

TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI



JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
KAYAÇLARIN VE ZEMİNLERİN
SÖKÜLEBİLİRLİKLERİ / KAZILABİLİRLİKLERİNİN TESPİTİ
NORMU

Temmuz - 2016

Yönetim Kurulu'nun 12/07/2016 tarih ve XVI/16 sayılı kararı ile Oda Normu olarak kabul edilmiştir.

Jeofizik Yüksek Mühendisi Koray Öncel anısına...



Sökü/kazı işleri gerektiren projelerde, zemin ve kayaç içerisinde elde edilen P tipi sismik dalga hızlarından (V_p) yararlanarak yapılan sökülebilirlik/kazılabilirlik sınıflaması ve ekonomik analizler, gerek “sökü/kazı makine park gücünü” ve gerekse “toplam kazı zamanını” tutarlı olarak belirleyebilmektedir. Bu şekilde; “kazı maliyetleri” yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Normun genel amacı, yukarıdaki gibi açıklanabilir. Bu norma konu yöntemler; özellikle karayolu, otoyol, demiryolu güzergahları, maden ve taşocağı hafriyat alanları, çimento fabrikaları malzeme sahaları, su yapıları (baraj, gölet, HES vb), heyelan alanları hafriyat araştırmaları, mühendislik yapıları hafriyat alanları, altyapı (su isale hatları, kanalizasyon projeleri, arıtma tesisleri, katı atık depolama vb) vb projelerde hafredilecek kesimin derinlik / kalınlık hesaplanması ve sismik dalga hızlarına göre sökücü araç güçlerine ve tipleri göre sınıflandırılması ile, üretim hacim ve maliyetlerinin hesaplanmasında uygulanır.

1. GİRİŞ

Günümüzde karayolu, demiryolu, su yapıları, madencilik, tünel yapımı, metro, kanalizasyon ve içmesuyu şebeke yapımı, mühendislik yapıları vb gibi orta ve büyük çapta kazı ve sökü işleri gerektiren projelerde zemin ve kayaçların sökülebilirliğini/kazılabilirliğini (rippability) önceden saptamak, proje içinde gereksinim duyulan önemli işlemlerden birisidir (şekil 1). “Kazı”, en basit tanımla zeminlerin yerinden kaldırılması; “sökü” ise ister araçla olsun, ister kompresörleme veya dinamitle parçalama olsun kayaçların yerinden kaldırılması işlemi olarak tanımlanabilir.



Şekil 1. Kazı ve sökü çalışmalarından örnekler

Kayaç, bir veya birkaç mineralin birleşmesi ile meydana gelen bir mineral agregası olarak tanımlanır. Mühendislikte kayaçların dokuları, çatlak sistemleri, tabakalanma ve çimentolanma durumlarıyla, bünyelerinde su bulundurup bulundurmadıkları, taşıma güçleri ve ayrışma dereceleri önem taşımaktadır.

Kayaçların ve zeminlerin sökülebilirlik/kazılabilirlik koşullarının jeofizik-geoteknik veriler yardımıyla önceden belirlenmesi; makine parkı seçimi ve birim kazı maliyetlerinin kestirilmesi bakımından önem taşımaktadır. Kaya veya zemin malzemesi ve kaya kütlesi özelliklerine bağlı olarak; mekanik kazı araçlarıyla doğrudan kazı, delme-patlatma veya ön-gevşetmeli mekanik kazı başlıca kazı yöntemlerini oluşturmaktadır (Göktan ve İphar, 2013).

“Sökülebilirlik” kavramı, örtükazısı yapılacak bir malzemenin sökücü-dozer tarafından uygun parça boyutlarında gevşetilmesi işleminde karşılaşılan kolaylık/zorluk derecesi ile ilişkilendirilmektedir (Eskikaya ve Göktan, 1988).

Sökücü-dozer uygulamalarında “*ekonomik sökme ve mekanik sökme*” olarak iki farklı etkinlik seviyesinin bulunduğu kabul edilmektedir (Kirsten, 1983). Ekonomik sökme olarak kabul edilen koşullarda, makinenin alt taşıyıcı takımları ve hidrolik sistemlerinde önemli bir tamir-bakım gideriyle karşılaşılmamakta ve zemin randımanlı bir şekilde gevşetilebilmektedir. Bu tür uygulamalarda, (i) makinenin ilerleme hızında bir azalma olmadan, yeterli bir sökme derinliği korunmakta, (ii) her iki palet, zemin yüzeyi ile bütünüyle temas halinde olup, makinenin çeki kuvvetinde bir azalma görülmemekte veya (iii) makine yaklaşık 1-1.5 km/h hızla sökme işlemini gerçekleştirebilmektedir (Göktan ve İphar, 2013).

Mekanik sökme durumunda ise; sökme işlemi sonucunda, yüksek derecede tamir-bakım giderleri ile karşılaşmaktadır. Bu durumda: (i) sökücü bıçak yeterli bir sökme derinliğine ulaşmamakta ve zeminden dışarı çıkma eğilimi gösterebilmekte, (ii) paletler patinaj yapmakta veya (iii) yeterli bir gevşetme yapamayarak yavaşlamaktadır. Görüldüğü gibi, yukarıda değinilen tanımlamada “*ekonomik sökme*” terimi makinenin tamir-bakımıyla ilgili olarak kullanılmıştır.

“*Ekonomik üretim*” ise ayrı bir konu olup; genellikle, söz konusu bir projeye ait örtükazı işinin hedeflenen bir zaman diliminde ve kabul edilebilir bir maliyetle gerçekleştirilebilmesiyle ilgilidir (Göktan ve İphar, 2013).





Şekil 2. Örtü kazı işlerinde sökme uygulaması (Göktan ve İphar, 2013)

Sökücü-dozerlerin yıllar içerisinde göstermiş olduğu teknolojik aşamalar çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sökücü-dozer özellikleri (Anon, 2001; Göktan ve İphar, 2013)

Sınıfı	Traktör Modeli ¹	Ağırlık ² (kg)	Güç kW	Teorik Çeki Kuvveti kN	
				Hız ~ 1.6 km/h	Hız ~ 0 km/h
Çok Hafif	D7R Seri II	28 055	179	267	445
Hafif	D8R	41 665	228	342	547
Orta	D9R	53 294	302	454	734
Ağır	D10R	72 517	425	600	921
Çok Ağır	D11R	114 243	634	947	1490

¹Caterpillar veya eşdeğeri, ²Tek sökücü bıçaklı

Sökülebilirlik analizlerinde, makine ve kayaca ait parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Makinenin uygulayabildiği sökme kuvveti, ilerleme hızı, sökme açısı, sökme derinliği, kaya malzemesi ve kaya kütlesi özellikleri sökülebilirliği etkileyen başlıca parametrelerdir (Göktan ve İphar, 2013).

Mühendislikte zemin; fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlerle kayaçların ayrışarak olduğu yerde kalması veya çeşitli kuvvetlerle depolama sahalarına taşınması ile oluşan, kazma veya kürekle kazılabilecek nitelikte sıkı veya gevşek; organik madde, kil, silt, kum, çakıl, blok ve bu malzemelerin çeşitli oranlarda birbirine meydana gelen, kohezyonlu veya kohezyonsuz bir yapı şekli olarak

tanımlanır. Zeminlerin porozitesi, permeabilitesi, su taşıması, su emmeye karşı olan şekil ve hacim değiştirmesi, taşıma gücü ve hatta varsa orta derecede çimentolanması gibi nitelikleri mühendislikte önem kazanmaktadır.

Kayaç ve zeminlerin sökü/kazı işlemlerinde;

- a) Kazı ve sökü maliyetinin, ortamın doku ve yapısal sıklık, sertlik ve sağlamlık derecesiyle orantılı olarak artacağı,
- b) Genellikle kayaçların ayrışma zonlarındaki ayrışma derecesinin derinlikle düzenli bir şekilde azaldığı düşünülürse, ortamdaki sıklık ve sağlamlık derecesinin derinlikle artacağı,

iki temel kabuldür (Öncel, 1979).

Kayaç ve zeminlerde sökülebilirlik çalışmaları, kazı boyutlarının büyük olmaması halinde kazma – kürek ile çukur açma veya el burgusu ile delme gibi işlemlerde yürütülmektedir. Zamanla kazı boyutlarının büyümesi, söz konusu yöntemleri yetersiz hale getirmiş ve zaman-maliyet avantajlı yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur.

Kayaç ve zeminler içerisinde elde edilen P tipi sismik dalga hızlarından (V_P) bu amaçla yararlanılabileceğinin anlaşılmasıyla sismik refraksiyon yöntemi, kayaç ve zemin sökülebilirlik/kazılabilirlik saptama çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. P tipi sismik dalgaların zemin ve kayaçlar içerisindeki yayılım hızları ile söz konusu ortamların sökülebilirlikleri arasındaki ilişki çok genel anlamda şu şekilde özetlenebilir (Öncel, 1979).

- i) Sismik refraksiyon yöntemi uygulamasıyla elde edilen P tipi sismik dalgaların yayılım hızları, zemin ve kayaçların yapısal sıklık, sertlik ve sağlamlığıyla orantılı olarak değişim göstermektedir.
- ii) Söz konusu hız değerleriyle aynı zamanda zemin ve kayaçların derinlik, kalınlık ve varsa eğimleri de saptanabilmekte ve yerleşim geometrileri ortaya çıkarılabilmektedir.

Sismik refraksiyon yöntemi uygulamaları ile bu şekilde soruna nitel (kalitatif) ve nicel (kantitatif) veriler sağlanmış olmaktadır.

1.1. Genel Tanımlar

1.1.1. Sökülebilirlik



Zemin ve kayaçların çeşitli tip ve güçteki kazı makinaları ile sökülebilmeye özelliğidir. Bu özellik; zemin ve kayaçların doku, özgül ağırlığı, su içeriği, tabakalanma, ayrışma derecesi, kimyasal bileşim, çatlak sıklığı, eklemelenme, çimentolanma vb birçok parametreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir (EİE).

1.1.2. Sökülmezlik Sınırı

Zemin ve kayaçların her güçteki ve tipteki makinaları ile sökülemeyip, patlayıcı madde kullanımının zorunlu olduğu kesimlerinin sınırınıdır. Bu sınır, bu norma konu sismik uygulamalar ile elde edilen sismik dalga hızlarına (V_p) göre belirlenmektedir (EİE).

1.1.3. Yarı-Sökülebilirlik

Zemin ve kayaçların, sökme araçları ile sökülebilen ayrışma zonları ile ancak kompresörleme veya patlayıcı madde ile parçalanma yoluyla yerinden kaldırılabilen sert, sıkı, sağlam ve kompakt kütleleri arasında kalan yarı ayrışmış-yarı sağlam nitelikteki kesimdir (EİE).

1.1.4. Zemin, Kohezyonlu Zemin, Kohezyonsuz Zemin

Bu tanımlar, “*TS-1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini*” standartındaki gibidir.

1.1.5. Toprak Zemin

Kazma ucu ile sökülebilir nitelikteki zayıf kil, silt, kum, çakıl ve bu malzemelerin değişik oranlarda birbirine karışmasıyla meydana gelen zeminler ve kayaçların aşırı alterasyon ürünü olan malzemedir (EİE).

1.1.6. Küskülük Zeminler

0.03 – 0.4 m³ hacmindeki kaya blokları, bu blokları hakim eleman olarak içerisinde bulunduran zeminler, kayaların alterasyon zonları, gevşek ve yumuşak sedimanterler, gevşek şist ve benzerleridir (EİE).

1.1.7. Kaya



0.4 m³'den daha büyük hacimdeki kaya bloklarla, bu blokları hakim eleman olarak içinde bulunduran birimlerdir. Magmatikler, sert çimentolu sedimanterler, kuvarsit, gnays, mermer örnek olarak verilebilir.

1.1.8. Genel Kazı

Kaya kazısı dışında kalan her türlü kazı, '**Genel Kazı**' olarak değerlendirilir. Proje sınırları içerisinde yer alan bitkisel toprak, kum, silt, kumlu kil, çakıllı kil, çakıl taşı toprak vb zeminler, su içeriği yüksek, suyu kolay bırakmayan, akıcı ve kohezyonu yüksek nitelikteki zeminler, çamurtaşı, şeyl, yumuşak marn, yumuşak tüfler ile çok ayrılmış bozuşmuş ve kaya niteliğini kaybetmiş zeminler ve hacmi 0.4 m³'den küçük her cins moloz taşları ile kaya parçalarının kazısı, esnek üstyapı tabakalarının ve bitümlü sathi kaplamaların vb her türlü malzemenin kazılması, yüklenmesi ve taşınması bu kazı sınıfı içerisinde yer alır (KGM).

1.1.9. Kaya Kazısı

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçların kazısıdır. Bu kazı, aynı zamanda bloklar ve hacmi 0.4m³'den büyük her cins kaya parçalarının kazısını da içerir. Kayaçlar; kayacın ayrışma bozuşma dereceleri, süreksizlik uzanımları, süreksizliklerin yoğunlukları dikkate alınarak sınıflandırılır. Kaya kazısı; yumuşak kaya kazısı, sert kaya kazısı ve çok sert kaya kazısı olarak sınıflandırılır. Kaya kazısı; kırıcı tabancayla (şekil 3), ripperle, dozerle sökülerek veya patlayıcı madde (şekil 4) kullanılarak yapılan kazıdır (KGM).



Şekil 3. Kırıcı tabanca örnekleri



Şekil 4. Patlayıcı madde kullanarak yapılan sökü örnekleri

1.1.9.1. Yumuşak Kaya Kazısı

Zayıf-orta kalite kayaç niteliğindeki; çatlaklı kumtaşı ve konglomera ile marnlı kalkerler, şistler, kalın tabakalı flişler, alçı taşı, kısmen ayrılmış serpantin, çatlaklı ve ayrılmış gnays ve mikaşistler, marn ve kilaşları, konsolide tüfler, grovak, şeyl vb kayaçlar ile 0.4 m³'büyük aynı cins kayaç bloklarının kazısı yumuşak kaya kazısıdır (KGM).

1.1.9.2. Sert Kaya Kazısı

Orta-iyi kalite kayaç niteliğindeki; kalın tabaka ve kütle halindeki kumtaşı, konglomera, bazalt, andezit, dasit, trakit, gnays, ayrışmamış serpantin ve bazalt tüfleri vb kayaçlar ile 0.4 m³'den büyük aynı cins kayaç bloklarının kazısı sert kaya kazısıdır (KGM).

1.1.9.3. Çok Sert Kaya Kazısı

İyi kalite kayaç niteliğindeki; metakumtaşı, metabazalt, ayrışmamış granit ve bazalt, kuvarsit, çok sert masif kalker, çok sert ince kristalli mermer vb kayaçlar ile 0.4 m³'den büyük aynı cins kayaç bloklarının kazısı çok sert kaya kazısıdır. Çok sert kaya kazısı sadece patlayıcı madde kullanılarak yapılabilen kazıdır (KGM).

1.1.10. Kazı Makinaları

Kendilerini iksasız tutabilen veya tutamayan zeminlerde kullanılmak üzere çeşitli tip ve güçte üretilmiş ağır iş makinalarıdır. Çeneli, ters kepçeli ve kovalı kazı makinaları, trencher'lar, grayderler, loaderlar, skreyperlar ve buldozerler örnek olarak verilebilir (EİE).

1.1.11. Sökü Makinaları

Ayrışmaya uğramış veya zayıf ve gevşek yapıdaki kayaların sökülmesinde kullanılan araçlardır. Kayanın durumuna göre seçilen sökücü araç, kayayı parçalama işlemini arka tarafına takılan ayarlanabilir çengelleri ile gerçekleştirmektedir. Araç bir çengel-bıçak sistemidir (EİE).

2. KAYAÇLARIN DOKU VE YAPISAL NİTELİKLERİ, AYRIŞMA DERECELERİ VE SÖKÜLEBİLİRLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Bir kayacın büyük ölçekteki şekli ve niteliğine “*yapı*”, minerallerin birbiriyle olan ilişkisine de “*doku*” adı verilir. Bilindiği üzere kayaçlar; doku ve yapısal nitelikleri yönüyle birbirinden çok farklı olan “magmatikler”, “sedimenterler” ve “metamorfikler” olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

2.1. Ayrışma (Alterasyon)

Belirli etkenler nedeniyle kayacın yüzeyinde veya içinde parçalanma, ufalanma, erime, bileşim değişikliğine uğrama şeklinde gelişen fiziksel ve kimyasal olayların tümüne “*ayrışma*” adı verilir.

Ayrışmada en büyük rol, atmosferik koşullardır. Kurak ve soğuk iklimlerde “*fiziksel*”, tropikal ve nemli iklimlerde ise “*kimyasal ayrışma*” egemendir. Ilıman iklimlerde ise her ikisi de ilişkili olarak etkinliğini sürdürür. Fiziksel ayrışmalarda özellikle ısı değişimleri ve organizmalar, kimyasal ayrışmalarda ise su ve nem, oksijen, karbondioksit, bazlar ve asitler ile organik maddeler önemli rol oynar. Her iki ayrışmanın sınırı, yüzeydeki ısı değişimlerinin etkileyebileceği ve suların sızabileceği derinlik olarak tanımlanır. Kayacın çatlaklığı ile suyu derinlere iletme özelliği ne kadar fazla ise, ayrışma sınırı o kadar derine inmektedir (Öncel, 1979).

2.2. Magmatik Kayaçlar

Magmanın çeşitli derinliklerde ve yüzeyde, değişik koşullar altında soğuyarak katılaşmasından meydana gelmişlerdir. Bu kayaçlarda ayrışma, kayacın yüzeydeki çatlaklarından başlar ve içeriye doğru ilerler. Çatlaklar; ayrışmanın ilerlemesi ile yavaş yavaş genişlediğinden, çekilme ve büzülme nedeniyle yarıklar meydana gelir (Öncel, 1979).

Magmatik kayaçlardaki ayrışma derecesi, kayacın dokusu ile de ilişkilidir. Minerallerin kristalleşme durumuna göre en çok rastlanan doku tipleri şu şekildedir:



- i) **Holokristalin Doku:** Çok yavaş soğuma sonucu oluşan bir dokudur. Mineraller; iri, orta, küçük, ince ve kompakt taneli olacak şekilde sınıflandırılmaktadır. Gözlemler, eş alterasyon koşullarında ayrışma derecesinin tane büyüklüğü ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir (Öncel, 1979).
- ii) **Hemikristalin Doku:** Hızlı bir soğuma ile meydana gelen ve içerisinde kısmen, gözle görülebilecek irilikte kristaller bulunan bu dokuya “*porfirik doku*” da denilmektedir. Gözlemler; eş alterasyon koşullarında hemikristalin dokunun, holokristalin dokuya oranla çok daha az ayrıştığını göstermiştir (Öncel, 1979).

Magmatik kayalarda en bol rastlanan asal mineraller kuvars, feldispat, mika, piroksen, amfibol ve olivindir.

- a) **Kuvars:** Mineral sertliği 7 ve kimyasal bileşimi silisyumdioksittir (SiO_2). Kesinlikle hiçbir ayrışmaya uğramaz.
- b) **Feldispat:** Mineral sertliği 6'dır. İki yönde dilinim gösterirler. Dilinim derecesi, fiziksel ayrışma koşullarında az da olsa etkilenebilir. Feldispatların ayrışmasında özellikle yüzeysel asit karakterli sular ve sıcaklık başlıca etkindir. Ayrışma koşullarındaki dayanıklılıkları, içerindeki SiO_2 miktarına bağlıdır. Feldispatlar, ayrışma ile yavaş yavaş son ayrışma ürünü olan kaolen ve kile dönüşürler ve kayacın hacminde % 5-30 arasında artış gerçekleşir.
- c) **Mika:** Sertlikleri 2-3 arasında değişir. Tek yönde dilinime sahiptir. Beyaz mikanın (muskovit) ayrışma koşullarında oldukça dayanıklı olmasına karşın, içerisinde fazla miktarda demir bulunan siyah mika (biyotit) kolaylıkla ayrışır ve dağılır.
- d) **Piroksen:** Mineral sertliği 5-6 arasında değişir. İki yönde dilinime sahiptirler. Zor ayrışır.
- e) **Amfibol:** Sertliği 5-6 arasında değişir. İki yönde dilinim yüzeyine sahiptir ve güçle ayrışır.
- f) **Olivin:** Sertliği 5-6-7 arasında değişir. İçerisine su alarak kolaylıkla ayrışır ve serpentine dönüşür. Serpantinlerin mühendislikteki en önemli özelliği, su alışverişiyle kazı işleri için önem arz eden hacimlerinin artması ve küçülmesidir.

Magmatik kayaların ayrışma derecelerinde öncelikle rol oynayan niteliklerden birisi de çatlaklardır. Çatlak, kayalarda yer değiştirmemiş kırıklar olarak tanımlanabilir. Magma soğurken meydana gelen kesme ve tansiyon gerilmeleriyle, ilerleyen zamanlarda meydana gelen sismik etkinliklerle kayalarda çatlaklar meydana gelir. Magmatik kayalarda sık olarak rastlanan çatlak çeşitleri şu şekildedir:

- i) **Enine Çatlak:** Magmanın akıntı yönüne dik olarak oluşan çatlaklardır.
- ii) **Boyuna Çatlak:** Magmanın akıntı yönüne paralel olarak oluşan çatlaklardır.

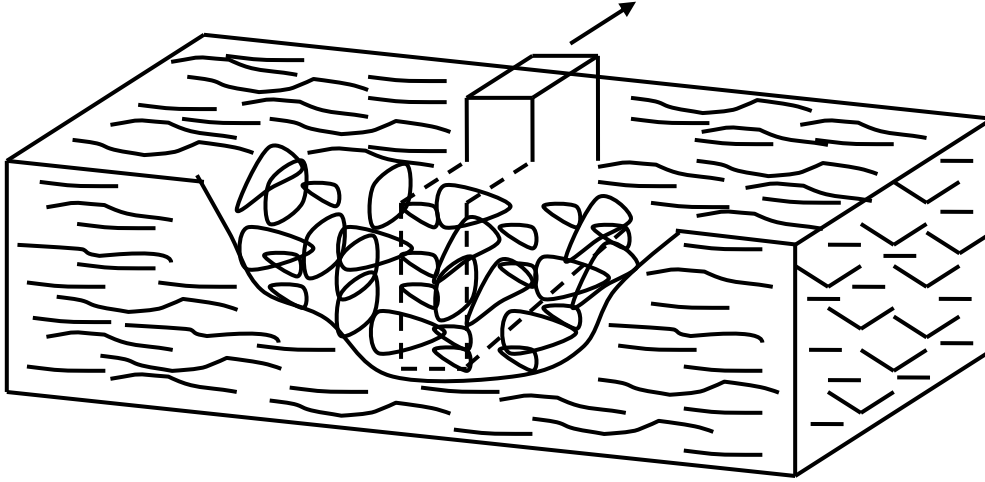


- iii) **Diyagonal Çatlak:** Enine ve boyuna çatlakların doğrultusuna açılı, az çok simetrik şekilde ve iki yönlü olarak gelişen çatlaklardır.
- iv) **Yatk Çatlaklar:** Basınç yönüne dik olarak oluşan çatlaklardır.
- v) **Soğuma Çatlakları:** Genellikle yüzey kayaçlarında görülen, magmanın hızlı bir şekilde soğuması ile meydana gelen çatlaklardır.

Çatlaklar, içlerine giren suyun donarak parçalama etkisiyle fiziksel ve bileşim değişikliğine uğratma yoluyla kimyasal olaylara sahne olarak kayaçların ayrışmasında son derece aktif rol oynarlar.

2.2.1. Derinlik Kayaçları

Isı ve basınç ortamına bağlı olarak genellikle iri, orta ve küçük taneli olarak kristalleşmiş, holokristalin dokudaki kayaçlardır. Genellikle çatlaklıdır ve çatlak sistemlerinin birbiriyle ilişkili ve çok yönlü olması da ayrışmayı kolaylaştıran bir nitelik olmaktadır. Gözlem ve çalışmalar, kayaçtaki egemen çatlak sistemi yönünün kayaç sökülebilirliğinde önem kazandığını ve özellikle sökücü aracın söz konusu yöne dik doğrultuda çalıştırılması gerektiğini ortaya koymuştur (Şekil 5) (Öncel, 1979).



Şekil 5. Sökücünün çatlak sisteminin yönüne dik yönde çalışması (Darcy, 1971)

Doğada en çok rastlanan derinlik kayaçları granit, diyorit, gabro ve peridotitdir.

- a) **Granit:** Asal mineralleri kuvars, feldispat ve mikadır (biyotit). İkincil olarak da amfibol ve piroksen içerirler. Genellikle orta ve iri taneli olup, bol çatlaklıdır. Kayaç içerisindeki kuvars tanelerinin birbiriyle bağlantılı olmaması, feldispatın asit karakterli sularla kolayca killeşmesi ve mikaların dilinim yüzeyleri boyunca dağılması nedeniyle kayaç ılıman iklimde ve su karşısında çok fazla ayrışabilir.

- b) **Diyorit:** Asal mineralleri feldispat, amfibol ve mikadır (biyotit). Genellikle orta ve küçük taneli olarak oluşmuşlardır. Granitler kadar çatlaklı değildirler ve bu nedenle ayrışma, granite oranla daha azdır.
- c) **Gabro:** Asal mineralleri feldispat, piroksen ve bazen de kuvars, amfibol, mika (biyotit) ve olivindir. Genellikle çatlak sistemleri azdır ve bu nedenle granit ve diyoritlere göre çok daha az ayrışırlar.
- d) **Peridotit:** Asal mineralleri olivin, piroksen, amfibol ve mikadır (biyotit). Suyun bol olduğu bölgelerde kloritleşme ve serpantinleşme sonucunda yeşil bir renk alarak ofiyolit adını almaktadır. Serpantinler, mühendislik özellikleri çok zayıf olan kayaçlardır, içlerine su girmesiyle son derece kolay ayrışıp, dağılırlar.

2.2.2. Yüze Kayaçları

Hemikristalin veya pofirik dokudaki kayaçlardır. Bazalttaki soğuma çatlakları haricinde, derinlik kayaçlarına oranla çok daha az çatlaklıdır. Ayrıca; mikrolitik bir hamur maddesine sahip oldukları için, eş alterasyon koşullarında diğer kayaçlara oranla çok daha az ayrışırlar. Bol rastlanan yüze kayaçları andezit ve bazalttır (Öncel, 1979).

- a) **Andezit:** Hamur maddesi içerisinde fenokristal olarak genellikle feldispat ve bazen de amfibol ve piroksen bulunur. Asal mikrolitik elemanlar; hornbledi ojit ve biyotitdir. Çok az çatlaklıdır ve bu nedenle derinlik kayaçlarına oranla daha az ayrışmaya uğrarlar.
- b) **Bazalt:** Bileşiminde; plajyoklaz, ojit, olivin ve az da olsa kuvars bulunur. Bazalt lavları yüze soğurken; içlerindeki gazın uçuşmasıyla boşluklu bir yapı da kazanmış olur. Genellikle akma doğrultularına dik olarak oluşmuş arı petekli çatlaklara rastlanır. Ancak çok yoğun ve sert olduklarından sadece su etkisiyle tropikal iklimlerde ayrışırlar.

Magmatik kayaçların ayrışmaya uğramamış kesimlerini kompresörleme ve dinamitle parçalama dışında yerlerinden sökmek olanaksızdır. Ayrışmaya uğramış kesimlerinde ise belirli bir sınırın üzerinde sökücü (ripper) araçlarla çalışmak mümkündür.

Aşırı alterasyona uğramış ve dağılmaya hazır kayaçlar ise kazı yönünden “**zemin**” sınıfına girmektedir. Bu nedenle; magmatik kayaçların ayrışma zonlarında, sökücü araçlarla sökülebilecek nitelikte olan kesimleri saptamak için sismik yöntemler uygulanmakta ve ekonomik sonuçlar alınmaktadır.

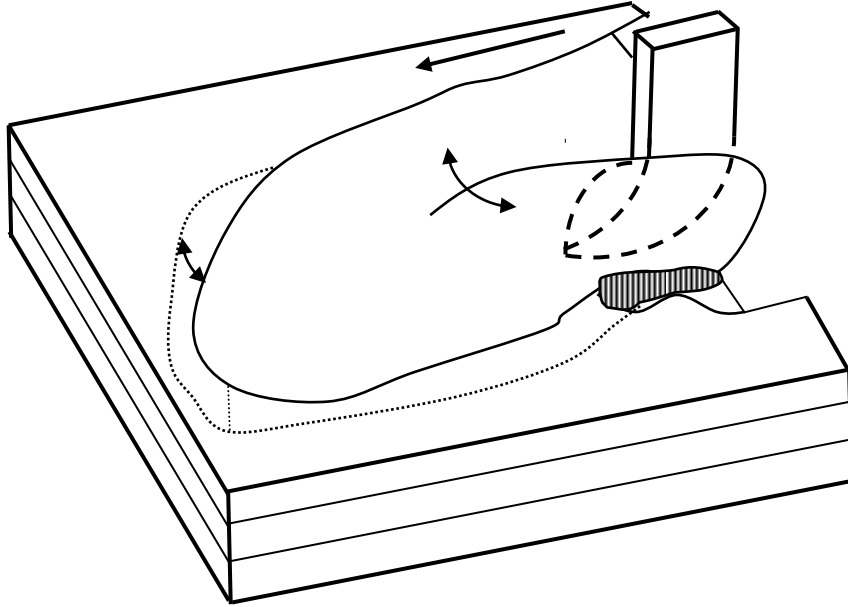


2.3. Sedimanter Kayaçlar

Değişik ortam ve koşullarda çeşitli malzemelerin birikip, çimentolanma sonucu kayaçlaşması ile oluşmuşlardır. Sedimanter kayaçların ayrışmaları; daha ziyade erime, içlerindeki suyun donmasıyla parçalanma ve tabak yüzeyleri boyunca ayrılıp dağılma şeklinde olmaktadır. Sedimanter kayaçlardaki su varlık ve hareketi, diğer kayaçlara oranla çok fazladır. Bu nedenle, suyun eritme ve donma etkilerinden daha fazla zarar görürler. Bu şekilde meydana gelen bozulma, boşluk ve çatlakların; kayacı zayıflattığı ve sökülebilirlik derecesini arttırdığı söylenebilir (Öncel, 1979).

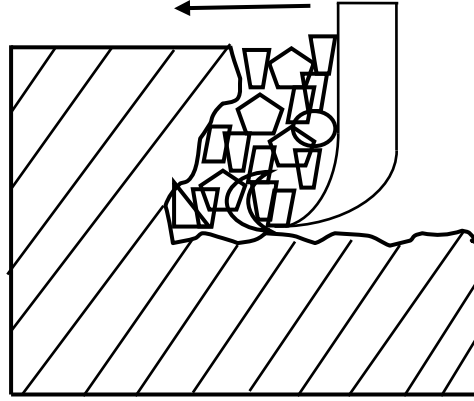
Sedimanter kayaçlarda sökülebilirlik, tabakalanma ile de ilişkilidir. Tabaka ara yüzeyleri genellikle zayıf zonlardır. İnce tabakalanma sökülebilirliği arttıran bir faktördür. Sedimanter kayaçlarda, magmatik kayaçlardan farklı olarak kıvrım eksenleri boyunca meydana gelen “gerilme çatlaklarının” varlığı da sökülebilirliği arttıran etkenlerdendir.

Yatay tabakalanma gösteren formasyonlarda tabaka kalınlıklarının 30 – 50 cm’yi geçmemesi halinde sökücü araçla istenilen yönde çalışılabilir (şekil 6).



Şekil 6. Yatay tabakalanma gösteren formasyonda iş makinasının çalışma yönü

Eğimli tabakalanmanın mevcut olduğu bir ortamda ise sökücü araç ile tabaka eğimine uygun bir şekilde çalışılabilir (şekil 7).



Şekil 7. Sökücünün tabaka eğimine uygun çalışması

Sedimanter kayaçlardaki fasiyes değişiklikleri de sökülebilirlik üzerinde son derece etkindir. Aynı jeolojik yaşta olmalarına karşın sedimanter kayaçların, örneğin denizel, gölsel ve karasal gibi çok değişik fasiyeslerde olması çimentolanma derece ve cinslerini etkilemektedir. Doğada çok rastlanan sedimanter kayaçlar; konglomera, kumtaşı, şeyl, marn ve kalkerdir (Öncel, 1979).

- a) **Konglomera ve Kumtaşı:** Çapları 2 mm'den büyük olan çakıl ve blokların doğal bir çimento maddesi ile birleşmesinden oluşan kayaçlara konglomera, 0.02 – 2 mm çaplı tanelerin birleşmesinden oluşan kayaçlara da kumtaşı adı verilir. Parçaları birbirine birleştiren doğal çimento; kum, silt ve kil tanesi çapında olabildiği gibi, bileşim itibarıyla de kalkerli, silisli, killi, demirli ve jipsli olarak meydana gelebilirler. Çimentosu silisli olan konglomera ve kumtaşları çok sert ve son derece dayanıklıdır. Kalkerli olanlar ise, çimentosunun taneler arasını doldurma derecesine göre boşluklu veya yoğun olabilirler ve bu durum, dış etkenlere karşı olan dirençlerini değiştirmektedir. Kil çimentolu konglomera ve kumtaşları gevşek olup su ile karşılaşınca kolaylıkla dağılacak hale gelmektedirler.
- b) **Şeyl:** Kil parçacıklarının su içinde birikmesiyle bir çamur tabakası oluşmakta ve bu tabakaların üst üste gelmesiyle içlerindeki su dışarı çıkarak kil taneleri sıkışmaktadır. Zamanla sıkışık çamurdan sert ve sıkı kiltası meydana gelmekte, sıkışmanın artmasıyla kiltası laminasyon adı verilen ince tabakalı bir duruma geçmekte ve bu şekilde şeyller meydana gelmektedir. Şeyller su ile karşılaşınca kolaylıkla ayrılmaktadırlar.
- c) **Marn:** İçerisinde % 35-65 oranında kalker bulunduran killerdir. Marn, su ile karşılaştığında içine alır, hacimleri artar, dirençleri azalır ve kolaylıkla dağılır.
- d) **Kalker:** Karasal kalker ve denizel kalker olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Çorak bölgelerin yüzeysel kalkerleri, kalişler, kaynak ve derelerin çökelttiği

travertenler ve göllerin kalker çökeltileri; karasal kalker oluşumlarına örnektir. Çok yoğun ve serttirler. Denizel kalker oluşumları çok yoğun görünürler ve tabakalı olabildikleri gibi, kompakt veya som kaya şeklinde de bulunabilirler. Kalkerlerin su emmesi, erimesi ve çeşitli basınçlara karşı olan direnci dokusuna göre değişir. Sıkı ve kompakt olanların çok az aşınmasına karşın, boşluklu ve porozlu olanları suyun donarak parçalama etkisinden kolaylıkla zarara görürler.

2.4. Metamorfik Kayaçlar

Metamorfik kayaçlar; ısı, basınç ve kesme (makaslama) kuvvetinin magmatik ve sedimanter kayaçları beraberce veya ayrı ayrı etkilemesi sonucunda oluşmuşlardır. Kontakt metamorfizma ve rejyonel metamorfizma olmak üzere en çok rastlanan iki tip metamorfizma vardır. En çok rastlanan kontakt metamorfizma kayacı kuvarsittir (Öncel, 1979).

Kuvasit: Silis çimentolu kumtaşlarının metamorfizmaya uğramış şeklidir. Çok sert, sıkı ve sağlam bir kayaç olup, kesinlikle hiçbir ayrışmaya uğramaz.

Rejyonel metamorfizma sonucunda, kayaçların sökülebilirliğinde son derece etken olan iki yapı (şistiyet ve foliasyon) şekli meydana gelir. Doğada en çok rastlanan metamorfik kayaçlar şistler ve gnayslardır (Öncel, 1979).

- a) ***Şist:*** Orta derecede ısı, basınç ve kesme kuvvetine uğramış kayaçlardır. Doğada en çok rastlanana mikaşisttir. Şistler; ince levhalara ayrılma niteliği, mikaşist ise foliasyon özelliği göstermektedir. Bu nedenle, dinamik kuvvetler karşısında zorlanarak ayrılırlar.
- b) ***Gnays:*** Yüksek ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğramış kayaçlardır. Granit bileşiminde olup, içerisinde genellikle kuvars, feldispat, mika ve hornblend mineralleri bulundurur. Dinamik kuvvetler karşısında foliasyon özelliği nedeniyle kalın tabakalar halinde ayrılmaktadır.

3. ZEMİN VE KAYAÇLARI, KAZI VE SÖKÜ YÖNÜNDE SINIFLAMADA KULLANILAN KLASİK YÖNTEMLER

Kazı ve sökü işlerinde gözlem, çukur açma, el burgusu ve mekanik sondaj ile delme gibi yöntemlerle belirlenen ve sınıflamaya göre zemin ve kayaçlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:



- i) **Toprak Zeminler:** Kazma ucu ile sökülebilir nitelikteki zayıf kil, silt, kum, çakıl ve bu malzemelerin değişik oranlarda birbirine karışmasıyla meydana gelen zeminler ile kayaçların aşırı alterasyon ürünü olan malzemeler bu sınıfta toplanırlar.
- ii) **Küskülük Zemin ve Kayaçlar:** 0.03 – 0.4 m³ hacmindeki kaya bloklarla, bu blokları egemen eleman olarak içinde bulunduran zeminler, kayaçların alterasyon zonları, gevşek ve yumuşak sedimanter kayaçlar, gevşek şist vb bu gruba girer. Sökücü araçlarla sökülebilen zemin ve kayaçlardır.
- iii) **Kayaçlar:** 0.4 m³'den daha büyük hacimdeki kaya bloklarla, bu blokları egemen eleman olarak içinde bulunduran zeminler, magmatik kayaçlar, sert ve sıkı çimentolu kayaçlar, sert ve sıkı şistler, gnays ve kuvarsitler bu gruptadır. Ancak kompresörleme veya dinamitle parçalama yöntemi ile sökülebilirler.

4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Kayaçların ve zeminlerin sökülebilirlik / kazılabilirliklerinin tespit çalışmalarında jeofizik yöntemler, hızlı ve etkili sonuçlar üretmesi sebebiyle uzun yıllardır kullanılmaktadır. Temel amaç, kazı ve sökü işleri gerektiren projelerde zemin ve kayaçların sökülebilirliğini (rippability) ve ayrışma düzeylerini önceden saptamak, sökülebilirlik/kazılabilirlik özelliklerine göre üretim miktar ve zamanını hesaplamak ve kazıcı/sökücü makine seçimi konusunda öneri getirmektir. Sökülebilirlik/kazılabilirlik tespit projelerinde yaygın olarak sismik kırılma (refraksiyon) yöntemi kullanılmaktadır.

Etüdü gerçekleştirecek mühendis tarafından projenin boyutları, olası kazı derinliği, avan projesi, jeolojik koşullar, çevresel etkiler vb göz önüne alınarak bir saha ölçü dizaynı ve planı yapılacaktır.

Kayaçların ve zeminlerin sökülebilirlik / kazılabilirliklerinin tespit çalışmaları için belli başlı jeofizik yöntemler aşağıda verilmiştir. Hedef derinlikler, olası işletme planları, olası kazı üretim planı, finansal kısıtlamalar vb göz önüne alınarak bu yöntemlerden bir ya da birkaçı veya harici başka metotlar da kullanılabilir.

4.1. Sismik Yöntemler

Sökülebilirlik / kazılabilirlik tespit projelerinde yaygın olarak kullanılan temel jeofizik uygulama, sismik kırılma (refraksiyon) yöntemidir ve doğrudan rol almaktadır.

Amaca ve proje alanının topografik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak belirlenen profil ve serim doğrultularında sismik kırılma yöntemi ilkelerine göre ölçümler yapılarak sismik boyuna dalga hızları



(V_p) ve hız değişimlerine göre de tabaka sınırları saptanır. Hız değerlerine dayanılarak ilgili ulusal/uluslararası kabul görmüş tablolar kullanılarak hangi kesimlerin ve tabakaların ne tür sökücü araçlar yardımıyla ekonomik olarak kaldırılabilirliği belirlenir. Araç ile sökülemeyecek ve patlayıcı madde kullanımının zorunlu olacağı tabakalar ve bu tabakaların konum ve derinlikleri saptanır. Kazı yöntemi ve yönü konusunda proje detayları üretilir. Zemin / kaya, sökülebilirlik / kazılabilirlik açısından ayrıntılı olarak sınıflandırılıp kesitler halinde gösterilerek yüklenici-idare arasında birim fiyatlar açısından söz konusu olabilecek anlaşmazlıklar en aza indirgenir.

Arazi ölçümlerine göre boyuna dalga hızı hesaplamaları yapıldıktan sonra, bu hız değerlerine ve proje sahasındaki jeolojik birimlere göre tablolardaki istatistik sınıflamalar kullanılarak çeşitli sökücü araç tiplerine bağlı sökülebilirlik düzeyleri belirlenir. Bu hesaplama ve değerlendirmelere dayanılarak proje alanında araçla sökülebilir kısımlar için eş kalınlık ve eş hız haritaları hazırlanır.

Sökülebilirlik/kazılabilirlik tespitinde birincil temel parametre V_p dalga hızı olmakla birlikte, bazı araştırmacıların sismik hız yanında destekleyici jeofizik parametre önerileri de mevcuttur (çizelge 2).

Çizelge 2. Rezistivite değerine göre kayaç sökülebilirliği (Ercan, 1999)

Rezistivite (Ωm)	Sökülebilirlik
< 30	Kolay
30 – 50	Orta
50 – 80	Zor
80 – 110	Çok Zor
110 - 130	Oldukça Zor

4.1.1. Sismik Kırılma (Refraksiyon) Yöntemi

Sismik kırılma (refraksiyon) yöntemi, ulusal ve uluslararası standartlarda verildiği şekilde uygulanır.

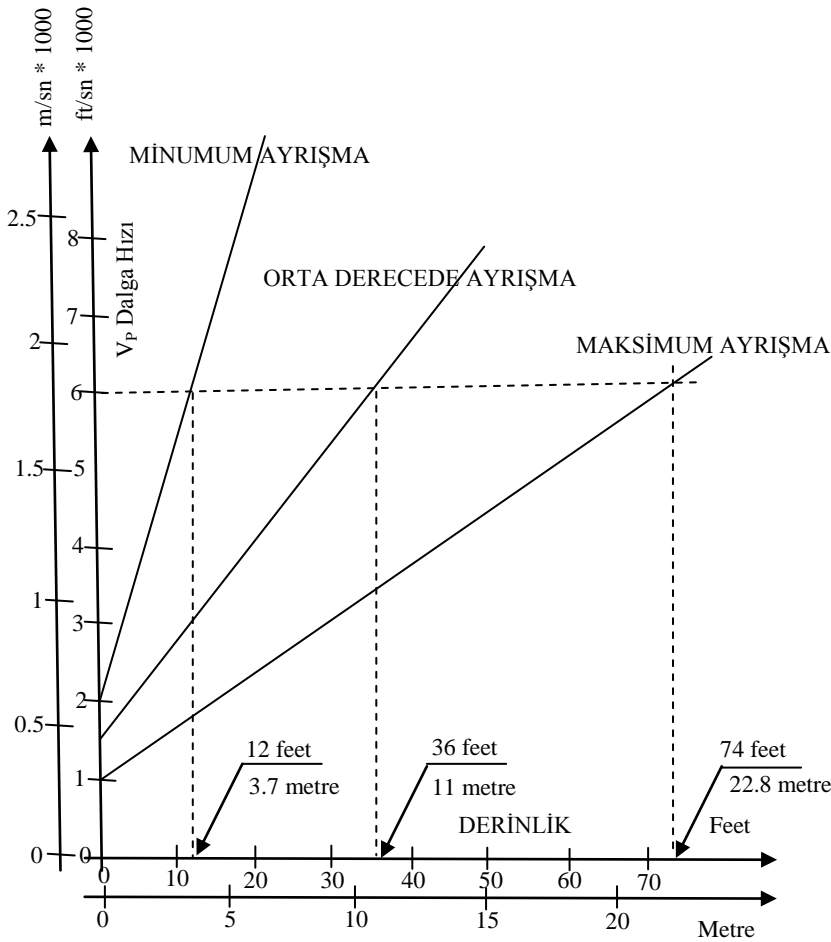
5. KAYAÇLARIN AYRIŞMA DERECELERİ İLE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN P TİPİ (V_p) SİSMİK DALGA HIZLARI İLE SAPTANMASI

Kayaçların ayrışma zonları üzerinde yapılan sismik refraksiyon uygulamaları, kayaçlardaki ayrışma-sökülebilirlik ilişkisini belirlemeyi sağlamıştır. Magmatik ve metamorfik kayaçlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen ve söz konusu kayaçların ayrışma derecelerini minimum, orta derecede ve maksimum olmak üzere 3 gruba ayıran diyagram, şekil 8'de verilmiştir (Church, 1964).



Derinliğin artması ile ayrışma zonlarındaki P tipi sismik dalga hızı değerleri lineer bir artış göstermektedir. Söz konusu artış, az miktarda da olsa, üstteki ağırlık nedeniyle meydana gelen sıkışma (kompaksiyon) dolayısıyla oluştuğu gibi, genellikle ayrışma derecelerinin derinlikle düzenli olarak azaldığını göstermektedir (Öncel, 1979).

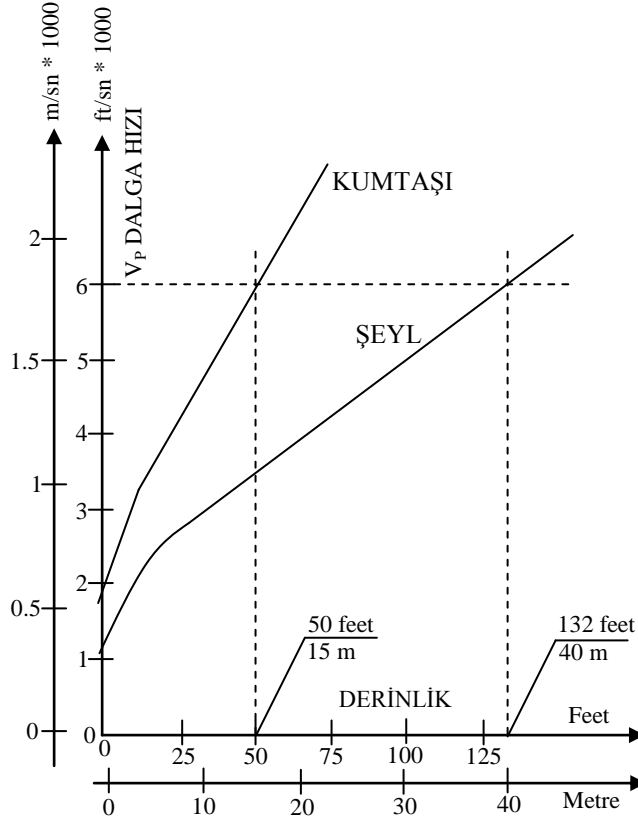
Kayaçların ayrışma zonlarındaki egemen kırık ve çatlak sistemine dik yönde elde edilen P tipi sismik dalga hızı değerleri, uygun yönde elde edilen hız değerlerinden genellikle küçük çıkmakta, bu durum da kayaçta birbirine paralel şekilde uzanan çatlak sistemi yüzeylerinin, bu yüzeylere dik veya dike yakın olarak gelen sismik enerjiyi zayıflattığı gerçeğini ortaya çıkarmaktadır (Öncel, 1979).



Şekil 8. Boyuna dalga hızı (V_p) – ayrışma ilişkisi (Church, 1969, Öncel 1979'dan revize edilmiştir)

Şekil 8'de sunulan diyagram, P dalga hızları açısından orta güçteki sökücü araçlarla sökülmezlik sınırı olan 1900 – 2000 m/sn hız değerinde, bazı ayrıcalıklar dışında ayrışma zonlarının hangi derinliklere kadar sökücü araçlarla sökülebileceğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte; sedimanter kayaçlardaki sökülebilirlik dokudan ziyade yapısal özelliklere daha çok bağıdır ve tabakalanma, çatlaklılık ve çimentolanma dereceleri daha önem kazanmaktadır. Sedimanter kayaçlarda; minerolojik ve taneler dokuların genel olarak diğer kayaçlara oranla zayıf oluşu, sökülmelilik sınırlarının daha yüksek P tipi sismik dalga hızı değerlerinde başlamasını sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, sökülebilirlik sınırları daha geniş olmaktadır. Şekil 9'da sedimanter kayaçlar için hazırlanmış bir diyagram görülmektedir.



Şekil 9. Sedimanter kayaçlar için boyuna dalga hızı (V_p) – ayrışma derecesi ilişkisi (Church, 1969, Öncel 1979'dan revize edilmiştir)

6. P- SİSMİK DALGA HIZI (V_p) – SÖKÜLEBİLİRLİK VE KAZI/SÖKÜ ARACI İLİŞKİLERİ

Taşınma ile meydana gelen kil, silt, kum ve çakıl boyutlu, kohezyonsuz ve az kohezyonlu birikinti ve döküntü malzemelerle, kayaçların aşırı ayrışma ürünü olan orta derecede kohezyonlu zeminler genellikle 900 – 1000 m/sn değerinden daha küçük sismik hız değeri verirler (Öncel, 1979).

Bu tip zeminler, yerine ve amacına göre skreyper (şekil 10a), greyder (şekil 10b), loader (şekil 10c), trencher (şekil 10d) ve kepçeli-çeneli kazı makinaları (şekil 10e, 10f) gibi araçlarla kolayca sıyrılıp, kazılabilirler.

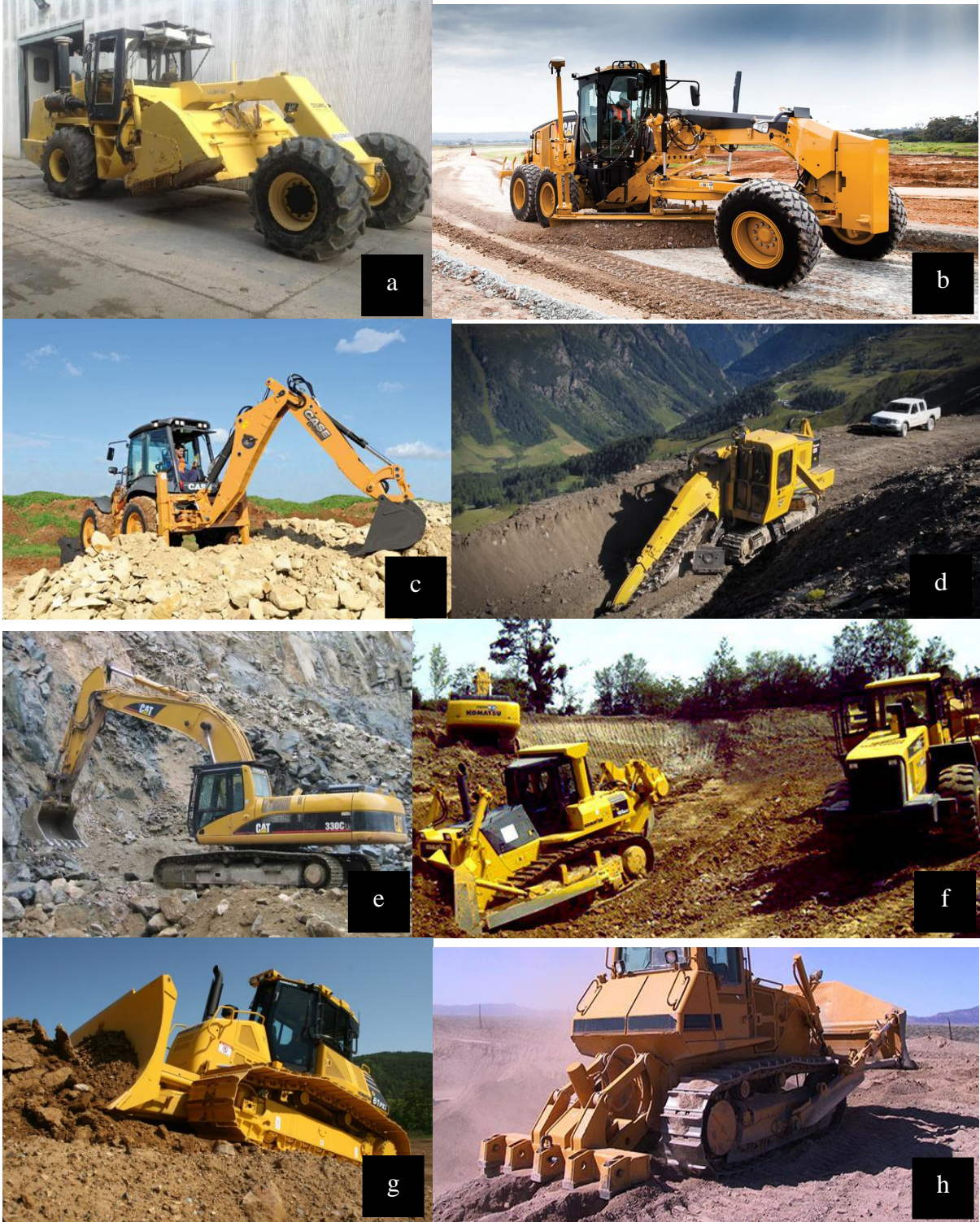
Aynı şekilde taşınma ile meydana gelen kil, kumlu kil, çakıllı kil ve bloklu kil gibi konsolide olmuş, fazla kohezyonlu ve gevşek çimentolu birikinti ve döküntü malzemelerle, kayaçların aşırı ayrışma ürünü olan fazla kohezyonlu zeminler 1000 – 1500 m/sn arasında bir sismik hız değeri verirler.

Bu tip zeminler, yerine amacına göre skreyper, trehcher, kepçeli ve çeneli kazı makinası ve buldozer (şekil 7g) gibi araçlarla orta derecede ve bazen zor bir şekilde sıyrılıp, kazılabilirler ve sökülebilirler (Öncel, 1979).

Magmatik ve metamorfik kayaçların ayrışmaya uğramış zonları, zayıf ve gevşek yapılı, çatlaklı ve ayrışmaya yüz tutmuş sedimanter kayaçlar ve bazı hallerde kil, kum, çakıl ve blokların orta derecede çimentolanması ile meydana gelen ve “hardpan” adı verilen, zemin ve kayaç arası oluşumlar 1500-2000 m/sn arasında bir sismik hız değeri verirler (Öncel, 1979).

Zemin ve kayaç arasında ayırt edilmesi güç bu yapı, ripper (şekil 10h) adı verilen (sökü amacıyla arkasına çengel takılan buldozer) sökü araçları ile sökülebilmektedir.

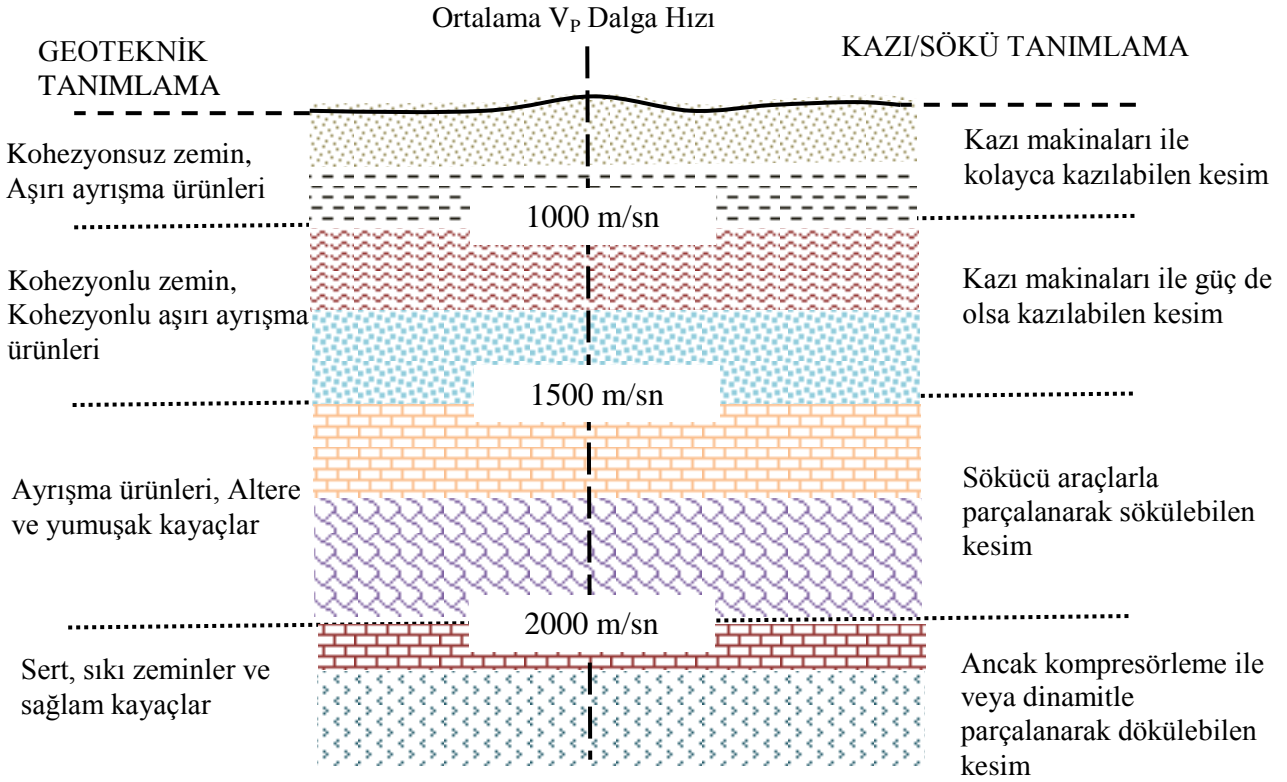




Şekil 10. Bazı iş makinası türleri (a) skreyper, (b) greyder, (c) loader, (d) trencher, (e) ve (f) kepçeli-
çeneli kazı makinaları, (g) buldozer, (h) ripper

2000 m/sn değerinden daha büyük bir sismik hız değeri veren kayalar ise sırasıyla az çatlaklı, minimum derecede ayrılmış, kompakt veya masif bir yapı özelliği gösterirler. Bu kayalar ancak

kompresörleme ya da dinamitle parçalama yoluyla sökülebilirler. Şekil 11, Church (1964) tarafından verilen zemin ve kayaç sınıflamasını göstermektedir.



Şekil 11. Orta güçteki sökücü araçlar için zemin ve kayaç sınıflaması (Church, 1964'den revize edilmiştir)

Bailey (1974), zemin ve kayaç sökülebilirlikleri ile V_p dalga hızları arasındaki ilişkiyi, ripper'lar açısından çizelge 3'de vermiştir.

Çizelge 3. Orta güçteki sökücü araçlar için V_p dalga hızı – sökülebilirlik (Bailey, 1974)

ORTA GÜÇTEKİ SÖKÜCÜ ARAÇLAR İÇİN	Sökülebilirlik	Kolay	Orta Derecede	Güç
	Derecesi	Sökülebilir Ortam	Sökülebilir Ortam	Sökülebilir Ortam
V_p Dalga Hızları		500 m/sn – 1000 m/sn 1500 ft/sn – 3000 ft/sn	1000 m/sn – 1500 m/sn 3000 ft/sn – 4500 ft/sn	1500 m/sn – 2000 m/sn 4500 ft/sn – 6000 ft/sn

Aynı şekilde; Bailey (1974), zemin ve kayaçların sökülebilirlik niteliğini ağır güçteki ripper'lar açısından sınıflandırmış (çizelge 4) ve bir kodlama geliştirmiştir.

Çizelge 4. Ağır güçteki sökücü araçlar için V_p dalga hızı – sökülebilirlik (Bailey, 1974)

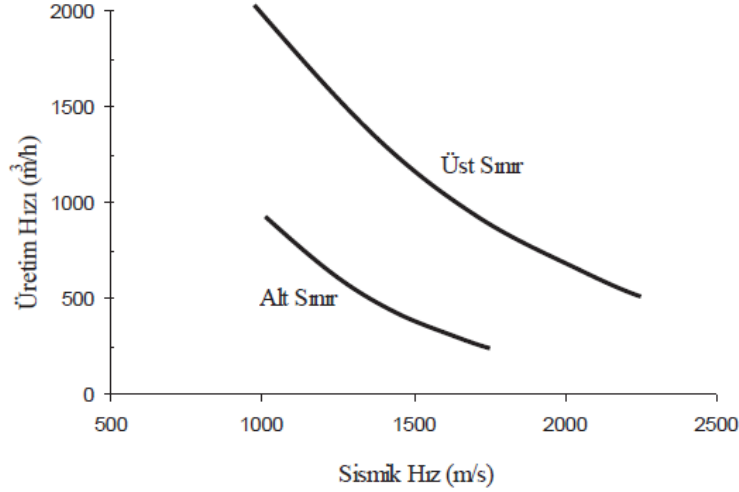
AĞIR GÜÇTEKİ SÖKÜCÜ ARAÇLAR İÇİN	V_p		Sökülebilirlik	
	Dalga Hızları		Derecesi	
	<u>ft/sn</u>	<u>m/sn</u>	<u>Niteliği</u>	<u>Kod Numarası</u>
	1000 – 2000	350 – 670	ÇOK KOLAY	1-3
	2000 – 3000	670 – 1000	KOLAY	3-4
	3000 – 5000	1000 – 1700	ORTA	4-6
	5000 – 7000	1700 – 2300	ZOR	6-8
	7000 – 8000	2300 – 2700	ÇOK ZOR	8-9
	8000 – 9000	2700 - 3000	SON DERECE ZOR	9-10

Kayaç sökülebilirliği tayini konusunda ilk ayrıntılı çalışmalar, 1958 yılında “Caterpillar firması” tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, kayaçların arazide ölçülen sismik hız değerlerine ve sökücü makine güçlerine bağlı olarak, sökülebilirlik sınırları (çizelge 5) ve üretim hızları (şekil 12) önerilmiştir.

Çizelge 5. Sismik hız-sökülebilirlik ilişkileri (Öncel, 1975; Göktan ve İphar, 2013)

Sismik Hız (m/sn)	Sökülebilirlik	Makine Sınıfı	Makine Gücü (kW)
300-600	Çok Kolay	D7	149
600-900	Kolay	D7-D8	
900-1500	Orta	D8	224
1500-2100	Zor	D9	305
2100-2400	Çok Zor	D9-D10	
2400-2700	Son Derece Zor	D10	522

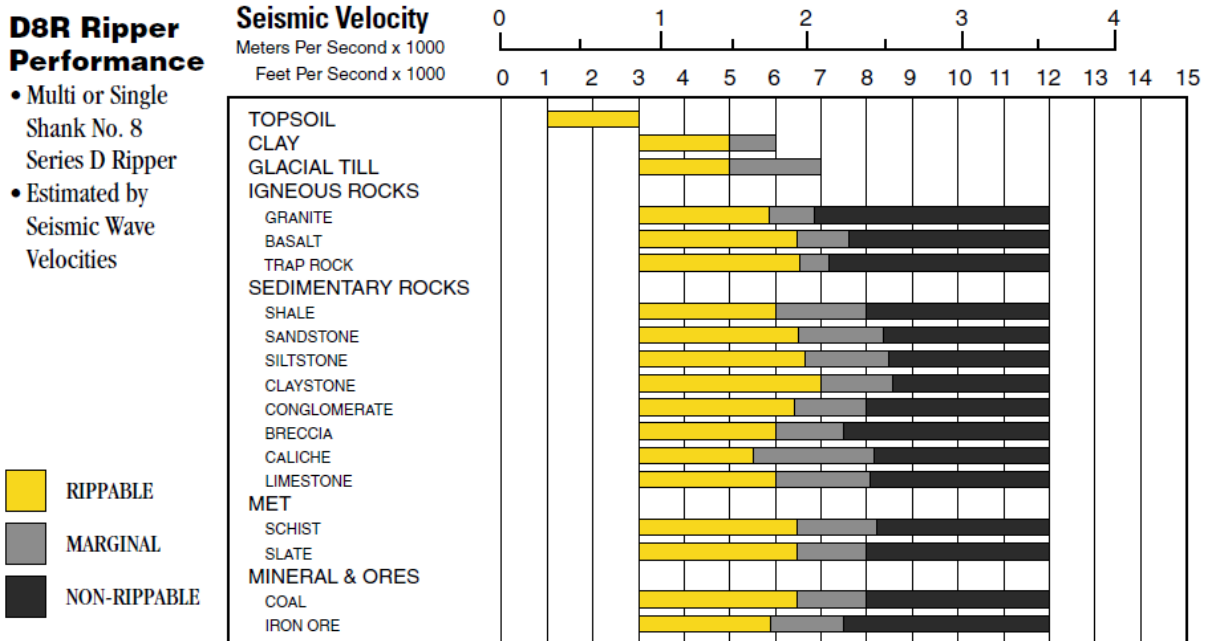
Yerinde elde edilen sismik hız değerleri, incelenen kaya kütleleri için bir "sağlamlık" ölçütü olarak kullanılmakta ve örtü kazı işlerinde (i) *kazı türünün tayini* (ii) *makine parkının seçimi* (iii) *üretim hızının kestirimi* ve (iv) *birim kazı fiyatının belirlenmesi* gibi konularda yol gösterici olmaktadır (Göktan ve İphar, 2013).



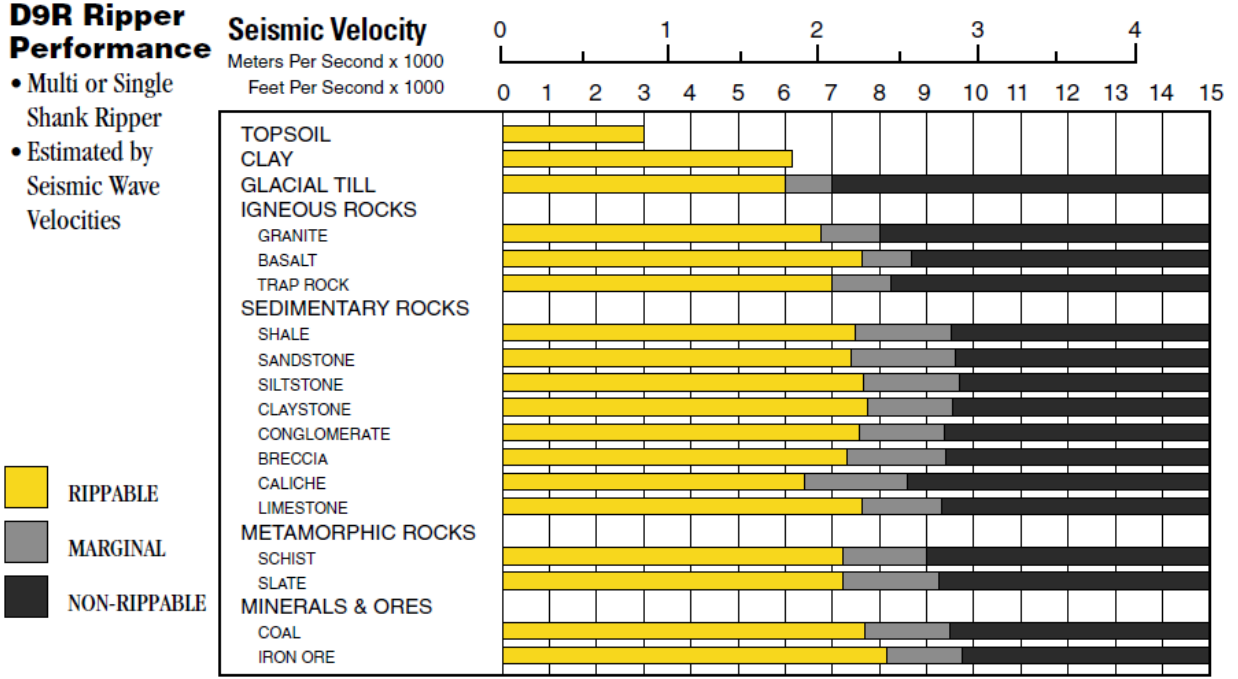
Şekil 12. Cat D9 modeli sökücü için sismik hız-teorik üretim hızı ilişkisi (Anon, 1980; Gökhan ve İphar 2013)

Caterpillar firmasının yapmış olduğu çalışmalar ve edinmiş olduğu deneyimler sonucunda, orta ve ağır güçteki ripperlara ilişkin olarak zemin ve kayaçların sökülebilirlik / kazılabilirlik ve sökölmezlik sınırları ile bu iki tanımlama arasında kalan ortamlar, güçleri belirli sökü araçları açısından değerlendirmeye tabi tutulmuştur (çizelge 6, çizelge 7, çizelge 8, çizelge 9). Caterpillar firması üretimi olmayan diğer araçlar için de (benzer güçteki araçlar) bu çizelgeler kullanılabilir. Makina güç ve özellikleri çizelge 1’de sunulmuştur.

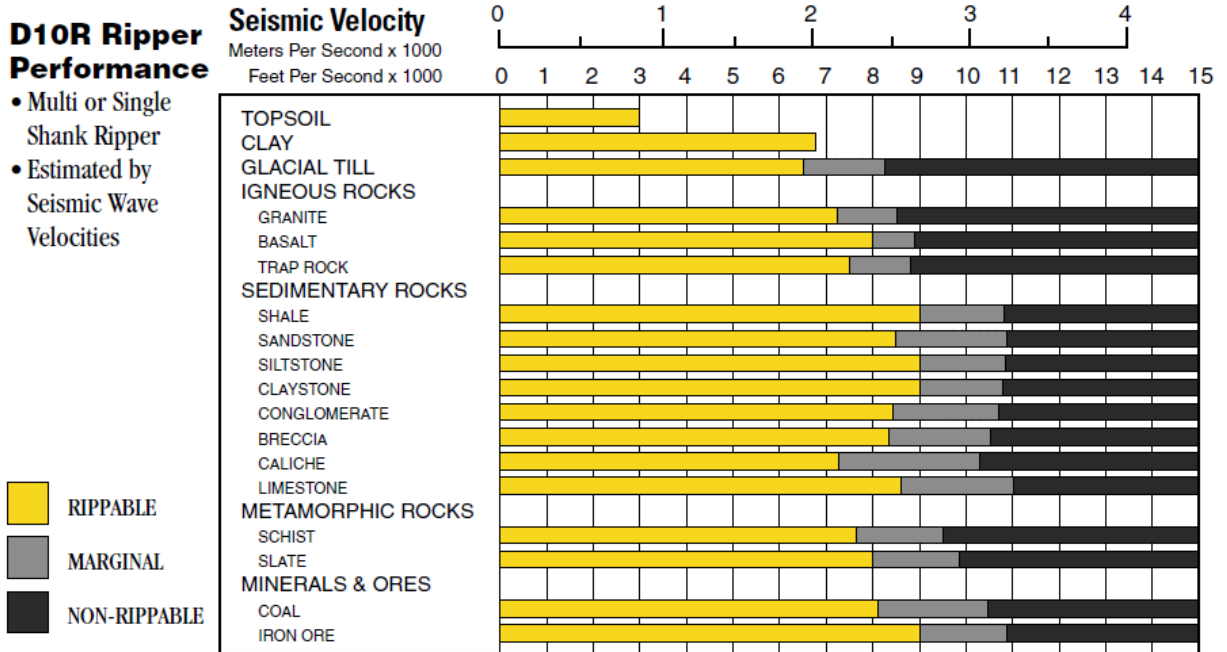
Çizelge 6. D8R sökücü/kazıcı performansı için (tekli ya da çoklu sökü ucu) zemin ve kayaçlarda sismik hız-kazı/sökü ilişkisi (Caterpillar, 2000)



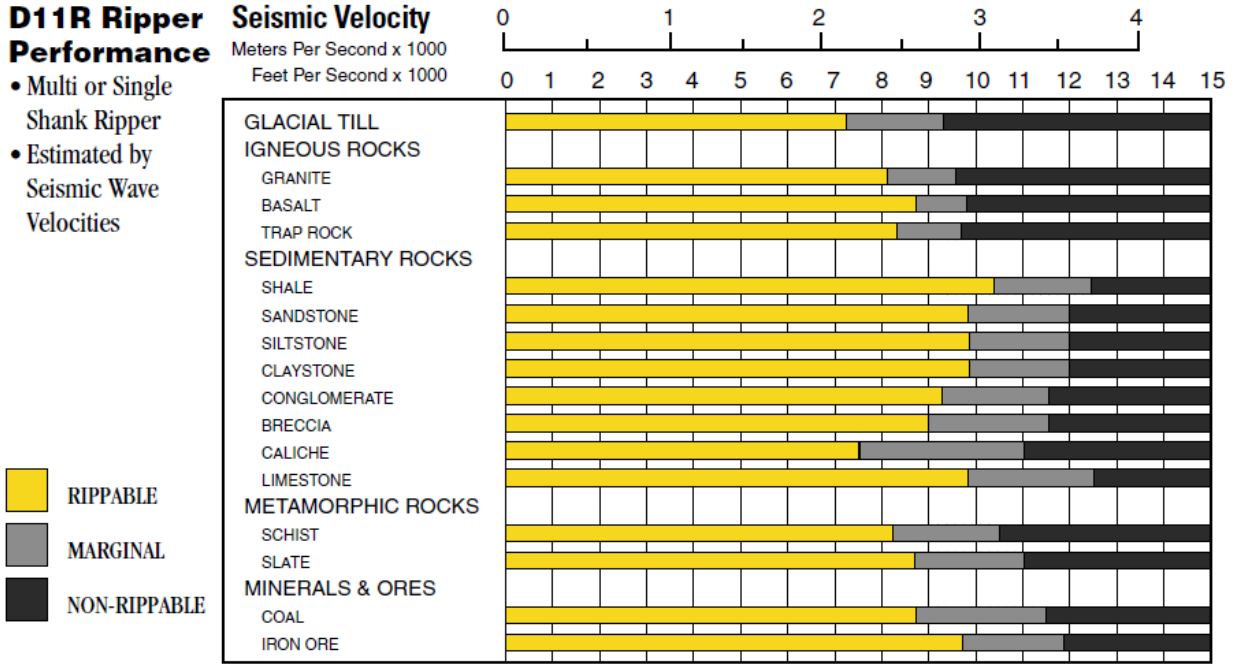
Çizelge 7. D9R sökücü/kazıcı performansı için (tekli ya da çoklu sökücü) zemin ve kayalarda sismik hız-kazı/sökü ilişkisi (Caterpillar, 2000)



Çizelge 8. D10R sökücü/kazıcı performansı için (tekli ya da çoklu sökücü) zemin ve kayalarda sismik hız-kazı/sökü ilişkisi (Caterpillar, 2000)



Çizelge 9. D11R sökücü/kazıcı performansı için (tekli ya da çoklu sökü ucu) zemin ve kayalarda sismik hız-kazı/sökü ilişkisi (Caterpillar, 2000)



Kayaçların sökü araçları ile sökülebilen ayrışma zonları ile ancak kompresörleme veya dinamitle parçalama yoluyla yerinden kaldırılabilen sert, sıkı, sağlam ve kompakt kütleleri arasında kalan yarı ayrılmış – yarı sağlam nitelikteki kesimleri, birçok faktöre bağlı olarak çizelgelerde “*yarı sökülebilir (marginal)*” bir ortam olarak gösterilmiştir. Söz konusu faktörleri, kayaçların kendi içlerinde dahi göstermiş oldukları yapısal heterojenitelere bağlamak gerekmektedir (Öncel, 1979).

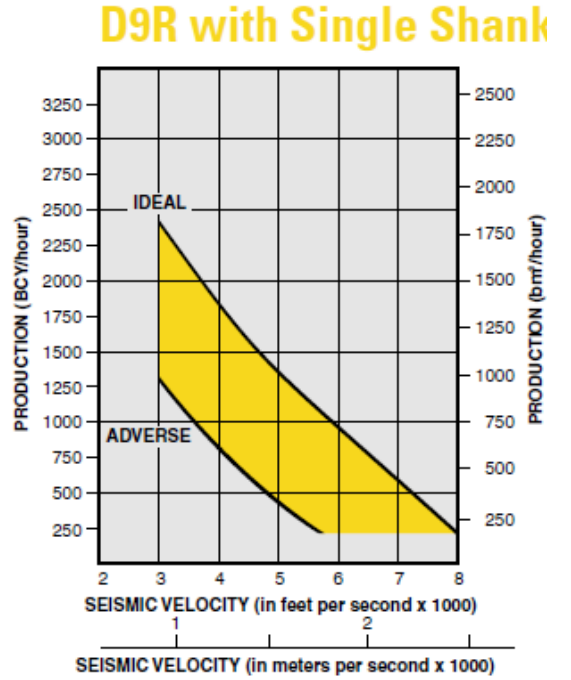
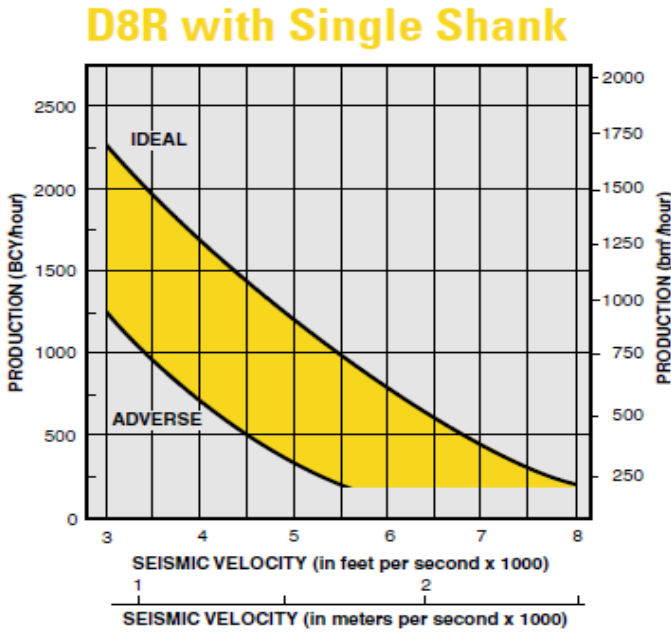
Bilindiği üzere; V_p dalga hızının su içerisindeki değeri 1450 m/sn'dir. Suya doymun kum ve çakıllı zeminlerde, özellikle porozlarında aynı şekilde doymun olarak su taşıyan gevşek ve yumuşak kumtaşları, kuru iken vermiş oldukları sismik hız değerlerinden daha yüksek bir hız değeri verirler. Sismik hız değerleri 1500 – 1600 m/sn değerine kadar ulaşan söz konusu akifer özellikteki zemin ve kayaçları, başka yöntemlerle de olsa, kesinlikle ayırt etmek gerekmektedir. Sökülebilirlik/Kazılabilirlikte kriter olarak kullanılan hız değerleri, zemin ve kayaçların kuru iken vermiş oldukları değerleridir (Öncel, 1979).

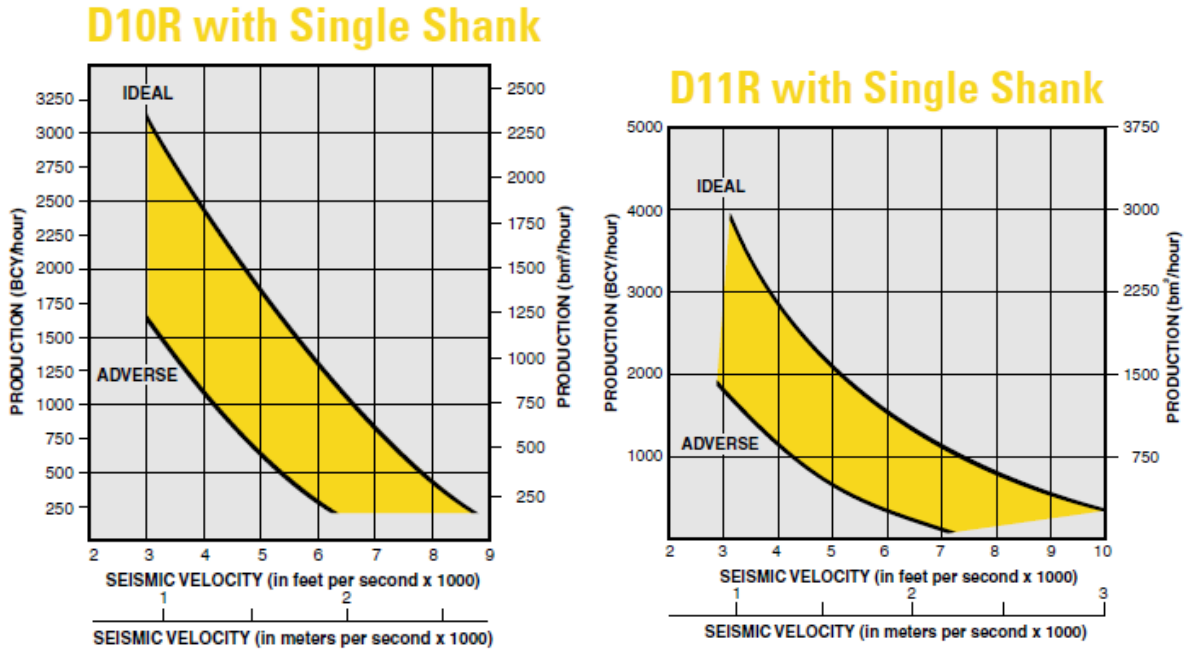
7. SÖKÜCÜ / KAZICI ÜRETİM MİKTARININ TAHMİN EDİLMESİ

Sökü maliyetleri, genellikle delme ve patlatma gibi malzeme gevşetme metodları ile karşılaştırılmalı ve ton başına maliyet biriminden hesaplanmalıdır. Sökü/kazı üretiminin doğru tahmini, birim kazı

maliyetlerinin belirlenmesine ihtiyaç duymaktadır. Sökü üretiminin tahmininde genel olarak 3 method kullanılır.

- i) Kabul edilmiş ve en yaygın olarak kullanılan method; survey ve sahanın kesitinin çıkarılması ve ardından kazı için harcanan zamanın kaydedilmesidir. Malzemenin kaldırılmasının ardından; sökülen kayaç hacminin belirlenmesi için tekrar kesit çıkarılır. Hacmin, harcanan sökü/kazı zamanına bölünmesi ile sökü üretimi, saat başına m^3 biriminden hesaplanır.
- ii) Bir diğer yöntem, sökücü/kazıcı ve malzeme taşıyan kamyonların harcadığı zamanın kayıt edilmesidir. Toplam miktar ve gereken süre saat başına m^3 ya da ton cinsinden üretime çevrilebilir.
- iii) Üçüncü method; kazı uzunluğu, açıklığı ve derinlik parametrelerini temel alan sökü/kazı üretim formüllerinin *ve sismik dalga hızı-üretim eğrilerinin* (şekil 13) kullanılmasıdır.





Şekil 13. Sismik hız – üretim eğrileri (Caterpillar, 2000)

Sismik Hızlara Bağlı Tespitin Avantajları ve Kısıtlamaları

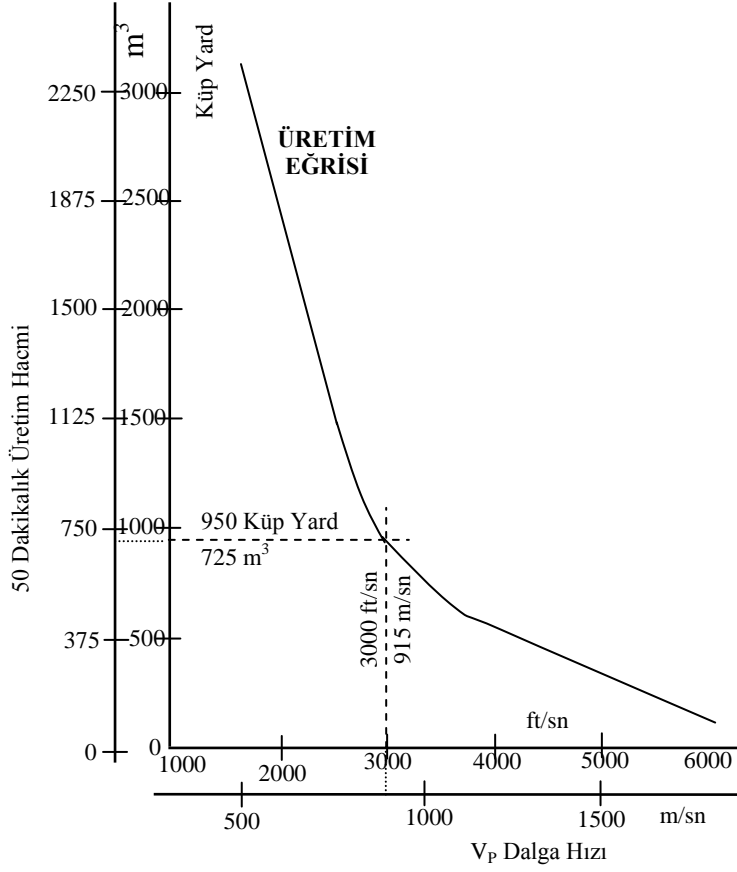
Klasik yöntemlerde,

- i) Kazma ve kürek ile çukur açma çalışmaları için büyüklüğüne bağlı olarak en az 8-10 işçi ile yürütülmekte ve işin ilerleme süresi, yarma ve hendek yüksekliği ile zemin ve bazı hallerde zemin-kayaç arası oluşumların niteliğine bağlı kalmaktadır.
- ii) Mekanik sondaj çalışmalarının malzeme, işçilik ve maliyet giderleri oldukça yüksek olmaktadır.

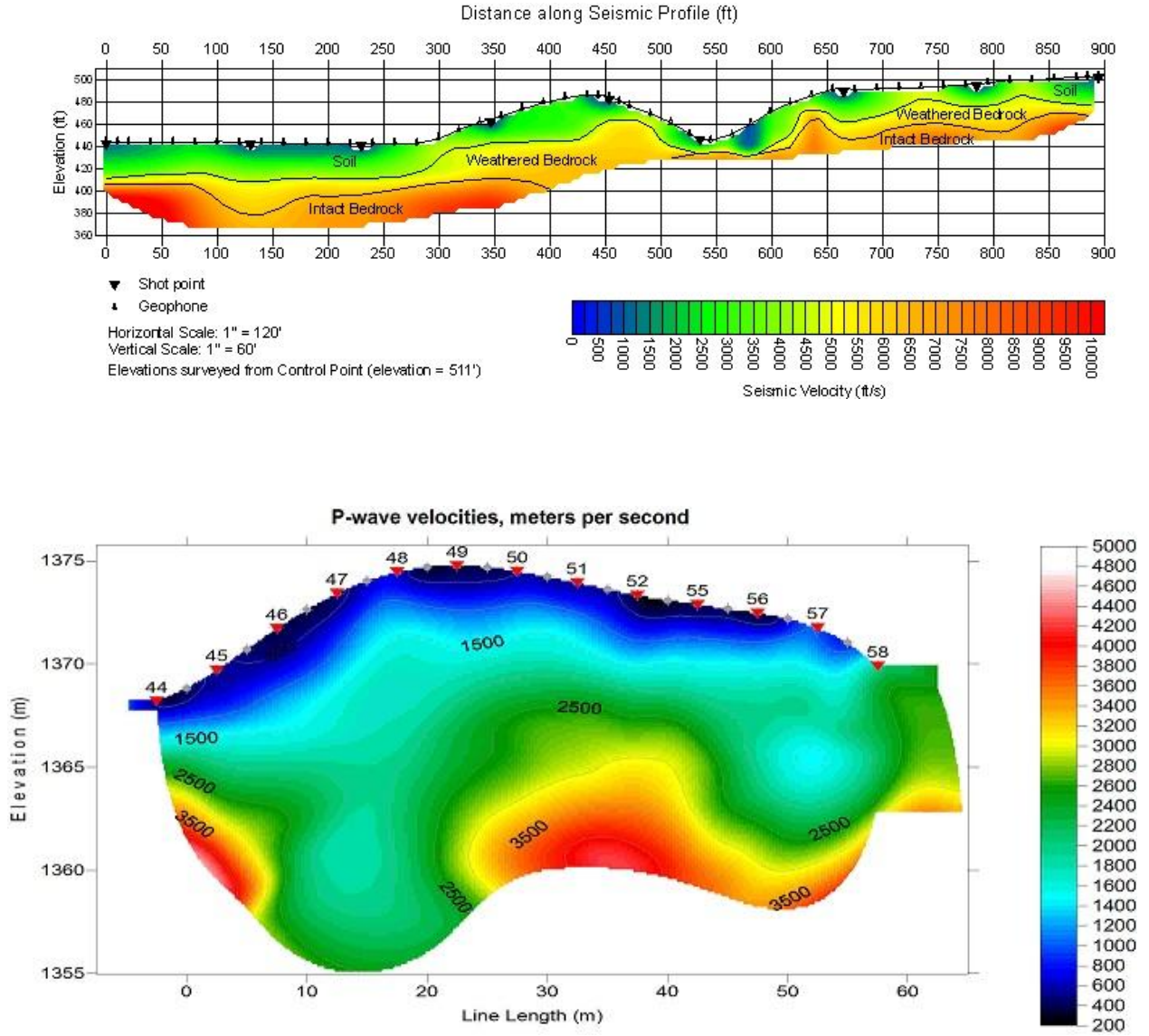
Bununla birlikte; sismik refraksiyon uygulamalarında,

- i) 2-3 işçi ile çok daha kısa zamanda ve daha büyük proje alanlarında araştırma yapılabilmektedir. Sismik yöntemler bir hat araştırma yöntemi olmakla birlikte 2D ve 3D modellerle alansal ve hacimsel araştırma olanaklarını da tanımakta ve bu kesitler üzerinde sökü/kazı nitelikleri kolaylıkla belirlenebilmektedir. (şekil 14).
- ii) V_p dalga hızlarına bağlı olarak zemin ve kayaç sökülebilirlik/kazılabilirliklerine göre üretim miktarları (m^3 /saat veya ton/saat) ve maliyetle ile olan ilişkileri de hesaplanabilmektedir (şekil 13, şekil 15).

- iii) Sismik hız değerlerine bağlı olarak sökücü/kazıcı makine parkının, yapım/imalat öncesi proje aşamasında planlanması sağlanmaktadır.
- iv) Özellikle karmaşık jeolojik yapıya (örneğin farklı sertlikte ve dik dalımlı tabakalarda sahip sahalarda) verilerin 1 boyutlu modellenmesinde zorluklar yaşanmakta ve bunun sonucu olarak makine parkı seçiminde sorunlar söz konusu olabilmektedir (Anon., 1969; Göktaş ve İp̄har, 2013). Bu açıdan; 2D ya da 3D modellemelerle karmaşık jeolojik yapıdaki proje sahalarında da bu sorunlar aşılabilmektedir.



Şekil 13. Sismik hıza bağlı olarak üretim hacmi hesabı eğrisi (Öncel, 1979'dan revize edilmiştir)



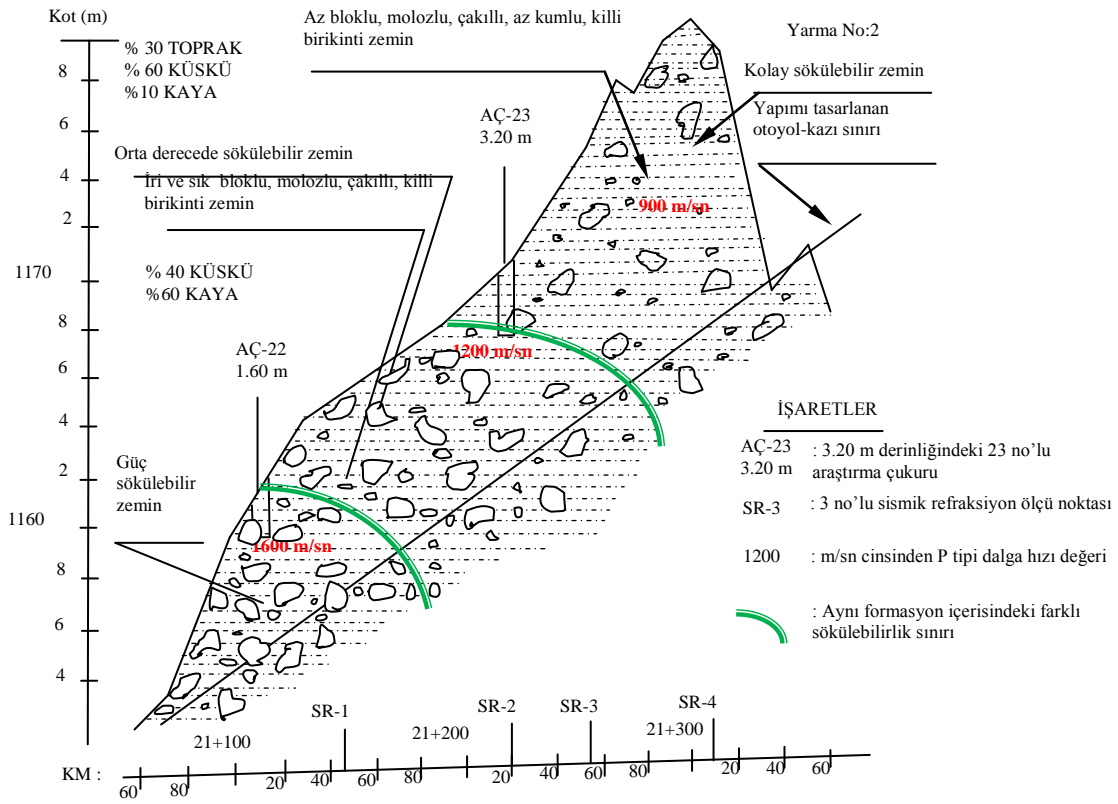
Şekil 14. 2D modelleme ile elde edilmiş V_p sismik hız-mühendislik kesitleri

- v) Suyu doymun ortamlarda primer sismik dalgalar çok daha hızlı bir şekilde hareket ettiğinden, katmanlaşma gösteren tipik çökel kayalarda yeraltısuyu varlığı da yanıtıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle; özellikle çökel kayalarda yapılan sismik çalışmalarda, yer altı suyu varlığının diğer yöntemlerle belirlenmesi gerekli olmaktadır. Yüksek poroziteli kaya malzemeleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalara göre; % 50-70 düzeyinde poroziteye sahip bir malzeme kuru durumda 300 m/s'lik bir sismik hız vermesine rağmen, suya doymun durumda 1350 m/s civarında bir sismik hız değeri verebilmektedir (Griffiths ve King, 1976; Gökten ve İphar, 2013).

Uygulama Örnekleri

Şekil 15 ve şekil 16’da otoyol projelendirilmesi aşamasında “yarma ile geçişin boy kesitleri” görülmektedir. Şekillerde hem klasik yöntemlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar hem de sismik refraksiyon uygulamalarından elde edilen hız değerleri birlikte izlenmektedir.

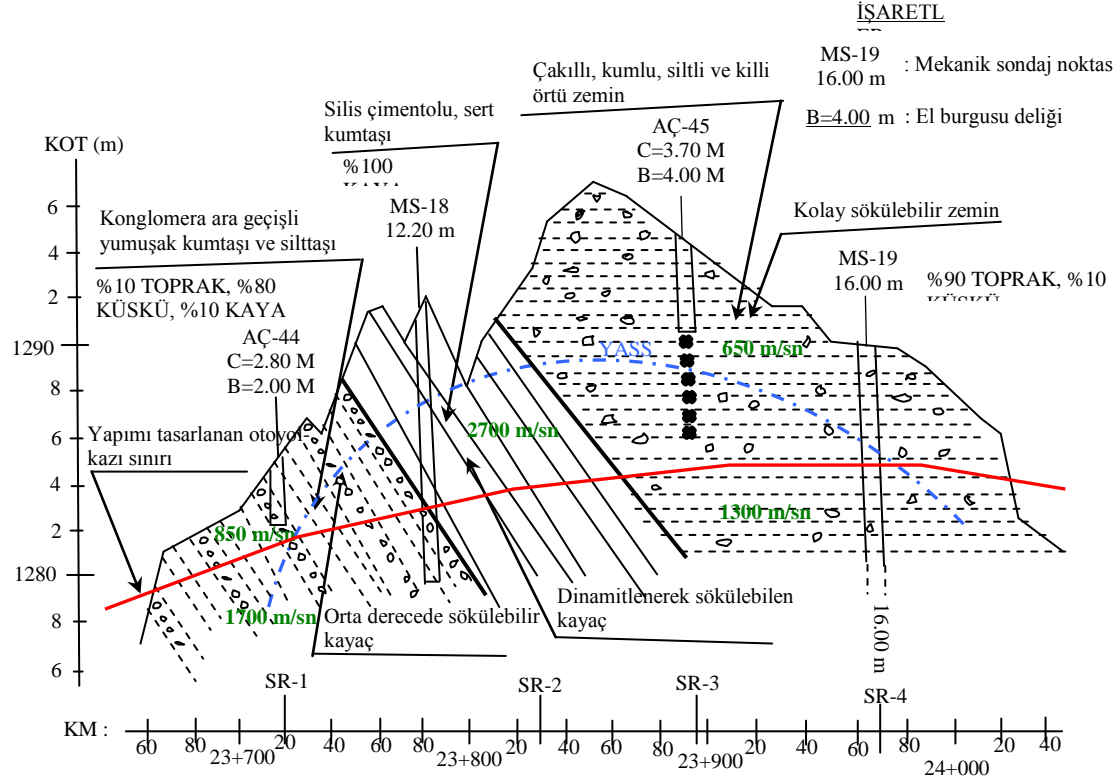
Şekil 15’de görülen çakıllı, az kumlu ve killi birikinti zemin, içerisindeki blok yüzdesine göre 900, 1200 ve 1600 m/sn gibi V_p hız değerleri vermektedir. Sökü/kazı sınıflamasına göre zemin orta güçteki söküçülerle kolay sökülebilir, orta derecede sökülebilir ve güç sökülebilir niteliklere ayrılmıştır.



Şekil 15. Örnek otoyol projesinde yarma ile geçişin boy kesiti (Öncel, 1979'dan düzenlenmiştir)

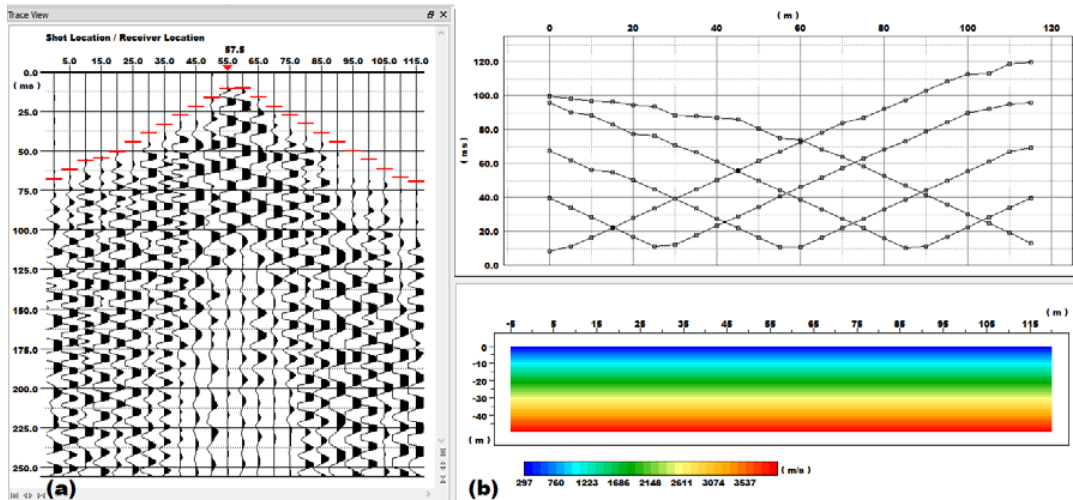
Şekil 16’da; konglomera ara geçişli, yumuşak kumtaşı ve silttaşı yüzeydeki ilk 3.00 m içerisinde 950 m/sn hız değeri vermekte, aynı formasyon yeraltısuyu seviyesi altında 1700 m/sn hız değerine yükselmektedir. Bu yükselmenin içerisinde, ince bir tabakalanma da gösteren formasyonun yüzeydeki ayrışma derecesinin derinlikle azaldığının da payı olduğunu belirtmek gerekir. Üstteki kuru kesimin vermiş olduğu sismik hız değerinin limtte oluşu dikkate alınarak, orta derecede sökülebilir bir ortam niteliğinde görülmüştür. Silis çimentolu, sert kumtaşının yarma sınırları içerisindeki sismik hız değeri de 2700 m/sn’dir ve kesinlikle dinamitle parçalanarak sökülebilecektir.

Yeraltı suyu seviyesi üstünde 650 m/sn, altında ise 1300 m/sn sismik hız değeri veren çakıllı, kumlu, siltli ve killi örtü (kayacın ayrışması ile yerinde oluşan) zemin, yine yeraltı suyu seviyesinin üstündeki sismik hız değeri ile çok kolay sökülebilir bir zemin olmaktadır.

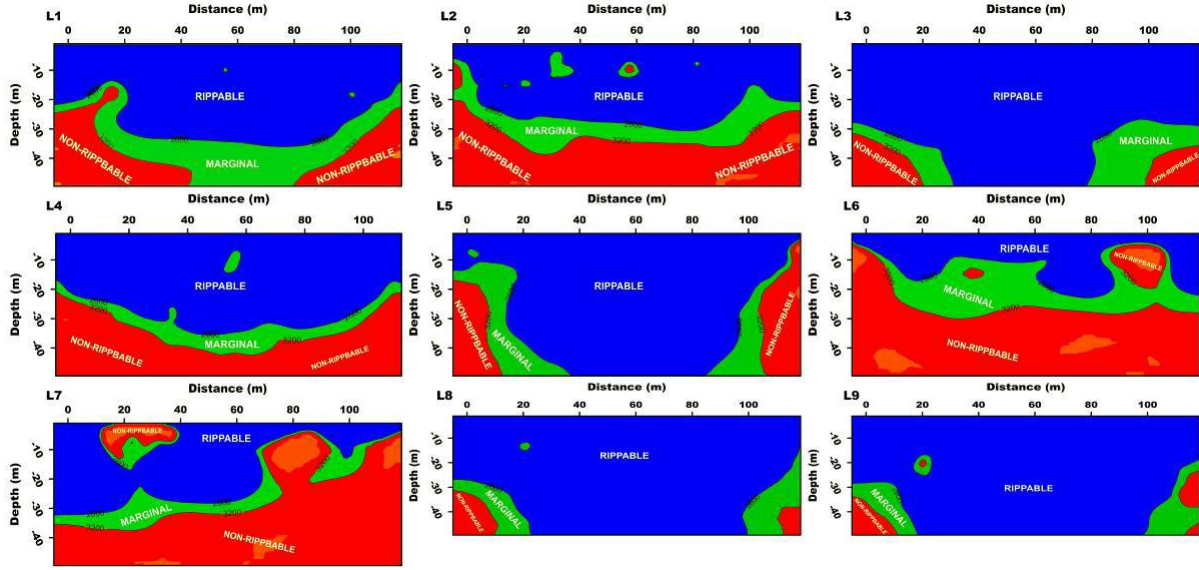


Şekil 16. Örnek otoyol projesinde yarma ile geçişin boy kesiti (Öncel, 1979'dan düzenlenmiştir)

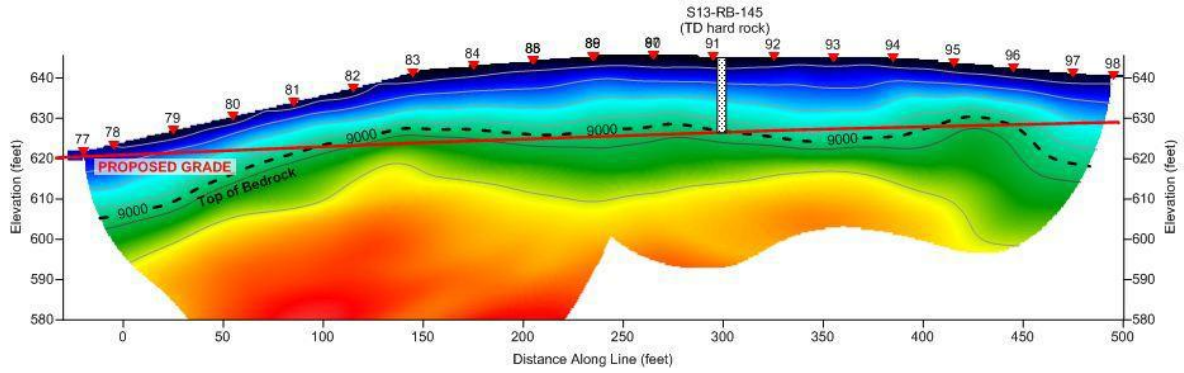
Bir diğer örnek ise 2 ya da 3 boyutlu ters çözüm ile sismik tomografi çalışması yapılarak ayrıntılı bir şekilde zemin ve kayaçların sökülebilirlik/kazılabilirlik özelliklerini belirlenmesidir (şekil 17, şekil 18, şekil 19).



Şekil 17. Sismik kayıt – ilk varış zamanları – zaman uzaklık grafikleri (Moustafa, 2015).



Şekil 18. Sismik tomografi çalışması sonucu planlanan her bir hat için belirlenen sökülebilirlik sınıflaması (Moustafa, 2015).



Şekil 19. Sökülebilirlik amaçlı sismik tomografi kesiti – mekanik sondaj (www.quality-geophysics.com)

8. SÖKÜLEBİLİRLİK / KAZILABİLİRLİK DEĞERLENDİRMELERİ, SONUÇLAR VE RAPOR HAZIRLANMASI

Jeofizik çalışmalar neticesinde;

- Kayaçların ve zeminlerin sökülebilirlik / kazılabilirliklerinin tespit çalışmalarında jeofizik yöntemler, hızlı ve etkili sonuçlar üretmesi sebebiyle uzun yıllardır kullanılmaktadır. Temel amaç, kazı ve sökü işleri gerektiren projelerde zemin ve kayaçların sökülebilirliğini (rippability) ve ayrışma düzeylerini önceden saptamak, sökülebilirlik / kazılabilirlik özelliklerine göre üretim miktarı ve zamanını hesaplamak ve kazıcı/sökücü makine seçimi

konusunda öneri getirmektir. Sökülebilirlik/kazılabilirlik tespit projelerinde yaygın olarak sismik kırılma (refraksiyon) yöntemi kullanılmaktadır.

- Projeyi gerçekleştirecek mühendis tarafından projenin boyutları, olası kazı derinliği, avan projesi, jeolojik koşullar, çevresel etkiler vb göz önüne alınarak bir saha ölçü dizaynı ve planı yapılacaktır.
- Kayaçların ve zeminlerin sökülebilirlik / kazılabilirliklerinin tespit çalışmaları için belli başlı jeofizik yöntem, sismik kırılma (refraksiyon) yöntemidir. Hedef derinlikler, olası işletme planları, olası kazı üretim planı, finansal kısıtlamalar vb göz önüne alınarak bu yöntemlerden bir ya da birkaçı veya harici başka metotlar da kullanılabilir.
- Amaca ve proje alanının topografik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak belirlenen profil ve serim doğrultularında sismik kırılma yöntemi ilkelerine göre ölçümler yapılarak sismik boyuna dalga hızları (V_p) ve hız değişimlerine göre de tabaka sınırları saptanır. Hız değerlerine dayanılarak ilgili ulusal/uluslararası kabul görmüş tablolar kullanılarak hangi kesimlerin ve tabakaların ne tür sökücü araçlar yardımıyla ekonomik olarak kaldırılabilirliği belirlenir. Araçla sökülemeyecek ve patlayıcı madde kullanımının zorunlu olacağı tabakalar ve bu tabakaların konum ve derinlikleri saptanır. Kazı yöntemi ve yönü konusunda bilgiler üretilir. Zemin/kaya sökülebilirlik/kazılabilirlik açısından ayrıntılı olarak sınıflandırılıp kesitler halinde gösterilerek yüklenici-idare arasında birim fiyatlar açısından söz konusu olabilecek anlaşmazlıklar en aza indirgenir.
- Arazi ölçümlerine göre boyuna dalga hızı hesaplamaları yapıldıktan sonra, bu hız değerlerine ve proje sahasındaki jeolojik birimlere göre tablolardaki istatistik sınıflamalar kullanılarak çeşitli sökücü araç tiplerine bağlı sökülebilirlik düzeyleri belirlenir. Bu hesaplama ve değerlendirmelere dayanılarak proje alanında araçla sökülebilir kısımlar için eş kalınlık ve eş hız haritaları hazırlanır.
- Yerinde elde edilen sismik hız değerleri, incelenen kaya kütleleri için bir "sağlamlık" ölçütü olarak kullanılmalı ve örtü kazı işlerinde **(i) kazı türünün tayini (ii) makine parkının seçimi (iii) üretim hızının kestirimi ve (iv) birim kazı fiyatının belirlenmesi** gibi konularda yol gösterici olmalıdır.
- V_p dalga hızlarına bağlı olarak zemin ve kayaç sökülebilirlik/kazılabilirliklerine göre üretim miktarları ($m^3/saat$ veya $ton/saat$) ve maliyetle olan ilişkileri de hesaplanmalıdır.
- Sismik hız değerlerine bağlı olarak sökücü/kazıcı makine parkının, yapım/imalat öncesi proje aşamasında planlanması sağlanmalıdır.
- Hesaplanan V_p sismik dalga hızları kullanılarak ulusal / uluslararası tablolara göre sökülebilirlik / kazılabilirlik sınıflaması yapılmalıdır ve veri sunumu aşağıdaki çizelgede verildiği gibi yapılabilir.

PROFİL NO	ÖLÇÜM YAPILAN LOKASYON VE KOORDİNATLARI	DERİNLİK (m)	SİSMİK DALGA HIZI (m/sn)	SÖKÜLEBİLİRLİK SINIFI

Eğer 2B veya 3B modelleme yapılarak hız kesitleri hazırlandıysa; kesitler üzerinde sökü / kazı sınırları işaretlenmeli, ayrıca bir çizelgeyle sonuçlar ifade edilmelidir.

Etütler sonucunda **“Sökülebilirlik / Kazılabilirlik Etüt Raporu”** hazırlanacaktır. Jeofizik çalışmanın amacı, hangi yöntem ve cihaz ile yapıldığı açıklanacak, ölçüm profilleri haritasına işlenecektir. Ayrıca, hazırlanacak tablo, grafikler ve kesitleri bölüm içinde ek olarak verilecektir. Gerekirse şartların dışında eksik ve yeterli olmayan konularda açıklamalar ve önerilerde bulunacaktır.

6235 sayılı Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kanunu ve 4958 sayılı Mühendislik ve Mimarlık Hakkında Kanun ve ilgili diğer mevzuat hükümlerince **“sökülebilirlik / kazılabilirlik etüt raporunu”** hazırlayan mühendisin mesleki faaliyetini sürdürdüğünü gösteren jeofizik mühendislik hizmetleriyle ilgili meslek odasından, bulunduğu yılda alınmış tescil belgesinin olması zorunludur. Ayrıca aynı mevzuatlar gereğince; üretilen mühendislik ürününü Oda kayıt siciline işletilmesi ve mesleki denetimden geçirilmesi amacıyla ilgili Oda’sından ürettiği mühendislik ürününe ait **“Sicil Durum Belgesi”** alınması gerekmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Anon, 2001. Performance Handbook, Edition 32. Caterpillar Tractor Company. Peoria, Illinois.

Bailey , A.D.,1974, Refraction seismic on advancing tool, The Mines Magazine

Caterpillar, Handbook of Ripping, Twelfth Edition

Church, H.K., 1964, Geophysical examination can make earth-moving a profitable science in the Southwest, Southwest Builder and Contractor.

Darcy, J., 1971, Applications de la mecanique des roches aux terrassements rocheux, Bulletin de Liasion des Ponts at Chaussees, No:50



Eskikaya, Ş., Göktaş, R.M. 1988. Kayaçların sökülebilirliği ve açık işletme madenciliğindeki önemi.
Türkiye 6. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 469-480.

EİE-078 Normu, Zeminlerin sökülebilirlik düzeylerinin sismik yöntemlerle yerinde tayini, Elektrik
İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü

Ercan, A., 1999, Taşocağında sökülebilirlik, makine seçimi ve tuzluluğun jeofizikle belirlenmesi,
Darıca, 2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, İstanbul-1999,

Göktaş R.M. ve İphar M., 2013, Açık İşletmelerde Kayaç Sökülebilirlik Tayin Yöntemleri, MT
Bilimsel Yeraltı Kaynakları Dergisi, Sayı 3, Ocak 2013.

Griffiths, D.H., King, R.F., 1976. Applied Geophysics for Engineers and Geologists. Pergamon.

Karayolları Genel Müdürlüğü, Bölüm 200 Yol altyapısı

Kirsten, H.A.D., 1983. Efficient use on construction of tractor mounted rippers. The Civil Engineer in
South Africa. May, 247-264.

Moustafa, S.S.,2015, Assessment of excavatability in sedimentary rocks using shallow seismic
refraction method, Geology and Geophysics Dept., Faculty of Science King
Saud Universtiy, Saudi Arabia National Reserch Institute of Astronomy and
Geophysics (NRIAG), Cairo, Egypt, ejge

Öncel, K., 1979, Kayaç ve zeminlerin yapı ve doku özellikleriyle sökülebilirlikleri ve P tipi dalga
hızları arasındaki ilişki, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Su ve Kanalizasyon
Dairesi Başkanlığı, 1979

www.quality-geophysics.com

