden derine doğru 1. tabaka, 2. tabaka ve 3. tabaka olarak isimlendirilmiştir. 1. tabakanın 3-8 m kalınlığında ve çok ayrılmış kayaktan, 2. tabakanın ortalama 1 m kalınlığında ve ayrılmış kayaktan, 3. tabakanın ise sağlam kayaktan oluştuğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda güzergahta patlatma gerektirme, sıvılaşma, oturma, göçme, şişme ve kayma gibi risklerin söz konusu olmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Orman yol güzergahı, Zemin etüdü, Sismik yöntem, Geometrics Smart Seis, Dağlık arazi

### A Study on Determination of forest road routes by Sismic Ground Analysis Method

**Abstract:** In this study, the use of seismic geophysical method has been investigated, in order to detection of accurate forest roads., the forest road route (No. 81 code) that it was built in 2007 within Trabzon-Düzköy boundaries were examined in the study. Measurements in the study area was conducted between May and December in 2008. The Standard, the total length and average slope of reviewed forest road, was the B-type, 5 +200 km and 5%, respectively. Measurements were carried out in the excavation slope of road, 10 m away from the road axis and parallel to the road by Geometrics seismic Smartseis 12 models. It was determined P wave velocity ( $V_p$ ), S wave velocity ( $V_s$ ), density ( $d$ ) ( $gr/cm^3$ ), shear modulus ( $\mu$ ) ( $kg/cm^2$ ), elasticity modulus ( $E_d$ ) ( $kg/cm^2$ ), bulk modulus ( $K_d$ ) ( $kg/cm^2$ ), Poisson ratio ( $a$ ), soil bearing capacity ( $q_u$ ) ( $kg/cm^2$ ), and ground safety stress ( $q_s$ ) ( $kg/cm^2$ ) parameters. As a result of the investigation, it has been identified that examined forest road has a layered structure. Layers are named by the way deep into the ground as Layer 1, Layer 2 and Layer 3. Average thickness of layers are 3-8 m, 1 m and then, respectively. Rock types of layers are very weathered, weathered rocks and rock solid, respectively. As a result of the study, it was examined that it was not necessary risks such as blast, liquefaction, residence, migration, and swelling in the forest road route.

**Key Words:** Forest road route, Ground analysis, Seismic method, Geometrics Smart Seis, Mountainous field

### Giriş

Ormanlık operasyonlarının teknik, ekonomik ve çevresel olarak en etkili operasyonlardan birisi orman yolu inşasıdır. Bu operasyonlardaki en önemli risk faktörü, uygun yol güzergahlarının doğru olarak belirlenmemesidir. Yol güzergahları belirlenirken, jeolojik açıdan fazla üst yapı gerektirmeyen, taşıma gücü yüksek ve sağlam zeminli yerlerden geçilmesi tercih edilir.

Orman yolu güzergahlarının belirlenmesi, orman yolu planlama çalışmalarının en önemli ve en zor aşamasını oluşturmaktadır. Bir yolun geçmesi zorunlu bulunan noktalar arasında birden fazla güzergah söz konusu olabilir (Arıca vd., 2007). Yol güzergahları belirlenirken gerçekleştirilecek kazı miktarı, eldeki makinaların üretim kapasiteleri, yükleme ve taşıma sistemleri, gevşetilecek formasyonların jeoteknik özellikleri ve çevre şartları gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Yol inşasındaki zarar riskinin azaltılması ancak alanda ayrıntılı bir zemin

etüdü yapılarak teknik, ekonomik, çevresel ve zamansal olarak en uygun güzergahın seçilmesi ile mümkün olacaktır.

Orman yolu güzergahlarının belirlenmesinde etkili faktörler; jeolojik yapı, topoğrafya, arazi eğimi, toprağın taşıma kapasitesi ve alandaki hidrolojik yapı varlığıdır. Bunların en önemlilerinden biri olan jeolojik yapı; ana kaya ve toprak yapısı, heyelan duyarlılığı, yer altı su seviyesi gibi çeşitli faktörleri içermektedir (Erdaş, 1997). Orman yolu güzergah seçeneklerinin ekonomik olarak değerlendirilmesinde en düşük kazı ve dolduru masrafı olan güzergahın optimum güzergah olarak seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Gümüş vd., 2003). Yol inşasında kazı ve dolduru masrafları zemin sınıfları açısından topraktan sert kayaya doğru artmaktadır. Bu nedenle yol güzergahlarının özelliklerinin yol inşasından önce belirlenmesi önemli ekonomik kayıpların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Yol güzergahlarının seçiminde yol ömrünün uzun olması

\*cansu@ktu.edu.tr

ve çevresel zararın az olması açısından; kayalık alanlardan geçmemesine, yer altı suyu veya yüzey suyu bakımından drenajı iyi olmasına, yer altı su seviyesinin düşük olmasına ve heyelan tehlikesinin az olmasına dikkat edilmelidir (Bayoğlu, 1997). Bunun için alanın jeolojik yapısına göre uygun jeofizik yöntemler kullanılarak en uygun yol güzergahı tercih edilmelidir. Yol güzergahında bulunan kayaların patlatılması; yer sarsıntısı, hava şoku, taş savrulması ve toz emisyonu gibi önemli çevresel zararlara neden olmaktadır (Nitromak, 2004). Orman yollarının yapımı ve bakımı sırasında doğal çevrede meydana gelen en önemli zararlar; orman alanında kayıp, dolgu şevlerinde akma, erozyon ve heyelan, ağaçlarda yaralanma, su kalitesinin bozulması ya da yaban hayatının olumsuz etkilendiği belirlenmiştir (Spellerberg, 1998; Sever ve Slavko, 2000; Hayrinen, 2007). Yol güzergahının yer altı su seviyesi yüksek olması ya da heyelana hassas alanlardan geçmesi hem yolun ömrünün kısalmasına hem de çevresel zarar oluşmasına zemin oluşturmaktadır.

Jeofizik metotların madencilik, inşaat ve deprem duyarlılığı gibi değişik disiplinlerde kullanımının yanı sıra, son yıllarda yol yapılan zeminlerin dinamik fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla kullanımı da yaygınlaştığı belirtilmiştir (Vankateswrar vd., 2004; Soupios vd., 2005; Kurtuluş vd., 2006). Bazı araştırmalarda zemin etütlerine ilişkin bilgilerin belirlenmesinde farklı yollar bulunmasına rağmen en doğru ve sağlıklı olanın sismik metod, elektrik öz direnç metodu ve radar gibi jeofizik yöntemler olduğu vurgulanmıştır (Acar vd., 2003; Dursun, 2009). Dursun (2009), üç farklı jeofizik yöntemi kullanarak orman yolu güzergahlarının belirlenmesi konusunda yaptığı çalışmada, uygulanabilirlik ve zemine ilişkin sonuçların doğruluğu açısından sismik yöntemin en ideal yöntem olduğunu belirlemiştir.

Sismik yöntem; yol inşaatları için gerekli olan tabaka kalınlıkları, düzlemin topoğrafyası, değişik malzemelerin dağılım düzeni, zeminlerin elastik özellikleri, sıvı saturasyonu, zemin taşıma gücü ve zemin oturma miktarı gibi parametrelerin belirlenmesinde kullanılabilmektedir (Dumanoğlu, 1994). Ayrıca bu yöntem kullanılarak elde edilen bilgilerle; zeminlerin sıklık, çatlaklık, kırıklık ve sertlik dereceleri ile bozuşma miktarları gibi mekanik özellikleri de ortaya konulabilmektedir. Yol zeminin bu özelliklerinin bilinmesi; doğru güzergahların belirlenmesi, yolun ömrünün uzaması, çevresel zararların azaltılması ve ekonomiklik açısından çok önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Trabzon-Düzköy Orman İşletme Şefliği bünyesindeki 81 nolu orman yol güzergahının bazı statik ve dinamik özellikleri sismik yöntem ile belirlenerek, yol güzergahının uygunluğu değerlendirilmiştir.

## Materyal ve Metot

Araştırma, 2007 yılında Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü, Düzköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde inşa edilen 81 kod nolu orman yolunda gerçekleştirilmiştir. Trabzon, coğrafik olarak 40° 45' ve

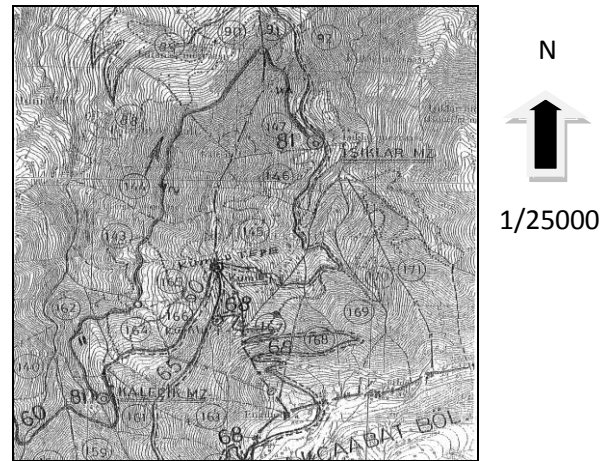
40° 52' kuzey enlemleri ile 39° 39' ve 39° 45' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının genel görünümü

Çalışma alanının denizden ortalama yüksekliği 1200 m ve ortalama eğimi %32,5'dir. Yolun geçtiği alanlardaki baskın ağaç türleri; Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.), Doğu Karadeniz Gökarnı (*Abies nordmanniana* (Steven) S) ve Kızılağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertner)'dir. Araştırma alanı Doğu Karadeniz Tektonik Ünitesinin kuzeydoğusunda yer alır (Ketin, 1996). Bölge, genelde kışları ılık, yazları nispeten sıcak olan ve her mevsim yağışlı bir iklim karakterine sahiptir.

Çalışma alanındaki mevcut ve planlanan yolların yol yoğunluğu 11,6 m/ha'dır. B tipi tali orman yolu standardında olan 81 kod nolu orman yolu toplam 5+200 km uzunluğunda olup eğimi %5'dir. Orman yol ağı planı yenileme haritasına göre 81 kod nolu orman yolu; 88, 89, 90, 91, 92, 93, 144, 145, 146 ve 147 no'lu bölmeleri işletmeye açmaktadır (Şekil 2). Ölçümler, bu yolun ilk 100 m'lik bölümünde, 2008 yılının Mayıs ve Aralık ayları arasında 12 kanallı Geometrics Smartseis 12 model sismik kayıtçı aleti ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. İncelenen orman yolu

Sismik alet düzeneğinde; jeofon, kablo, balyoz, çelik şerit

metre, akü ve sismik alete bağlı klavye bulunmaktadır (Şekil 3). Bunların yanında yapılan çalışmaların görüntülenmesinde dijital fotoğraf makinesinden ve orman yolu yapım alanına ait yol şebeke planı ve haritalarından yararlanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde ise SIP programı ve Excel programı kullanılmıştır.



Şekil 3. Geometrics Smart Seis 12 model sismik kayıt aleti

Araştırma alanında zemine ait statik ve dinamik parametrelerin belirlenmesinde sismik kırılma yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, yolun kazı şevi tarafında, yol eksenine 10 m uzaklıkta ve yola paralel şekilde ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde, 39 m açılım yapılarak zeminden ortalama 16 m derinlik incelenmiştir.

Çalışma alanında yol güzergahı boyunca iki adet profilde karşılıklı atışlar yapılmıştır. Sismik kayıtlar sırasında ağırlık düşürme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, P dalga (boyuna dalga) kayıtları sırasında yere konan demir levha üzerine 10 kg ağırlığındaki bir balyoz ile düşey olarak vurularak uygulanırken S dalga (kayma) kayıtları sırasında açılan çukurun yan duvarına konan levhaya yatay olarak vurularak uygulanmıştır. Elde edilen sismik kayıtlar SIP adlı değerlendirme programıyla değerlendirilerek yayılma süresi (t) - uzaklık (x) grafikleri çizilmiştir. Grafikte oluşan 3 kırılma noktası, araştırma güzergahında 3 tabakanın bulunduğunu göstermiştir. Çizilen bu grafiklerden yararlanarak eşitlik [1] ile  $V_p$  ve  $V_s$  hızları hesaplanmıştır.

$$V = \frac{x}{t} \quad [1]$$

Burada; V, dalga yayılma hızını (m/sn); x, dalganın aldığı yolu (m) ve t, yayılma zamanını (sn) ifade etmektedir.

Elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  değerlerinden yararlanılarak; yoğunluk (d) ( $\text{gr/cm}^3$ ), kayma modülü ( $\mu$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ), elastisite modülü ( $E_d$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ), bulk (sıkışmazlık) modülü ( $K_d$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ), poisson oranı (a), zemin taşıma gücü ( $q_u$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) ve zemin emniyet gerilmesi ( $q_s$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) parametreleri tespit edilmiştir.

$V_p$  sismik dalga hızı, yeraltının yapısal konumlarını, şev duyarlılığını, yarma yüzeyi ve yarma kazılarının sökülebilirlik durumunu tespit etmek amacıyla belirlenmiştir. P dalgası, gevşek zeminlerde düşük hızla ilerlerken kaya zeminlerde yüksek hızla ilerler. Ölçülen P dalga hızlarına göre zeminlerin sökülebilirliklerinin tespiti Çizelge 1'de verilen sınıflandırmaya göre yapılmıştır.

Çizelge 1. Ağır güçteki sökücüler için P dalga hızı-sökülebilirlik ilişkisi (Bailey, 1974)

P dalgası hızı (m/sn)	Sökülebilirlik Sınıfları	Derece
350-670	Çok kolay	1-3
670-1000	Kolay	3-4
1000-1700	Orta	4-6
1700-2300	Zor	6-8
2300-2700	Çok zor	8-9
2700-3000	Son derece zor	9-10

Sismik S dalgası (kayma dalgası) hızları, zeminin mekanik özelliklerini tanımak amacıyla belirlenmiştir. Bu dalgalar malzemenin şekil bozunumuna veya burulmaya karşı direnci olduğu durumlarda meydana gelir. Tespit edilen  $V_s$  değerlerine göre kaya ve zeminlerin değerlendirilmesi Çizelge 2'de verilen sınıflamaya göre yapılmıştır. S dalga hızları 2000 m/sn'den küçük olan kayalar buldozer ile sökülebilirken büyük olan kayalarda ise patlatıcıların kullanılması gereklidir.

Çizelge 2. Zemin türünün sınıflandırılması (Bozkurt ve Kurtuluş, 2008)

S Dalga Hızı (m/sn)	Yerel Birim Türü	Zemin Grubu
<200	Yumuşak kil, siltli kil	D
<200	Gevşek kum	D
<200	Yeraltı su düzeyi yüksek yumuşak-suya doymun kalın altüvyonlu 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 tortul kayalar	B
>700	Sert kil, siltli kil	A
>700	Çok sıkı kum, çakıl	A
>1000	Masif volkanik, ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert ve çimentolu tortul kayalar	A

Yoğunluk değeri, porozitesi yüksek, gözenekli ve gevşek ortamlarda düşüken sağlam çatlaksız ortamlarda yüksektir. Tüm bozuşmamış kayalar için yoğunluk  $2.6 \text{ gr/cm}^3$  olarak alınır. Yoğunluk değeri; p dalga hızına göre eşitlik [2] ile hesaplanmıştır.

$$d = 0.31 * V_p^{0.25} \quad [2]$$

Burada p, yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ ) ifade etmektedir.

Hesaplanan değerler Çizelge 3'te verilen zemin birimlerinin yoğunluk sınıflamasına göre değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.** Zemin birimlerinin yoğunluk sınıflaması (Keçeli, 1990)

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

Kayma modülü ( $\mu$ ), yatay kuvvetlere karşı formasyonun direncini gösteren parametredir. Sıvıların makaslamaya karşı direnci olmadığından sıvılar için bu modül sıfırdır. Kayma modülü ne kadar yüksekse, formasyonun yatay kuvvetlere karşı direnci o kadar fazla demektir. Birimi kg/cm<sup>2</sup> olan kayma modülü ( $\mu$ ) eşitlik [3] ile hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{d * V_s^2}{100} \quad [3]$$

Burada;  $\mu$ , kayma modülünü (kg/cm<sup>2</sup>) ifade etmektedir.

Hesaplanan kayma modülü değerlerine göre zeminin dayanım sınıfları Çizelge 4'te verilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.** Kayma modülü değerlerine göre zemin dayanım sınıfları (Keçeli, 1990)

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

Elastisite modülü ( $E_d$ ), bir doğrultudaki gerilmelerin zemindeki deformasyonlara oranı olarak tanımlanır. Zemine uygulanan düşey basınç yönünde yerin yamulmasını gösteren bir parametre olup kayacın dayanıklılığını yani zeminin sağlamlığını gösterir. Elastisite modülü eşitlik [4]'e göre hesaplanmıştır.

$$E_d = \frac{\mu * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad [4]$$

Burada;  $E_d$ , Elastisite modülünü (kg/cm<sup>2</sup>) göstermektedir.

Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaların dayanım durumları Çizelge 5'te verilen sınıflamaya göre belirlenmiştir.

**Çizelge 5.** Elastisite modülü değerlerine göre zemin dayanım sınıfları (Keçeli, 1990)

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

Bulk modülü ( $K_d$ ), zeminin belli bir basınç altındaki sıkışmaya karşı olan direncidir. Eşitlik [5]'e göre hesaplanmıştır.

$$K_d = \frac{d * \left( V_p^2 - \left( \frac{4}{3} * V_s^2 \right) \right)}{100} \quad [5]$$

Burada;  $K_d$ , bulk modülünü göstermektedir.

Belirlenen bulk modülü değerlerine göre zemindeki sıkışma durumu Tablo 6'da verilen sınıflamaya göre belirlenmiştir.

**Çizelge 6.** Bulk modülü değerlerine göre zeminin sıkışma durumları (Keçeli, 1990)

Bulk Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Sıkışma Sınıfları
<400	Çok Az
400-10000	Az
10000-40000	Orta
40000-100000	Yüksek
>100000	Çok yüksek

Poisson oranı, formasyonun enine birim değişiminin boyuna birim değişimine oranıdır. Kayacın gözenekliliğini, çimentolaşma derecesini ve gözeneklerin su veya kil ile dolu olup olmadığını yansıtan bir parametredir. Poisson oranı, gözeneksiz ortamlarda 0-0,25 arasında, orta derecede gözenekli ortamlarda 0,25-0,35 arasında ve gözenekli ortamlarda 0,35-0,50 arasında değişmektedir. Birimsiz olan poisson oranı, eşitlik [6] ile hesaplanmıştır (www.aymeh.com).

$$P = \frac{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2}{\left( 2 * \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 \right) - 2} \quad [6]$$

Burada P, poisson oranını göstermektedir. Hesaplanan poisson oranı değerleri Çizelge 7'de verilen zemin sıklık sınıflamasına göre değerlendirilmiştir.



**Çizelge 7. Poisson oranına göre zemin sıklık sınıflaması (Ercan, 2001)**

Poisson Oranı	Zemin Sıklık Sınıfı	$V_p/V_s$
0,5	Cıvık- sıvı	$\infty$
0,4-0,49	Çok gevşek	$\infty-2,49$
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

Zemin taşıma gücü, zemin ve kayaların maksimum taşıma gücüne eşdeğer yer basıncı ifadesinin sismik kayma dalgası direnci cinsinden ifade edilmesinden elde edilir. Bu parametre, zeminin birim alanının (1 cm<sup>2</sup>) taşıyabileceği son taşıma gücünü gösterir. Zemin taşıma gücü ( $q_u$ ) eşitlik [7] ile hesaplanmıştır.

$$q_u = \frac{P * V_p}{100} \quad [7]$$

Burada;  $q_u$ , zemin taşıma gücünü (kg/cm<sup>2</sup>) göstermektedir (<http://www.zeminarastirmamerkezi.com>). Dinamik zemin emniyet gerilmesi eşitlik [8] ile hesaplanmıştır.

$$q_s = \frac{q_u}{G_s} \quad [8]$$

Burada;  $q_s$ , dinamik zemin emniyet gerilmesini (kg/cm<sup>2</sup>) ve  $G_s$  güvenlik katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada  $G_s$  değeri 3 olarak alınmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında sismik kırılma yöntemi uygulanarak 81 nolu orman yolu güzergahının 10 m üzerinden güzergaha paralel olacak şekilde 100 m boyunca çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler yol güzergahında yaklaşık 16 m derinlikte gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, yol güzergahının geçtiği alanda tabakalı bir yapının bulunduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen tabakalar, yol zemininden derine doğru 1. tabaka, 2. tabaka ve 3. tabaka olarak isimlendirilmiştir. Yapılan incelemelerde tespit edilen zeminden derine doğru isimlendirilen tabakaların kalınlıkları ve kayaç özellikleri Çizelge 8’de verilmiştir.

**Çizelge 8. Güzergahta bulunan tabakaların kalınlıkları ve kayaç özellikleri**

Tabaka	Tabaka Kalınlığı (H) (m)	Tabakaların Kayaç Özelliği
1. Tabaka	3 - 8	Çok ayrıışmış kayaç
2. Tabaka	1	Ayrıışmış kayaç
3. Tabaka		Sağlam kaya

Arazide yapılan iki adet sismik ölçümden elde edilen P

dalga hızları ( $V_p$ ) ve S dalga hızlarına ( $V_s$ ) bağlı olarak; yoğunluk ( $d$ ), elastisite ( $E_d$ ), kayma ( $\mu$ ) ve bulk modülleri ( $K_d$ ), poisson oranı ( $P$ ), zemin taşıma gücü ( $q_u$ ) ve zemin emniyet gerilmesi ( $q_s$ ) değerleri hesaplanmıştır. Ölçüm ya da hesaplamalarla elde edilen bu dinamik ve statik parametreler kendi sınıflamalarına göre değerlendirilerek her bir parametreye göre alanın zemin sınıfları tespit edilmiştir. Sismik yöntem ile zemin tabakaları için elde edilen dinamik ve statik parametrelerin ortalama değerleri ve sınıfları Çizelge 9’da verilmiştir.

**Çizelge 9. Zemin tabakaları için elde edilen dinamik ve statik parametrelerin ortalama değerleri ve sınıfları**

Parametre		1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
P dalga hızı (m/sn)	P dalga hızı	774	1055	2845
	Sökülebilirlik	Kolay	Orta	Son derece zor
S dalga hızı (m/sn)	S dalga hızı	479	724	1066
	Zemin grubu	C	B	A
Elastisite modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Elastisite	7693	19539	72980
	Dayanım sınıfı	Orta	Sağlam	Çok sağlam
Kayma modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Kayma modülü	3009	9261	25727
	Dayanım sınıfı	Orta	Sağlam	Çok sağlam
Bulk modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Bulk modülü	5783	7317	148948
	Sıkışma sınıfı	Az	Az	Yüksek
Poisson oranı	Poisson oranı	0,27	0,05	0,41
	Sıklık sınıfı	Sıkı-katı	Sağlam kaya	Çok gevşek
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk Tanımlama	1,64	1,77	2,26
		Orta	Orta	Çok yüksek
Taşıma gücü (kg/cm <sup>2</sup> )	Emniyetli taşıma gücü	3,89	8,78	9,04
Emniyet gerilmesi (kg/cm <sup>2</sup> )		1,30	2,93	3,01

Araştırma alanında sismik yöntem ile belirlenen P dalgası hızlarına göre ağır güçteki sökücü iş makineleri için 1. tabakanın kolay sökülebilir, 2. tabakanın orta düzeyde sökülebilir ve 3. tabakanın son derece zor sökülebilir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Büyüksaraç (2004)’te verilen orta güçteki sökücü iş makinaları ile sökülebilirlik sınıflamasına göre 1. tabakada kazı yapmak orta güçlükte olacakken 2. ve 3. tabakada daha güç olacaktır. Orman yolu inşaatının gerçekleştirileceği 1. ve 2. tabakada iş kolaylığı olacağı için teknik ve ergonomik açıdan bu güzergah tercih edilebilir. Son tabaka olan 3. tabakanın son derece zor sökülebilir olması yolun uzun ömürlü olacağını göstermektedir.

Sismik yöntem ile elde edilen araştırma alanına ait sismik S dalgası hızlarına göre 1. tabakanın C zemin grubunda,

2. tabakanın B zemin grubunda ve 3. tabakanın A zemin grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Bu durum, 1. tabakanın çok katı kum ve çakıldan, 2. tabakanın tuf ve anglomera gibi gevşek volkanik kayalar ya da ayrılmış çimentolu tortul kayalardan, 3. tabakanın ise masif volkanik, ayrılmış sağlam metamorfik ya da sert ve çimentolu tortul kayalardan oluştuğunu göstermektedir.

Güzergah boyunca elde edilen elastisite modülü değerlerine göre zemin ve kayaların dayanımları; 1. tabaka için orta, 2. tabaka için sağlam, 3. tabaka için ise çok sağlam olarak belirlenmiştir. Elastisitenin zemin yüzeyinden derinlere doğru artması ile zemin dayanımları artış gösterir. Bu durum, orman yol inşaatı çalışmalarının gerçekleştirileceği 1. ve 2. tabakada söküçülerin kullanılması yeterli olacakken, 3. tabakada gerçekleştirilecek alanlarda patlatmaya ihtiyaç duyulacaktır. Söz konusu yol güzergahında 3. tabakanın çok derinlerde bulunması inşaat çalışmalarında bu tabakaya inmeyi gerektirmeyeceği için, bu yol güzergahı elastisite özelliği açısından kabul edilir durumdadır.

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. Kayma modülünün yüksek olması, formasyonun yatay kuvvetlere karşı direncinin fazla olduğunu göstermektedir. Bu özellik söz konusu orman yolu güzergahının dış etmenlerden kolay etkilenmeyeceğini ve uzun ömürlü olacağını göstermektedir. Bu da orman yollarının yapımı gibi yüksek maliyetli olan bakım çalışmalarından ekonomik kazanç elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Arazide elde edilen bulk modülü değerlerine göre 1. ve 2. tabakalarda az sıkışmanın, 3. tabakada ise yüksek sıkışmanın bulunduğu belirlenmiştir. Sıkışmanın az olması inşaat işlerinde kolaylık sağlayacak ve çevresel zararın az olacaktır.

Orman yolu güzergahı boyunca belirlenen ortalama poisson oranı değerleri 1., 2. ve 3. tabakalar için sırasıyla 0,27; 0,05 ve 0,41 olarak belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 7'de verilen sınıflamaya göre değerlendirildiğinde; yol güzergahında 1. tabakada taban suyu ya da yeraltı suyunun etkisinin olmadığını, tabakanın sıkı-katı nitelikli bir yapı ortaya koyduğunu göstermektedir. 2. tabakanın yapısı sağlam kaya iken 3. tabaka çok gevşek bir yapı göstermektedir.

Zeminin taşıma gücü; 1. tabakada 3,89 kg/cm<sup>2</sup>, 2. tabakada 8,78 kg/cm<sup>2</sup> ve 3. tabakada 9,04 kg/cm<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Zemin taşıma gücünün derinliğe bağlı olarak artması, güzergahın dayanıklılığının yüksek ve uzun ömürlü olacağını göstergesidir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada sismik yöntemler ile yapılan zemin etütleri ile teknik açıdan sağlam ve uzun ömürlü, ekonomik açıdan daha az yapım ve bakım masrafı gerektiren ve çevresel açıdan daha az zararlı yol güzergahının

belirlenebileceği ortaya konulmuştur. Araştırma alanında sismik kırılma yöntemi ile yolun 100 m'lik bölümünde 16 m derinlik incelenmiş ve zeminin tabakalı bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Zemindeki 1. tabakanın 3-8 m kalınlığında ve çok ayrılmış kayaktan, 2. tabakanın ortalama 1 m kalınlığında ve ayrılmış kayaktan, 3. tabakanın ise sağlam kayaktan oluştuğu belirlenmiştir. Güzergahta sismik kırılma yöntemiyle incelemeler yapılmıştır. Yapılan sismik kırılma çalışması neticesinde tabakaların ortalama sismik hızları sırasıyla  $V_{p1}= 774$  m/s ve  $V_{s1}= 479$  m/s,  $V_{p2}= 1055$  m/s ve  $V_{s2}= 724$  m/s,  $V_{p3}= 2845$  m/s ve  $V_{s3}= 1066$  m/s olarak bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak; zeminin elastisite modülü (7693 kg/cm<sup>2</sup>, 19539 kg/cm<sup>2</sup> ve 72980 kg/cm<sup>2</sup>), kayma modülü (3009 kg/cm<sup>2</sup>, 9261 kg/cm<sup>2</sup> ve 25727 kg/cm<sup>2</sup>), bulk modülü (5783 kg/cm<sup>2</sup>, 7317 kg/cm<sup>2</sup> ve 148948 kg/cm<sup>2</sup>), poisson oranı (0,27, 0,05 ve 0,41), yoğunluğu (1,64 gr/cm<sup>3</sup>, 1,77 gr/cm<sup>3</sup> ve 2,26 gr/cm<sup>3</sup>), taşıma gücü (3,89 kg/cm<sup>2</sup>, 8,78 kg/cm<sup>2</sup> ve 9,04 kg/cm<sup>2</sup>) ve emniyet gerilmesi (1,30 kg/cm<sup>2</sup>, 2,93 kg/cm<sup>2</sup> ve 3,01 kg/cm<sup>2</sup>) özelliklerinin ortalama değerleri her bir tabaka için hesaplanmıştır. Araştırılan yol güzergahı, jeolojik özellikleri itibarıyla ekonomik ve çevresel olarak yol yapılması açısından uygundur. Güzergahta patlatma gerektirme, sıvılaşma, oturma, göçme, şişme ve kayma gibi riskler söz konusu değildir.

Sismik yöntem ile orman yolları yapımında oldukça önemli olan yol yapım maliyetlerinin ve çevresel zararların önceden belirlenmesinde önemli katkıları olan; sökülebilirlik, zemin tipi, dayanımı, emniyetli taşıma gücü, yol güzergahlarının morfolojisi, kayaç tipi, su ve tabakalılık durumları gibi pek çok parametre en az hata payı ile ortaya konulabilmiştir. Bu durum sismik yöntemle yol güzergahlarının belirlenmesinin yolun riskli alanlardan geçirilmesinin önlenmesi mümkün olmaktadır. Özellikle zorunlu olarak yol planlanmı eğimli alanlarda kazı derinliğinin fazla olması ve zemin sınıflarının tespitinin zor olması nedeniyle zemin etüdünün gözlemsel metotlar yerine sismik jeofizik yöntemle yapılması gereklidir. Orman yol güzergahlarının belirlenmesinde bu yöntemin kullanılması ekonomik, çevresellik ve zaman açısından kazanç sağlayacaktır.

Orman yolları genel olarak ihale yoluyla müteahhitlere yaptırılmaktadır. Fakat yapım öncesinde zemin etüdünün doğru olarak yapılmaması yaklaşık maliyetler ile hakedişler arasında önemli farklılıklar olmasına ya da birim fiyatların doğru belirlenmemesine sebep olabilmektedir. Zemin hakkında sağlıklı veriler sunan sismik yöntem, maliyetlerin ve birim fiyatların gerçek olarak belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu durum, işletmelerin ve müteahhitlerin ekonomik kaybının önüne geçilmesine katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, orman yolu güzergahlarının belirlenmesinde sismik çalışmalar üzerine çalışmalar yapılması uygun olacaktır.

## Kaynaklar

Acar, H.H., Coşkun, N., 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, KTÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 68-74.
- Acar, H.H., Ünver, S. 2004. Odun Hammaddesi Üretiminde Teknik ve Çevresel Açından Zararların Tespiti ile Çözüm Önerileri. ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi. 2002-2003-2004, I-II, 165-173.
- Arıcak, B., Çalışkan, E., Gümüş, S., Acar, H.H. 2007. Orman Yollarının Uzaktan Algılama ve CBS ile Planlanmasının Değerlendirilmesi, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Kongresi, KTÜ, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Trabzon.
- Bailey, A.D. 1974. Rock Types and Seismic Velocities Versus Rippability, 25th Highway Geology Symposium, Proc. No: 26., May 23-24, North Carolina, 135-142.
- Bayoğlu, S. 1997. Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları (Orman Yolları), İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. İ.Ü. Yayın No. 3969, Orman Fakültesi Yayın No. 434. İstanbul.
- Bilgin, N. 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- Bozkurt, A., Kurtuluş, C. 2008. Yukarı Hereke Bölgesi'nde Yer Alan Killi Kireçtaşlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 1, 1-15.
- Büyüksaraç, A. 2004. Kayalarda Mekanik Özelliklerin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi: Antakya-Suriye Sınır Yolu Çalışması, KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu/ROCKMEK'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas-Türkiye, 40-49.
- Demir, M. 2007. Impacts, Management and Functional Planning Criterion of Forest Road Network System in Turkey. Transportation Research Part A, Policy and Practice, 41, 56-68. [www.elsevier.com/locate/tra](http://www.elsevier.com/locate/tra).
- Dumanoğlu, B. 1994. Sismik ve Özdirenç Yöntemleri ile Heyelan ve Zemin İncelemeleri. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Dursun, E. 2009. Orman Yol Güzergahlarındaki Zemin Yapısının Jeofizik Yöntemlerle Ortaya Konulması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Ercan, A. 2001. Yer Araştırma Yöntemleri; Bilgiler Kurallar, TMMOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, 339 s.
- Erdaş, O. 1997. Orman Yolları Cilt I-II. KTÜ Orman Fakültesi Yayın No:187/25-188/26. Trabzon.
- Gümüş, S., Acar, H.H., Tunay, M., Ateşoğlu, A. 2003. Calculation of Cut and Fill Volumes by GIS in Forest Roads Projecting, XII. World Forestry Congress. Proceedings, a Forest for People, Quebec City, Canada, 152-153
- Hayrinen, T. 2007. Forest Road Planning and Landscaping. Available at: <http://www.fao.org/docrep/x0622e/x0622e05.htm>.
- 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.
- Kurtuluş C., Bozkurt A., Endeş H. 2006. Local Soil Conditions of the Area Between the Gulf of Izmit and Lake Sapanca, 15. International Symposium, Ecology 2006, June 5-9, Sunny Beach Resort, Bulgaria.
- Nitromak, 2004. Patlatma Kaynaklı Çevre Sorunları ve Risk Analizi. Sektörel Dergi, 4, [www.nitromak.com](http://www.nitromak.com).
- Sever, S., Slavko, S. 2000. Forest Opening Issues in Croatia. <http://www.fao.org/docrep/x0622e/x0622e0o.htm>.
- Soupios P. M., Papazachos C. B., Vargemezis G., Fikos I. 2005. Application of Modern Seismic Methods for Geotechnical Site Characterization, Proc. Int. Workshop in Geoenvironment and Geotechnics. Milos Island, Greece, 163-70.
- Spellerberg, Ian, F. 1998. Ecological Effects of Roads and Traffic: A Literature Review. Blackwell Science Ltd. Global Ecology and Biogeography Letters,7, 317-333.
- Venkateswara V.R., Srinivasa R., Prakasa R.B.S., Koteswara R.P. 2004. Bedrock Investigation by Seismic Refraction Method—a Case Study. *Journal Ind. Geophys. Union*, 8, 223-8. [www.aymeh.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=120](http://www.aymeh.com/index.php?option=com_content&view=article&id=120) (Erişim tarihi:12 /05/ 2010)
- [http://www.zeminarastirmamerkezi.com/sismik\\_remi\\_yansima\\_kirilma.html](http://www.zeminarastirmamerkezi.com/sismik_remi_yansima_kirilma.html) (Erişim tarihi:22 /05/ 2010)