

175811

**MEKANİZE KAZI MAKİNALARININ SEÇİMİNDE
KÜÇÜK BOYUTLU KAZI İLE TAM BOYUTLU KAZI
DENEYLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Cemal BALCI
(505962010)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nuh BİLGİN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Gündüz ÖKTEN (İTÜ)
Prof.Dr. Nuri Ali AKÇIN (ZKÜ)
Prof.Dr. Ali KAHRİMAN (İÜ)
Yard.Doç.Dr. Hanifi ÇOPUR (İTÜ)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Kazı ve Mekanizasyonu Programında doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, mekanize kazı makinalarının seçiminde küçük boyutlu kazı ile tam boyutlu kazı deneylerinin karşılaştırılması hakkındadır.

Tezin hazırlanması sırasında yardımlarını hiç bir zaman eksik etmeyen, daima yol gösterici olan ve doktora çalışmalarımı yönlendiren, tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında, tez izleme komite üyeleri olarak beni yönlendiren sayın hocalarım Prof. Dr. Gündüz ÖKTEN ve Prof. Dr. Ali KAHRİMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. ZKÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nden sayın hocam Prof. Dr. Nuri Ali AKÇİN'a sağladığı yardım ve desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Laboratuvar deneyleri sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Yard. Doç. Dr. Hanifi COPUR'a, Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e, Murat Ali DEMİRÇİN'e, Kebire KEL'e ve numune hazırlanması esnasında yardımlarını gördüğüm teknisyen Hurşit BOLAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin yapılması sırasında yardımlarını aldığım, NATO İstikrar İçin Bilim Projesi çerçevesinde desteklenen "Türkiye Maden ve Tünel Sektörü İçin Hızlı Kazı Teknolojilerinin Geliştirilmesi" adlı proje yönetici ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugüne kadar olan hayatımda bana sürekli maddi ve manevi destek olan aileme ve her zaman yanımda olan eşim Nurgül ÇELİK BALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2004

Cemal BALCI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. FORMASYONLARIN KAZILABİLİRLİK TAYİNİ, MAKİNA SEÇİMİ VE PERFORMANS TAHMİNİ	4
2.1 Günümüzde Kullanılan Performans Kestirim Modelleri	8
2.1.1 Kademeli kazı yapan makinalar için kullanılan performans kestirim modelleri	9
2.1.1.1 Küçük boyutlu kazı deneyi	9
2.1.1.2 Tam boyutlu doğrusal kazı seti deneyi	13
2.1.1.3 Bilgin yaklaşımı I	14
2.1.1.4 Bilgin ve arkadaşları yaklaşımı II	15
2.1.1.5 Aleman yaklaşımı	16
2.1.1.6 Sandbak yaklaşımı	17
2.1.1.7 Farmer ve Garritty yaklaşımı	18
2.1.1.8 Gehring yaklaşımı	19
2.1.1.9 Matsui ve Shimada yaklaşımı	20
2.1.1.10 Neil, Rostami, Özdemir ve Gertsch yaklaşımı	20
2.1.1.11 Schneider yaklaşımı	21
2.1.1.12 Schimazek yaklaşımı	21
2.1.1.13 Thuro ve arkadaşları yaklaşımı	22
2.1.1.14 Çopur yaklaşımı	24
2.1.2 Tam cepheli tünel açma makinalarının performans kestirimi	26
2.1.2.1 Farmer ve Glossop yaklaşımı	26
2.1.2.2 Graham yaklaşımı	26
2.1.2.3 Trondheim üniversitesi ve Norveç teknoloji enstitüsü yaklaşımı	26
2.1.2.4 Tony Peach yaklaşımı	27
2.1.2.5 McFeat-Smith ve Tarkoy yaklaşımı	27
2.1.2.6 Nick Barton yaklaşımı	28
2.1.2.7 Hughes yaklaşımı	28
2.1.2.8 Bamford yaklaşımı	29
2.1.2.9 Cassinelli ve arkadaşları yaklaşımı	30
2.1.2.10 Özdemir ve arkadaşları yaklaşımı	31
2.2 Önceki Çalışmaların Kritiği	32

3. KÜÇÜK BOYUTLU KAZI SETİ ÖLÇME SİSTEMİNİN YENİDEN YAPILMASI	35
3.1 Gerilim Ölçer Tanımı ve Dinamometre İçin Seçimi	36
3.2 Gerilim Ölçerlerin Ölçme Yapılacak Dinamometre Malzemesine Tespiti	39
3.2.1 Yüzey hazırlama ve yapıştırma	40
3.2.2 Yüzey temizleme işlemi	40
3.2.3 Gerilim ölçerlerin yapıştırılması	41
3.2.4 Ölçme devrelerinin oluşturulması	44
3.2.5 Kablo ve terminal bağlantılarının yapılması	46
3.2.6 Gerilim ölçer uygulanan bölgelerin koruyucu ile kaplanması	47
3.2.7 Üç eksenli kuvvet ölçerin kazı setine montajı	48
3.2.8 Üç eksenli kuvvet ölçerin bilgisayar bağlantısı ve özellikleri	49
3.3 Dinamometrenin Kalibrasyonu ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması	49
3.3.1 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu	50
3.3.1.1 Birinci yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu	51
3.3.1.2 Üçüncü yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu	54
3.3.1.3 Beşinci yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu	56
3.3.1.4 Yedinci yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu	58
3.3.2 Normal kuvvetinin kalibrasyonu	60
3.3.3 Yanal kuvvetin kalibrasyonu	63
3.4 Kalibrasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Kuvvet Etkileşimlerinin Hesaplanması	65
3.4.1 Kesme kuvvetinin ve etkileşiminin hesaplanması	66
3.4.2 Normal kuvvetin ve etkileşiminin hesaplanması	67
3.4.3 Yanal kuvvetin ve etkileşiminin hesaplanması	68
3.5 Kalibrasyon Adaptörünün Kesilmesi ve Yeniden Yapılan Kalibrasyonlar	69
3.5.1 Kesme kuvvetinin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyonu	70
3.5.2 Normal kuvvetin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyonu	71
3.5.3 Yanal kuvvetinin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyonu	71
3.5.3.1 Sol taraftan yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu	71
3.5.3.2 Sağ taraftan yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu	72
4. KAYALARIN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	74
4.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	74
4.2 Dolaylı (Brazilian) Çekme Dayanımı Deneyi	77
4.3 Geri Tepmeli (Schmidt Çekici) Çekiç Deneyi	78

4.4 Sismik Hız Deneyi	82
4.5 Elastik Modül Deneyi	85
4.6 Yoğunluk Deneyi	85
5. SPESİFİK ENERJİNİN TAYİNİ VE KAYA KESME DENEYLERİNİN YAPILMASI	86
5.1 Küçük Boyutlu Kazı Deneyleri	89
5.1.1 Küçük boyutlu kazı deneylerinde kullanılacak numunelerin hazırlanması	90
5.1.2 Küçük boyutlu kazı deneylerinde kullanılan değişkenlerin tanımı	92
5.1.3 Küçük boyutlu kesme deneylerinden elde edilen pasanın elek analizi	94
5.2 Tam Boyutlu Doğrusal Kazı Seti Deneyleri	100
6. SPESİFİK ENERJİ DEĞERLERİNİN ÖNCEDEN TAHMİNİ İÇİN REGRESYON ANALİZİ	104
6.1 İstatistik Kullanarak Spesifik Enerjinin Tahmini	106
6.2 Çok Katlı Regresyon	113
6.3 Çok Katlı Regresyonda Kullanılan Terimler	114
6.4 Çok Katlı Regresyon Analizi ve Geliştirilen Modeller	115
6.4.1 Spesifik enerji SE2'nin kaya özellikleri ve spesifik enerji SE1'den yararlanılarak belirlenmesi	117
6.4.2 Spesifik enerji SE4'ün kaya özellikleri ve spesifik enerji SE3'den yararlanılarak belirlenmesi	118
6.5 Çok Katlı Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ve Geliştirilen Modeller	119
6.5.1 Spesifik enerji SE2'nin kaya özellikleri ve spesifik enerji SE1'den yararlanılarak belirlenmesi	119
6.6 Geliştirilen Modellerin Doğruluk Testleri	120
6.6.1 T-testi	121
6.6.2 F-testi	122
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	124
KAYNAKLAR	131
EKLER	139
ÖZGEÇMİŞ	269

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: Amerikan standartları
BCR	: Keski tüketim oranı
BTS	: Dolaylı (Brazilian) Çekme dayanımı
CAI	: Cerchar aşındırıcılık indeksi
CC	: Numunenin çimentolanma derecesi
CHD	: Kesici kafa çapı
CI	: Koni delici değeri
CLI	: Keski ömrü indeksi
F'C	: Pik kesme kuvveti
F'N	: Pik normal kuvveti
FC	: Ortalama kesme kuvveti
FN	: Ortalama normal kuvveti
ICR	: Net kazı hızı
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği derneği
kW	: Kilovat
kWh	: Kilovat saat
LCM	: Doğrusal kaya kesme seti
MJ	: Mega Joule
NX	: 55 mm çapında, 110 mm boyutlarındaki kaya numunesi
Ort	: Ortalama
PİK	: Pasa irilik katsayısı
PUNDIT	: P ve S dalgalarını ölçen test aleti
Q	: Pasa hacmi
RIHN	: Darbe dayanımı indeksi
RMCI	: Kaya kütlesi kazılabilirlik indeksi
RMR	: Kaya kütlesi sınıflandırma sistemi
RQD	: Kaya kalite değeri
RSR	: Kaya tahkimat sınıflama sistemi
s	: Keski arası mesafe
S35/80	: Sandvik firmasının ürettiği konik keski türü
SE	: Spesifik enerji
SE1	: Küçük boyutlu kazı setinde yapılan, d= 5 mm ve d= 9 mm kesme derinliğindeki yardımsız laboratuvar spesifik enerji değerleridir.
SE2	: SE2 Tam boyutlu kazı setinde d= 5 mm ve d= 9 mm kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d'deki laboratuvar spesifik enerji değerleridir
SE3	: SE3 Küçük boyutlu kazı setinde d= 5 mm ve d= 9 mm kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d'deki laboratuvar spesifik enerji değerleridir.

SE4	: SE4 Tam boyutlu kazı setinde yapılan, $d= 5\text{ mm}$ ve $d= 9\text{ mm}$ kesme derinliğindeki deneylerden elde edilen yardımsız spesifik enerji değerleridir.
SH	: Shore sertliği
STFA	: Sezai Türkeş ve Feyzi Akkaya şirketi
TBM	: Tam cepheli tünel açma makinası
TÜBİTAK	: Türkiye bilimsel ve teknik araştırma kurumu
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Kazı makinalarının performansını etkileyen bazı parametreler.....	8
Tablo 2.2 Orta ağırlıktaki kademeli galeri açma makinalarının uygulanabilirliklerinin spesifik enerji değerlerinden belirlenmesi.....	12
Tablo 2.3 Ağır kademeli galeri açma makinalarının uygulanabilirliklerinin spesifik enerji değerlerinden belirlenmesi.....	12
Tablo 2.4 Kademeli galeri açma makinaları için geliştirilen performans kestirim yöntemlerinin kritiğinin özeti.....	33
Tablo 2.5 Tam cepheli galeri açma makinaları için geliştirilen performans kestirim yöntemlerinin kritiğinin özeti.....	34
Tablo 3.1 Birinci yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	52
Tablo 3.2 Birinci yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	53
Tablo 3.3 Üçüncü yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	54
Tablo 3.4 Üçüncü yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	55
Tablo 3.5 Üçüncü yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	56
Tablo 3.6 Üçüncü yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	57
Tablo 3.7 Yedinci yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	58
Tablo 3.8 Yedinci yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	59
Tablo 3.9 Normal kuvvetin kalibrasyonu sonuçları.....	61
Tablo 3.10 Normal kuvvetin 2. kez yapılan kalibrasyon sonuçları.....	62
Tablo 3.11 Yanal kuvvetin kalibrasyonu sonuçları.....	63
Tablo 3.12 Yanal kuvvetin 2. kez yapılan kalibrasyon sonuçları.....	64
Tablo 3.13 Yanal kuvvetin 3. kez yapılan kalibrasyon sonuçları.....	65
Tablo 3.14 Kesme kuvvetinin kalibrasyon katsayısı ve diğer kuvvetlerle etkileşimi.....	66
Tablo 3.15 Normal kuvvetinin kalibrasyon katsayısı ve diğer kuvvetlerle etkileşimi.....	67
Tablo 3.16 Yanal kuvvetinin kalibrasyon katsayısı ve diğer kuvvetlerle etkileşimi.....	68

Tablo 3.17	Kesici uç takıldıktan sonra yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	70
Tablo 3.18	Kesici uç takıldıktan sonra yapılan ikinci kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları.....	70
Tablo 3.19	Kesici uç takıldıktan sonra yapılan normal kuvvet kalibrasyon sonuçları.....	71
Tablo 3.20	Kesici uç takıldıktan sonra yapılan yanal kuvvet kalibrasyon sonuçları.....	72
Tablo 3.21	Kesici uç takıldıktan sonra yapılan yanal kuvvet kalibrasyon sonuçları.....	73
Tablo 4.1	Deneylede kullanılan kayaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin toplu sonuçları.....	75
Tablo 4.2	Üç ayrı yöntemden elde edilen N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçları.....	80
Tablo 5.1	Küçük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin toplu sonuçları.....	93
Tablo 5.2	Gelveri cevherinden elde edilen pasanın analizi ve pasa irilik katsayısı.....	94
Tablo 5.3	Küçük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinin elek analizi toplu sonuçları.....	96
Tablo 5.4	Büyük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin toplu sonuçları.....	103
Tablo 6.1	Küçük ve büyük boyutlu kazı seti laboratuvar spesifik enerji değerlerinin, değişik kesme koşullarında kaya özelliklerine bağlı, istatistik kullanarak tahmini.....	106
Tablo 6.2	Küçük ve büyük boyutlu kazı seti laboratuvar spesifik enerji değerlerinin, değişik kesme koşullarında, birbirlerine etkisinin istatistik kullanarak tahmini.....	111
Tablo 6.3	Çok katlı regresyon analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler.....	116
Tablo 7.1	Kademeli kollu galeri açma makinaları için üretim hızı tahmin yöntemleri.....	127
Tablo 7.2	Farklı tek eksenli basınç dayanımları için optimum spesifik enerji değerleri.....	128
Tablo 7.3	Farklı tek eksenli basınç dayanımları için net kazı hızı değerleri.....	129
Tablo 7.4	Farklı SE1 değerlerinden SE2'nin tahmini ve net kazı hızı değerleri.....	130

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Arına dik hareket eden kesici kafalı bir kademeli kazı makinası.....	4
Şekil 2.2	Arına paralel hareket eden kesici kafalı bir kademeli kazı makinası.....	5
Şekil 2.3	Tam cepheli kazı yapan bir makine.....	5
Şekil 2.4	Kama uçlu keskinin tasarım parametreleri ve keskiye gelen kuvvetler.....	10
Şekil 2.5	Kademeli galeri açma makinalarının ilerleme hızlarının SE ile değişimi.....	10
Şekil 2.6	Keski sarfiyatının Newcastle Aşınma indeksi ile değişimi.....	13
Şekil 2.7	Optium spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğri.....	14
Şekil 2.8	Delme hızı ile kademeli galeri açma makinalarının ilerleme hızları arasındaki ilişki.....	15
Şekil 2.9	Kaya kütlesi kazılabilirlik indeksi ile kademeli kazı yapan makinaların ilerleme hızının değişimi.....	16
Şekil 2.10	Kaya kütlesi sınıflama sistemine göre kollu galeri açma makinasının performansı.....	18
Şekil 2.11	Farmer ve Garritty'nin performans kestirimi.....	19
Şekil 2.12	Gehring'e göre, kesme güçleri farklı iki tip kademeli kazı makinasının kazı performansının değişimi.....	19
Şekil 2.13	Matsui ve Shimada'ya göre kesme performansının bulunması....	20
Şekil 2.14	Schneider'e göre performans kestirimi.....	21
Şekil 2.15	132 kW gücündeki kademeli kazıcıda basınç dayanımı ile ilerleme hızı arasındaki ilişki.....	23
Şekil 2.16	Spesifik kırılma enerjisinin bulunması	23
Şekil 2.17	132 kW gücündeki kademeli kazıcıda spesifik kırılma enerjisi ile ilerleme hızı arasındaki ilişki.....	24
Şekil 2.18	RPI indeksi ile arına dik kazıcının kazı hızı arasındaki ilişki.....	25
Şekil 2.19	RCI indeksi ile arına dik kazıcının keski tüketimi arasındaki ilişki.....	25
Şekil 2.20	Tony Peach'e göre performans kestirimi.....	27
Şekil 2.21	Koni delici sertliği ile nokta yük dayanımına bağlı TBM performansı.....	27
Şekil 2.22	Kaya tahkimat sınıflama sistemi (RSR) ile kazı hızının Değişimi.....	30
Şekil 3.1	Dinamometrenin genel görünüşü ve keski ucuna gelen kuvvetler.....	36
Şekil 3.2	Dinamometrenin boyutu.....	39
Şekil 3.3	Ölçüm elemanlarının tespiti için gerekli malzemeler	40
Şekil 3.4	Yüzeydeki kirli tabakaların yağ çözücülerle arındırılması işlemi	41

Şekil 3.5	Yüzey pürüzlülüğün giderilmesi işlemi.....	41
Şekil 3.6	Ölçme kirişlerinde gerilim ölçerlerin yeri.....	42
Şekil 3.7	Yapıştırma işlemi.....	43
Şekil 3.8	Yapıştırma işleminin bitirilmiş hali.....	44
Şekil 3.9	Wheatstone köprüsünün oluşturulması.....	45
Şekil 3.10	Yanal kuvveti ölçen köprünün oluşturulması.....	45
Şekil 3.11	Normal kuvveti ölçen köprünün oluşturulması.....	46
Şekil 3.12	Kesme kuvvetini ölçen köprünün oluşturulması.....	46
Şekil 3.13	Kablo ve terminal bağlantılarının yapılması.....	47
Şekil 3.14	Gerilim ölçerlerin koruyucu malzeme ile kaplanması.....	48
Şekil 3.15	Dinamometrenin kazı setine montaj edilmiş hali.....	48
Şekil 3.16	Kaya kesme sırasında keskiye gelen kuvvetin görünümü.....	49
Şekil 3.17	Kesme kuvvetinin kalibrasyonu için kullanılan set.....	50
Şekil 3.18	Kesme kuvvetinin kalibrasyonunda yüklemenin yapılması için açılan yuvalar.....	51
Şekil 3.19	Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	52
Şekil 3.20	İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	53
Şekil 3.21	Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	54
Şekil 3.22	İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	55
Şekil 3.23	Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	56
Şekil 3.24	İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	57
Şekil 3.25	Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	58
Şekil 3.26	İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	59
Şekil 3.27	Normal kuvvetinin kalibrasyonu için kullanılan set.....	60
Şekil 3.28	Normal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	61
Şekil 3.29	İkinci kez yapılan normal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	62
Şekil 3.30	Yanal kuvvetin kalibrasyonu için kullanılan set.....	63
Şekil 3.31	Yanal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	64
Şekil 3.32	İkinci kez yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	64
Şekil 3.33	Üçüncü kez yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi.....	65
Şekil 3.34	Kaya kesme işlemi sırasında açığa çıkan yanal kuvvetler.....	69
Şekil 3.35	Kesici ucun üç eksenli kuvvet ölçere yerleştirilmesi.....	69
Şekil 4.1	Tek eksenli basınç ve statik elastik deneylerinin yapıldığı pres.....	76
Şekil 4.2	Tek eksenli basınç deneyinde kırılan bazı numuneler.....	76
Şekil 4.3	Çekme dayanımı deneylerinin yapıldığı pres.....	77
Şekil 4.4	Çekme dayanımı deneyinde kırılan bazı numuneler.....	78
Şekil 4.5	Schmidt Çekicinin görününü.....	79

Şekil 4.6	Yöntem I ile yapılan N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçlarının karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.7	Yöntem II ile yapılan N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçlarının karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.8	Yöntem III ile yapılan N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçlarının karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.9	Deney setinin tanıtılması ve bağlantı düzeneği.....	84
Şekil 5.1	Kaya kesme deneyleri sırasında keskiye gelen kuvvetlerin görünümü.....	87
Şekil 5.2	Keskiler arası mesafe ile optimum spesifik enerji s/d arasındaki hipotetik eğri.....	88
Şekil 5.3	Küçük boyutlu kazı deney seti.....	89
Şekil 5.4	Numune hazırlama makinası.....	90
Şekil 5.5	Küçük boyutlu kaya kesme deneylerinde kullanılan numunelerin görünümü.....	91
Şekil 5.6	Küçük boyutlu kaya kesme deneyine tabi tutulan kızılkaya kayacı görünümü.....	91
Şekil 5.7	Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride yardımsız spesifik enerjinin tanımı.....	92
Şekil 5.8	Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride optimum spesifik enerjinin tanımı.....	92
Şekil 5.9	Küçük boyutlu kazı setinden elde edilen pasanın elek analizinin görünümü.....	95
Şekil 5.10	d= 5 mm'de yardımcı ve yardımsız kesme koşullarındaki pasa irilik katsayıları arasındaki ilişki.....	97
Şekil 5.11	d= 9 mm'de yardımcı ve yardımsız kesme koşullarındaki pasa irilik katsayıları arasında ilişki.....	97
Şekil 5.12	Spesifik enerji değeri ile pasa büyüklüğü arasındaki ilişki	98
Şekil 5.13	Bütün kayalar için optimum s/d'deki pasa irilik katsayıları ile optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki.....	99
Şekil 5.14	Sedimanter kayalar için optimum s/d'deki pasa irilik katsayıları ile optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki.....	99
Şekil 5.15	Tam boyutlu doğrusal kazı seti.....	100
Şekil 5.16	Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride optimum spesifik enerjinin tanımı.....	101
Şekil 5.17	Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride yardımsız spesifik enerjinin tanımı.....	102
Şekil 5.18	Tam boyutlu doğrusal kazı setinde kesme deneyine tabi tutulan kızılkaya kayacının görünümü.....	102
Şekil 6.1	d = 5mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	108
Şekil 6.2	d = 9 mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	108
Şekil 6.3	d = 5mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	109
Şekil 6.4	d = 9 mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	109
Şekil 6.5	d = 5mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile N-24 tipi geri tepmeli (Schmidt) çekiç değeri arasındaki ilişki.....	110

Şekil 6.6	d = 9 mm’de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile N-24 tipi geri tepmeli (Schmidt) çekiç değeri arasındaki ilişki.....	110
Şekil 6.7	d = 5 ve 9 mm de küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen optimum spesifik enerjinin tahmini.....	111
Şekil 6.8	d = 5 mm kesme derinliğindeki küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen 9 mm kesme derinliğindeki optimum spesifik enerjinin tahmini.....	112
Şekil 7.1	Kademeli kazı yapan makinalar için kazı performansının karşılaştırılması.....	129



SEMBOL LİSTESİ

ϵ	: Birim deformasyon
ρ	: Öz direnç
π	: Pi sabiti
α	: Kesme açısı
ρ	: Yoğunluk
%	: Yüzde
σ_θ	: Tek yönlü gerilme
ΔV	: Gerilim
A	: Silindirik numunenin kesit alanı
C	: Malzeme sabiti
d	: Kesme derinliği
D	: Silindirik numunenin çapı
d_a	: Aşındırıcı minerallerin ortalama tane çapı
E_d	: Dinamik elastik modül
E_s	: Statik elastik modül
F_a	: Schimazek aşındırıcılık indeksi
h	: Saat
Hz	: Frekans birimi Hertz
i_b	: Keski başına düşen kuvvet
k	: Plastisite indeksi
K	: Sistemin verimliliği
K_d	: Keski çapı için düzeltme faktörü
kg/cm^2	: Basınç birimi, kilogram/santimetrekare
kN	: Kuvvet birimi, kilonewton
K_s	: Çatlak sıklığı için düzeltme faktörü
kWh/m^3	: Enerji birimi, kilowat-saat/metreküp
L	: Uzunluk
m	: Metre
m_1, m_2, m_3, m_n	: Bağımsız değişkenlerin katsayıları
m^3/km	: Metreküp/kilometre
mm	: Milimetre
M_o, M_o'	: Plağın pozitif ve negatif limit momentleri
MPa	: Megapascal
mV	: Mili volt
°	: Derece
p	: Bir devirdeki ilerleme miktarı
P	: Kesici kafa gücü
Q	: Birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa hacmi
q	: Kuvars yüzdesi
R	: Direnç
R^2	: Korelasyon katsayısı
R^2_{adj}	: Düzeltilmiş korelasyon katsayısı

$S\check{C}$	: Schmidt çekici değeri
s	: Optimum keskiler arası mesafe
s/d	: Optimum keskiler arası mesafenin kesme derinliğine oranı
V_{kr}	: Kritik hız
V_p	: P dalgası sismik hızı
V_{s1}	: S1 sismik dalga hızı
V_{s2}	: S2 sismik dalga hızı
W	: Keski genişliği
X_1, X_2, X_3, X_n	: Bağımsız değişkenler
β	: Temizleme açısı
ν	: Poisson oranı
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
σ_t	: Çekme dayanımı



MEKANİZE KAZI MAKİNALARININ SEÇİMİNDE KÜÇÜK BOYUTLU KAZI İLE TAM BOYUTLU KAZI DENEYLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Spesifik enerji, mekanize kazı makinalarının kazı hızlarının tahmin edilmesinde basit ve çok kullanılan bir metottur. Bu metot mekanize kazı makinalarının kurulu gücü, toplam sistemin verimliliği ve optimum koşullarda belirli kayaç ve keski tipine göre elde edilen, spesifik enerji değeri kullanılır. Eğer mekanize kazı makinasının kesici kafa gücü biliniyorsa bu makinaların kazı hızları spesifik enerji değeri yardımı ile hesaplanabilmektedir. Spesifik enerji birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan enerji olarak tanımlanmakta ve kWh/m^3 ya da MJ/m^3 birimleri ile ifade edilmektedir. Bu değer farklı kesme derinlikleri ve keski arası mesafelerde, tam ve küçük boyutlu kaya kesme deney setleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu amaçla bu çalışmada, değişik fiziksel ve mekanik özelliklere sahip 18 farklı kayaç üzerinde, küçük ve tam boyutlu kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sırasında, keskilere gelen üç eksenli kuvvetler ve spesifik enerji değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, elde edilen spesifik enerji değerleri ile olan ilişkileri en küçük kareler regresyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Bölüm 2’de, mekanize kazı makinaları için uzun yıllar boyunca araştırılan performans modelleri hakkında konu ile ilgili detaylı literatür incelemesi yapılmıştır. her biri bazı teori ve deneyimlere dayanan kademeli kollu mekanize kazı makinaları için bazı modeller bulunmaktadır. Teorik modeller kuvvetlerin analizine yada birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli enerjinin kayaçların; basınç, çekme ve kesme dayanımı gibi, kaya kütlelerinin jeolojik özellikleri kaya kalite değeri gibi ve sonunda makinadaki itme veya gücüne dayanmaktadır. Mekanize kazı makinalarının farklı kaya tiplerinde ilerleme hızı ve verimliliklerinin tahmin edilmesinde birçok metot geliştirilmiştir. Bu metotlar; ilerleme hızı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi özel (Graham, P.C., 1976), toplam kaya sertliği (Tarkoy), tam boyutlu doğrusal kaya kesme testi (L. Ozdemir, 1997), küçük boyutlu doğrusal kaya kesme testi (McFeat Smith, Fowell, R.J., 1977), kaya süreksizlikleri, çatlaklar, basınç dayanımı ve aşındırıcılık (Aleman, V.P., 1983), kaya kütlesi indeksi, basınç dayanımı ve yer altı su seviyesi (Sandbak, L. A., 1985), kayaların petrografik özellikleri, basınç dayanımı Schimazek aşındırıcılığı (Gehring, K.H., 1989), darbe dayanımı deneyi indeksi (Matsui, K., Shimada, H., 1993) ve diğerleridir. Mekanize kazı makinalarının verimliliği ve performansı hakkındaki literatür çalışması bu bilim alanında daha yoğun çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Mekanize kazı makinalarının verimliliği, ilerleme hızı ve üretim kapasitesinin tahmininde tam boyutlu doğrusal ile küçük boyutlu karot kesme testi performans metotları arasında en çok kullanılanlarıdır. Tam boyutlu kaya kesme seti küçük boyutlu kaya kesme setinden daha pahalı, kompleks ve $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.6\text{m}$

boyutlarında kaya numunesi gerekmektedir. Bazen bu büyüklükteki bir kaya numunesini yeryüzü araştırmaları sırasında elde etmek mümkün olmamaktadır. Oysa, karot kaya numuneleri yeryüzü araştırmaları sırasında elde edilebilmektedir. Tam boyutlu kaya kesme testinden daha kolay ve ucuz olan küçük boyutlu kaya kesme testi yapılarak spesifik enerji elde edilebilmektedir.

Bölüm 3’de küçük boyutlu kazı setinin ölçme sistemi tanıtılmıştır. Küçük boyutlu kaya kesme deney aletinin ölçme sistemi hazır olmadığı için, ölçme sistemi için gerekli dinamometre, analog/dijital kart ve programa ihtiyaç vardır. Bu amaçla eski ölçme sistemi ve üç eksenli dinamometresi daha yüksek kuvvetleri ölçmek için yeniden yapılmıştır. Küçük boyutlu kaya kesme aletine yapılan en büyük yenilik üç eksenli kuvvetleri ayrı ayrı ölçebilen gerilim ölçerler (strain gauge) teknolojisinin uygulanmasıdır. Eski üç eksenli dinamometre bu amaçla kullanılmıştır. Elektriksel direnç olan gerilim ölçerler Measurement grubu şirketine ait CEA-06-125 tipinde, 6 mm uzunluğunda ve 350 ohm’luk dirence sahip ve etki faktörü 2.1 olan gerilim ölçerler kullanılmıştır. Gerilim ölçerlerin merkezleri dinamometrenin girişlerinde belirlenen yerlere gelecek şekilde ve ölçme girişlerden 10 mm sona doğru yerleştirilmiştir. Bunlar hızlı bir şekilde kuruyabilen M-Bond 200 tipindeki yapıştırıcı ile tutturulmuştur.

Üç eksenli kuvvetleri (kesme, normal ve yanal kuvvetler) ölçebilecek dinamometre, kuvvetlerin birbirlerini etkilemeden ölçülebilmesi imkanına sahip olmalıdır. Gerilim ölçer yapıştırılan ve devreleri oluşturulan dinamometrenin kalibrasyonu ölçme sisteminin kullanılabilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından son derece önemli olmaktadır. Kalibrasyon seti, 4.5 cm. çapında, 5 cm uzamalı bir hidrolik silindir, hidrolik el pompası ve manometreden ibarettir. Kalibrasyon işleminde, sisteme değişik yükler 0 ile 1600 kgf altında bir hidrolik pompa yardımı ile 100 kgf’lik artışlarla verilmektedir. Dinamometreye verilen bu yükler elektriksel bir büyüklüğe çevrilmekte ve analog/dijital bilgisayar kartı yardımı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayar ortamına aktarılan veriler ticari programlar yardımı ile analiz edilerek üç eksenli kuvvetlere dönüştürülmektedir.

Bölüm 4’de kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinden UCS (tek eksenli basınç ki kaya sertliğinin tanımlanmasında en çok kullanılan dayanım), BTS (Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı) ki basınç dayanımı ile birlikte kullanıldığında kazılabilirlik ölçümünde çok iyi, statik ve dinamik elastik modül değerleri (E, v), Schmidt çekici deneyi (N-24 ve L-9 tipi), sismik hız deneyi ve yoğunluk detaylı olarak uluslararası kaya mekaniği cemiyeti ASTM veya ISRM standartlarına tümüyle uyularak yapılmıştır.

Bölüm 5’de, tam ve küçük boyutlu kaya kesme deney setleri kullanılarak laboratuvar spesifik enerji değerleri bulunmuştur. Spesifik enerji değerleri ortalama kesme kuvvetinin elde edilen pasa ve yoğunluğuna bölünerek hesaplanmıştır. Spesifik enerji değeri kaya kesme deneyleri sırasında her bir kesme derinliği ve kesimler arası mesafede en az üç defa yapılarak ortalaması alınmıştır. İstatistik çalışmalarında kullanmak üzere, kaya kesme deneylerinden elde edilen parametreler veri bankasında toplanmıştır. Yardımlı ve yardımsız koşullarda küçük boyutlu kaya kesme deneylerinden elde edilen pasanın elek analizleri yapılarak pasa boyut dağılımı belirlenmiştir. Kazının parça boyutu hakkında fikir veren ve pasa irilik katsayısı

(P.U.K) olarak tanımlanan birimsiz parametre bulunmuştur. Bu boyutsuz değer, kaya kesme sırasında elde edilen elenen pasanın, kümülatif ağırlıklarının toplamı olarak hesaplanmaktadır. Pasa irilik katsayısı ile optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Optimum bölgede yapılan kaya kesme deneyinden elde edilen pasanın pasa irilik katsayısı ile aynı bölgeden elde edilen spesifik enerji arasında çok güzel ilişkiler olduğu görülmüştür.

İlerleyen kısımda küçük ve tam boyutlu kaya kesme deney aletleri detaylı olarak tanıtılmıştır. Ayrıca numune hazırlama adımları, numune hazırlama, yüzey düzeltme ve test parametreleri tartışılmıştır.

- Küçük boyutlu kazı seti

Küçük boyutlu kaya kesme deneyleri McFeat Smith ve Fowell araştırmacıları tarafından, kama ve kalem uçlu keskinin davranışlarını incelemek amacı ile geliştirilmiştir. Uluslararası Kaya Mekaniği Kurumu bu testi, kayaçların kazılabilirliğini belirlenmesinde kullanılmak üzere, standart test olarak kabul etmiştir. Bu testte, 7.6 cm çapındaki silindirik veya 20x10x10 cm boyutlarındaki kaya numuneleri küçük boyutlu kazı setinin kaya tutucu mengenesine yerleştirilir ve ön açısı -5^0 , temizleme açısı 5^0 , 12.5 mm genişliğinde standart keski ve kesme derinliği 5 mm standart olmaktadır. Üç eksenli kesme kuvvetleri kuvvet dinamometresi kullanılarak kayıt edilmekte ve ortalama kesme kuvvetinin FC pasaya Q (birim kesme mesafesi için kazılan hacimsel kaya) oranı olan spesifik enerji MJ/m³ ya da kWh/m³ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar standart olarak ve daha önce yerinde yapılan performans verileriyle karşılaştırılarak sınıflandırılabilir.

- Tam boyutlu kazı seti

Bu metotta 70x50x50 cm boyutlarındaki kaya numunesi gerekli ve kullanılan keskinin (konik ve radyal keskinin ve diğ.) endüstriyel olmasından dolayı daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Tüm tam boyutlu kazı deneyleri sırasında Sandvik firmasının ürettiği S35/80H tipli kalem uçlu keski kullanılmıştır. Kalem uçlu keski oldukça katı çerçeveye sahip tam boyutlu kazı setine tutturulmuştur. Üç eksenli kuvvet ölçer, keski ile çerçeve arasındaki kuvvetleri ölçmektedir. Kaya numunesi kaya kesme sırasında gerekli katılığa sahip olması için ağır demir bir kutuya betonla sabitlenir. Tüm testler boyunca kalem uçlu keskinin, temizleme açısı 17^0 , dalma açısı $55-56^0$, kesme hızı 12,7 cm/sn ve data toplama hızı 2000 Hz olmak üzere sabit tutulmuştur.

Tam boyutlu kaya kesme deneyi kayaların fiziksel özelliklerinde görülmeyen ve boyut belirsizliklerini en aza indirmektedir. Kuvvet verisi mekanize kazı makinelerinin dizayn ve seçiminde, keski seçiminde, performans ve maliyetin tahmininde ve optimum kesme geometrisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kesme kuvveti, normal kuvvet ve yanıl kuvvet ve spesifik enerji farklı kesme derinlikleri ve farklı keskinin arası mesafede verilen mekanize kazı makinasının kazı hızı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$ICR = 0.8 \frac{P}{SE} \quad (1)$$

Burada, ICR net kazı hızı m^3/h olarak, P Kesici kafa gücü (kW), SE : Optimum spesifik enerji (kWh/m^3).

Bölüm 6 birim hacimdeki kayacı kesebilmek için gerekli olan spesifik enerjinin tahminini ve yeni eşitlikleri içermektedir. İstatistik eşitlikler regresyon analizi yapılarak geliştirilmiştir. Spesifik enerji değeri birkaç faktörden birden özellikle kaya özellikleri ve keskidenden etkilenmektedir aradaki farkı görmek için basit istatistik yerine çok katlı regresyonda yapılmıştır. Kesme sonuçları, kaya özellikleri ve spesifik enerji arasındaki güvenilir ilişkileri bulmak için bazı bilgisayar programları kullanılmıştır. Bulunan eşitlikler küçük ve büyük boyutlu kaya kesme deney sonuçları ile karşılaştırılarak geçerlilikleri değerlendirilmiştir. En iyi eşitliği bulabilmek için kullanılan modeller:

- Korelasyon katsayısı (R^2)
- t testi
- F testi

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler regresyonla bulunmuştur. Kayaçların yoğunluk, basınç ve çekme dayanımı, dinamik ve statik elastik modül değerleri, kayacın sismik hız özellikleri ve geri tepmeli (Schmidt) çekiç (N-24 ve L-9 tipi) değerleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Tam boyutlu kazı setinde $d=5$ mm ve $d=9$ mm kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen yardımsız ve optimum s/d 'deki spesifik enerji SE4 ile SE2 bağımlı değişkenler olarak tanımlanmıştır. Ayrıca tam ve küçük boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değerleri kendi aralarında incelenmiş ve küçük boyutlu kazı seti kullanılarak tam boyutlu kazı setindeki spesifik enerji değerleri tahmin yöntemleri geliştirilmiştir.

Bölüm 7'de bu çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmekte ve sonuçlar verilmektedir. Yeni geliştirilen tahmin yöntemleri, kayaçların mekanik özellikleri de dikkate alınarak açıklanmaya çalışılmıştır. Kayaç özellikleri, pasanın elek analizi sonuçları ile spesifik enerji değerleri arasında bilimsel açıdan güçlü ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Kayaçların basınç ve çekme dayanımı ile Schmidt çekicinin spesifik enerji üzerinde önemli etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Bu doktora çalışması madencilik ve tünelcilik faaliyetlerinde kullanılan mekanize kazı makinalarının seçiminde kullanılan spesifik enerji değerinin, kayaç özellikleri ile küçük boyutlu kaya kesme setinden tahmin için yeni eşikliklerin oluşturulması öncelikli esasına dayanmaktadır. Bu tezdeki deneysel çalışmalar ve analizler özel durumlardaki kaya koşullarını, doku, tane boyutu ve şekli, aşındırıcılık, sertlik ve yataklanma gibi parametreleri kesme kuvvetleri ve makine performansı üzerinde etkili olmalarına rağmen kapsamamaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen bilimsel sonuçlar, spesifik enerji değerinin kayaçların fiziksel özelliklerinden ve tam boyutlu kazı setinde deney yapılamadığı koşullarda, küçük boyutlu kazı seti kullanılarak, tahmin edilebileceğini göstermektedir.

COMPARISON OF SMALL SCALE AND FULL SCALE ROCK CUTTING TESTS TO SELECT MECHANIZED EXCAVATION MACHINES

SUMMARY

The specific energy criterion is a simple method for a quick and informative performance prediction of all types of mechanical excavators. This criterion uses machine installed head power, total system efficiency and the specific energy required for cutting a particular rock type with a certain type of tool. Using the specific energy concept, achievable production rates are calculated for a machine with a known power available on the cutterhead. Specific energy is defined as the amount of energy required to break a unit volume or weight of rock expressed in kWh/m³ or MJ/m³. This value can be determined from small-scale or full-scale laboratory linear rock cutting experiments at different cut spacings and depths. For this purpose in this work small-scale and full-scale (Linear cutting machines) rock cutting experiments were performed on rock samples obtained from 18 different types of rocks. Cutter forces acting on a cutter in three directions (the cutting force, the normal force, and the sideways force) and, specific energy values were measured during testing. In addition, physical and mechanical property testing were carried out and relationships between specific energy values and rock mechanical properties were analyzed using the method of least squares regression analysis.

In chapter 2, extensive literature review was performed about the research studies conducted over the years on performance prediction models for mechanized cutting systems. There are several models for performance prediction of roadheaders, each one based on some theories and experiences. The theoretical models are based on the analysis of the forces or the energy required to excavate a unit volume of rock and to relate that to the rock properties such as rock uniaxial , tensile, and shear strength, geological features of the ground such as RQD, and finally available power or thrust on the machine. A number of methods have been developed to estimate penetration rate of mechanical excavators and their efficiency in different rocks type. The methods typically correlate the penetration rate to particular parameters such as unconfined compressive strength (Graham, P.C., 1976), total hardness (Tarkoy), full-scale linear cutting test (L. Ozdemir, 1997), small-scale core cutting test (McFeat Smith, Fowell, R.J., 1977), rocks joints, fissures, compressive strength and abrasivity (Aleman, V.P., 1983), rock mass index, compressive strength and ground water (Sandbak, L. A., 1985), petrographic properties of rock, compressive strength and Schimazek abrasivity (Gehring, K.H., 1989), Rock Impact Hardness Index (Matsui, K., Shimada, H., 1993) etc. The overall study of the literature survey on performance and efficiency of the mechanical excavators show that this scientific area needs extensive further studies.

Among in these methods full-scale linear cutting test and small-scale core cutting test are the most widely used and accepted to estimate production and advance rate and efficiency of mechanical excavators. The full-scale linear cutting test is more expensive and complex than the small-scale core cutting test and requires up to 1 m x

1 m x 0.6 m rock blocks in size. Sometimes it is impossible to get that big rock samples during the geotechnical exploration studies. However, core samples can easily be obtained during geotechnical investigations. To get specific energy by using small-scale rock cutting test on core samples is easy and less expensive method than the full scale rock cutting tests.

In chapter 3, data acquisition system of the small-scale rock cutting machine was presented. Small-scale test machine was not ready and needed a tri-axial dynamometer, data acquisition systems and data analyzing software program. For that reason, old data acquisition system and tri-axial load cell were modified to measure high capacity cutting forces. The main modification to the small-scale rock cutting machine was the putting a strain- gage technology of the tri-axial dynamometer that resolves the cutter into three component forces. The old tri-axial force dynamometer was used for that purpose. The electrical resistance strain gauges were used Measurements group type CEA-06-125 of 6 mm. gauge length with a resistance of 350 ohms and gauge factor of 2.1. The centers of the strain gauges were located on the centre lines of the force dynamometer's beams and 10 mm. from the ends of the measuring beams. The adhesive used was M-Bond 200 type which is a rapid curing cyanoacrylate.

The tri-axial force dynamometer should have ability to measure the three forces (normal, cutting, sideway forces) without interaction, i.e. each component of force, should not influence the indicated values of the other measured components. In accordance with standard test procedure, the small-scale rock cutting machine's load cell was calibrated by using a hydraulic jack and a steel ball. This process repeated many times to get best correlation during calibration. Calibration loads were varied from 0 to 1650 kgf at 100-kgf increments of jack pressure, and the load cell voltage output was recorded. The dynamometer sends signals via an amplifier to a computer from which loads experienced during a calibration were obtained. Data were then used to perform linear regression analysis of voltage vs. loads. From this analysis, the slope and intercept values were obtained to convert voltage to force. This was done separately for the normal, rolling, and side force components. An Excel macro was used to reduce the data obtained from the regression analysis.

In chapter 4, the rock physical property testing including UCS, (Uniaxial compressive strength; the single most common and useful test for determining rock strength) , BTS, (Indirect (Brazilian) tensile strength; when combined with UCS, an excellent measure of cuttability), elastic and dynamic constants (E , ν), Schmidt hammer (N-24 and L-9 types) tests, and density for different rock types (Sandstone, Mudstone, Shale, several Volcanic Rocks, Chromites, Trona, and Copper) were performed under strict quality control guidelines and in full-compliance with ASTM and/or ISRM established test procedures.

In chapter 5, laboratory specific energy values were obtained using the results of small-scale and full scale linear cutting tests. Specific energy values were calculated according to following equation: $(\text{Mean drag or rolling force} \times \text{length of cut}) / (\text{weight of excavated material} \times \text{rock density})$. During rock cutting experiments at least three cuts were performed at each of the penetrations and spacings used and the mean value of specific energy obtained. An extensive database of rock cutting tests results was created in order to carry out statistical analysis. The size distribution of the muck collected from small scale rock cutting experiments for relieved and unrelieved

test conditions was determined through sieve analysis. Coarseness index (C.I.), a non-dimensional number, gives a measure of the size and distribution of debris from the excavated cut. This is calculated by sizing the rock chip and dust sample in a standard set of sieves and determining the sum of the cumulative mass percentages of each size. CI number for each cut was calculated and correlated with the optimum specific energy values. The results show that there is a strong relationship between the coarseness index of muck from an optimum spacing of rock cutting test and the specific energy.

Following is a description of the small-scale and full-scale rock cutting testing equipments. In addition, the steps involved in sample preparation, surface conditioning, and the test procedures are discussed in this chapter.

- Small scale cutting test

This test has been developed by McFeat Smith and Fowell to simulate the cutting action of drag-pick tools and to measure the corresponding cutting properties of rock materials. It is suggested a standard laboratory rock cutting test by international rock mechanic commission to measure the cuttability of rocks. In this test a core of 7.6 cm. in diameter or a small rock sample of 20 x 10 x 10 cm is fixed in a table of a shaping machine and cut by a chisel pick having a rake angle of -5° degrees, a clearance angle of 5° degrees, tool width of 12.7 cm and a cutting depth of 5 mm. as a standard conditions. The tool forces in three orthogonal directions are recorded using a force dynamometer and the specific energy in MJ/m^3 or kWh/m^3 is calculated by dividing the mean cutting force FC by the yield Q (the volume of rock or mineral obtained by unit distance of cut). The test results, which may be classified as index values, are evaluated according to previously accumulated field performance data.

- Full-scale cutting test

This method is the most realistic approach, since a block of 70 x 50 x 50 cm. in size is cut in the laboratory with an actual size cutter (point attack tool, chisel picks etc.). All the full-scale rock cutting tests were carried out with an S-35/80H conical cutter manufactured by Sandvik. The full scale linear cutting machine features a large stiff reaction frame on which the cutter is mounted. A triaxial load cell, between the cutter and the frame, monitors forces. The rock sample is cast in concrete within a heavy steel box to provide the necessary confinement during testing. All the full-scale rock cutting tests were carried out with clearance angle 17° , attack angle $55-56^\circ$, cutting speed 12,7 cm/sn and data recording rate 2000 Hz constantly of conical cutter.

Full-scale testing minimizes the uncertainties of scaling and any unusual rock cutting behavior not reflected in its physical properties. The force data is used as input for selection and design of an excavator, selection of cutter, definition of optimum cutting geometry and prediction of performance and cost. The cutting force, normal force, sideways force and specific energy values are obtained with different depth of cut and tool spacing and the production rate of a given mechanical excavator is calculated by the following formula:

$$ICR = 0.8 \frac{P}{SE} \quad (1)$$

In this formula ICR is instantaneous production rate in m^3/h , P is cutting power of the mechanical excavator in kW and SE is optimum specific energy in kWh/m^3 .

Chapter 6 contains the development of new formulas for specific energy values estimation. The statistical model equations were developed based on the regression analysis. Since specific energy values are affected by several factors which are especially rock properties and cutting tools, not only are simple regression also multiple curvilinear regressions analysis applied together to see the difference. To find the reliable relationship between cutting results and rock properties, specific energy and all rock physical properties data carried out using some statistical softwares. These formulas were validated by comparing the results with the measured specific energy values in the small-scale and full-scale laboratory cutting tests. The selection criteria for the best model are :

- Coefficient of multiple determination (R^2)
- t-test
- F-test

Dependent and independent variables are described to find relationships using regression analysis. The density, uniaxial and tensile rock strength, static and dynamic elastic values, seismic waves, Schmidt hammer values of the rocks and, specific energy values obtained from small-scale rock cutting tests at 5 and 9 mm. depth of cut are chosen as independent variables. SE2 (Specific energy values obtained from optimum s/d using full-scale linear rock cutting test) and SE4 (Specific energy values obtained from unrelieved rock cutting tests using full-scale linear cutting test) are chosen as dependent variables. In addition, the relationship between two different specific energy values obtained from full scale and small-scale rock cutting tests was investigated by using statistical analysis.

Chapter 7 summarizes the results of the thesis work and lists the conclusions. A newly developed specific energy equations with respect to influencing rock property parameters were discussed. The results of the initial analysis showed a very strong and dominant relationship between the specific energy values, rock properties, and the muck size distribution. The unconfined compressive strength, the tensile strength, and Schmidt hammer values are found to have a much more impact on specific energy.

This thesis study primarily intended to focus on development of new formulas for estimating the specific energy from rock properties and small scale rock cutting test for selection of rock mechanical excavators used in tunnelling and mining works. Using specific energy criterion production and advance rates can be estimated for mechanical hard rock excavators. The experimental studies and analysis in this thesis work do not include the effects of some particular rock features such as fabric, grain size and grain shape, abrasiveness, fracture toughness, hardness, and foliation, even though they are known to have some influence on the cutting forces and machine performance.

Consequently, statistical analyses showed that specific energy values can be predicted from rock mechanical properties to select most efficient mechanical excavators.

1 GİRİŞ ve AMAÇ

Son yıllarda açık işletme madencilik yöntemleri ile üretilecek cevherlerin hızla tükenmesi, bu faaliyetleri yeraltı işletmeciliğine kaydırmaktadır. Dünyada diğer madencilik şirketleri ile rekabet edebilmek ve madencilik faaliyetlerini daha verimli ve daha ucuza yapabilmek için, insan gücünü en aza indiren, hızlı mekanize kazı sistemlerini kullanmak günümüzde kaçınılmazdır. Aynı sistemlerin inşaat işlerinde de kullanılması gün geçtikçe artmaktadır. Sanayileşmenin ve göçün yoğun olduğu büyük kentlerde altyapı hizmetleri yöneticilerin en büyük problemi haline gelmiştir. Metro, doğal gaz, elektrik, su ve kanalizasyon hizmetlerinde, gerekli yeraltı açıklıklarının çok hızlı olarak açılması, mekanize kazı sistemlerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir .

Ülkemizde de mekanize kazı sistemlerin kullanılması gün geçtikçe hem madencilik hem de inşaat sektöründe artmaktadır. İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi büyük kentlerimizde yapımına başlanan metro çalışmalarında ve madencilik faaliyetlerinde, kazı makinaları kullanılmaya başlanmıştır.

Tarih boyunca insanlar, kazı işleri ile uğraşmışlardır. Başlangıçta barınma ortamı olarak kullandıkları mağaraları ihtiyaçları doğrultusunda genişletmek için çok ilkel alet ve metotlarla zemini ve kayaları kazmışlardır. Tarih öncesi çağlarda başlayan kazı, günümüzde artan bilgi birikimi ve teknolojik gelişmeler sayesinde artık çok modern makinalar ve ilerlemiş teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Buna rağmen kazı mekaniğinin anlaşılmasına başlaması ve biliminin gelişmesi oldukça yenidir. Mekanize olarak yapılan kazılar ilk olarak on dokuzuncu yüzyılda yeraltı kömür üretimi ile başlamış bilgi ve teknolojilerin artması nedeni ile gelişimi hız kazanmıştır. Amerika'da 1910 ile 1920 yılları arasında, malzeme alanındaki gelişmeler, özellikle yeni darbeli delicilerin ve kömür kazı makinalarının yapılmasına neden olmuş ve bugünkü modern kazı makinalarının tasarım temelleri atılmıştır. Kömür madenciliğinin dışında, inşaat sektöründeki ilk modern gelişme 1884 de Albay Beaumont'un Manş Denizi'nin altından geçecek 2.14 m çapındaki bir

tünel için tasarımılandığı tam kazı cepheli bir tünel açma makinası ile başlamıştır [1]. Alman kömür sabanlarının 1948'de İngiltere'ye girişi ve Anderson kesici yükleyicilerinin 1948'de üretimi ile kazı mekaniğindeki gelişme süreci yeni bir aşamaya girmiş ve karşılaşılan büyük zorluklar İngiliz kömür idarelerine bağlı bir kazı mekaniği grubunun kurulmasına neden olmuştur. Bu grup çalışmalarını bugüne kadar devam ettirmiş ve kazı mekaniği biliminin gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Kazı mekaniği biliminin temelleri tam olarak oturmadığı için araştırmacılar, bu alanda yapılan bilimsel çalışmalara son otuz yıldır hızlı bir şekilde devam etmektedir.

Hangi faaliyetlerde ne tür mekanize kazı sistemlerinin kullanılması gerektiği uzun süreden beri tartışılmaktadır. İlk yatırım maliyetleri çok yüksek olan bu tür çalışmalarda, yatırımı yapacak olarak girişimci, projenin bitim süresini kestirmek istemektedir. Eğer, bu bir metro çalışması ise ihalede belirtilen işin bitim süresinin, eğer bir madencilik faaliyeti ise ne kadar üretim yapabileceğinin bilinmesi zorunludur. Bu yüzden mekanize kazı sistemlerinde, kazı performansının güvenli bir şekilde önceden kestirimi çok önemli olmaktadır. Kazı performansının kestirimi; teknik, ekonomik olarak uygulanabilirliğin ve kazı hızlarının önceden kestirimi olarak tanımlanabilir ve kazı işlerinin ekonomikliğini hayati derecede etkilemektedir. Bu da mekanize kazı sistemlerinde kullanılacak makinanın seçiminin kayaç kütlesi ve çevre özelliklerine uygun olarak yapılmasını ve bu tür makinelerin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamakta ve mekanize kazıyı diğer kazı sistemlerine nazaran avantajlı duruma getirmektedir. Makina, kazı yapılacak formasyonun özelliklerine göre seçilmez ve dizayn edilmez ise; ülkemizde kanalizasyon tünellerinin açıldığı Baltalimanı örneğinde olduğu gibi, birçok sorunlarla karşılaşılır ve sistem değiştirilmek zorunda kalınır. Bunun için kullanılacak makinanın seçimi çok önemli olmakta ve işe başlamadan önce kesilecek formasyonun kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bugün bu konuda ne yazık ki herkesin kabul ettiği standart bir kazılabilirlik tayin yöntemi yoktur. Uygulamalardan elde edilen deneyimler ve bu tür makinelerden daha verimli sonuçlar alınabilmesi için yapılması gerekenler hakkında konunun uzmanları tarafından ISRM'de (Uluslararası Kaya Mekaniği Cemiyeti) 1987'de toplanan bir komisyonda detaylı görüşülmüş ve bazı tavsiye kararları alınmıştır [2]. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Dayanım özelliklerini irdeleyen test yöntemleri (Basınç dayanımı, çekme dayanımı, kesme dayanımı ve nokta yük deneyi testleri)
- Aşındırıcılık özelliklerini irdeleyen test yöntemleri (Kayacın mineral içeriğinin, tane boyutunun ve çimentolanma derecesinin saptanması, Cerchar aşındırıcılık testi ve Schimazek aşındırıcılık testi)
- Kırılgenlik ve dayanım özelliklerini irdeleyen test yöntemleri (Shore Scleroscope ile plastik sertlik testi, koni delici, uç batırma testi, darbe dayanımı testi, Schmit çekici testi)
- Yerinde yapılan kazılabilirlik deneyleri
- Laboratuvar kesme deneyleri

Bu çalışmada, mekanize kazı makinalarının kazı hızı tahmin yöntemlerinin anlaşılması, spesifik enerjinin tahmininde kolay, uygulanabilir ve pratik bir yöntemin geliştirilmesi, küçük ve büyük boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin karşılaştırılması, kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile olan ilişkisinin araştırılması ve bütün bunlar yardımı ile kullanılabilir yeni bir performans tahmin yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

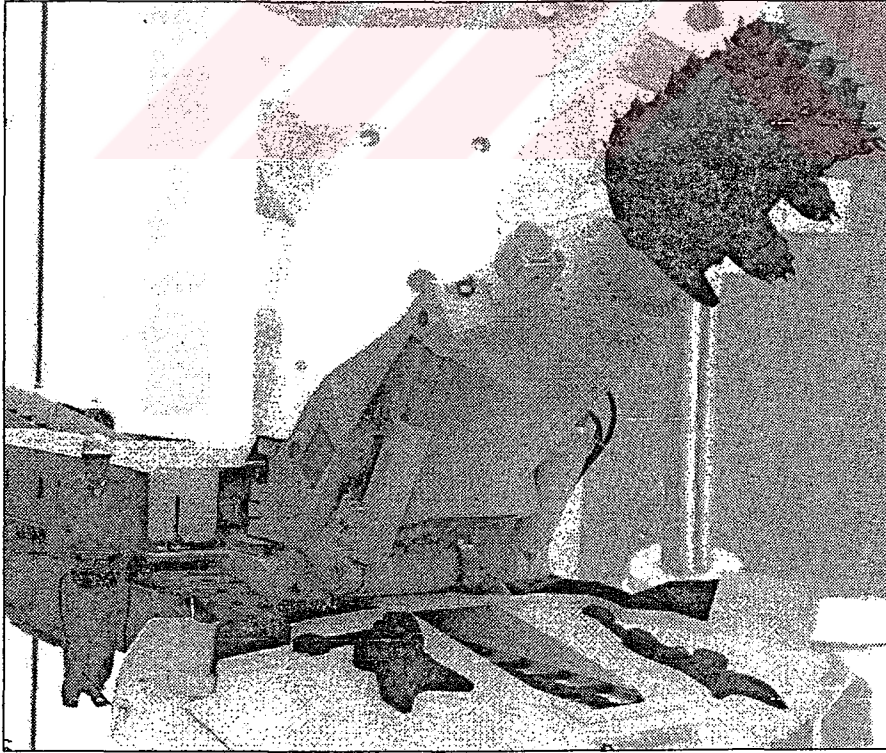
Bu amaçla, değişik fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kayaçlar üzerinde, tam ve küçük boyutlu kazı seti kullanılarak, kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sırasında, keskilere gelen kuvvetler ve spesifik enerji değerleri her iki deney setinde de hesaplanmış, birbirleri ile olan ilişkileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Tam boyutlu kazı seti deneylerinin pahalı olması, her laboratuvarında bulunmaması ve tecrübeli personele ihtiyaç duyulması nedeniyle, spesifik enerji değeri, kayaç özelliklerinden ve küçük boyutlu kazı setinden tahmin edilmiş, gerçeğe yakınlığı tam boyutlu kazı seti deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2 FORMASYONLARIN KAZILABİLİRLİK TAYİNİ, MAKİNA SEÇİMİ VE PERFORMANS TAHMİNİ

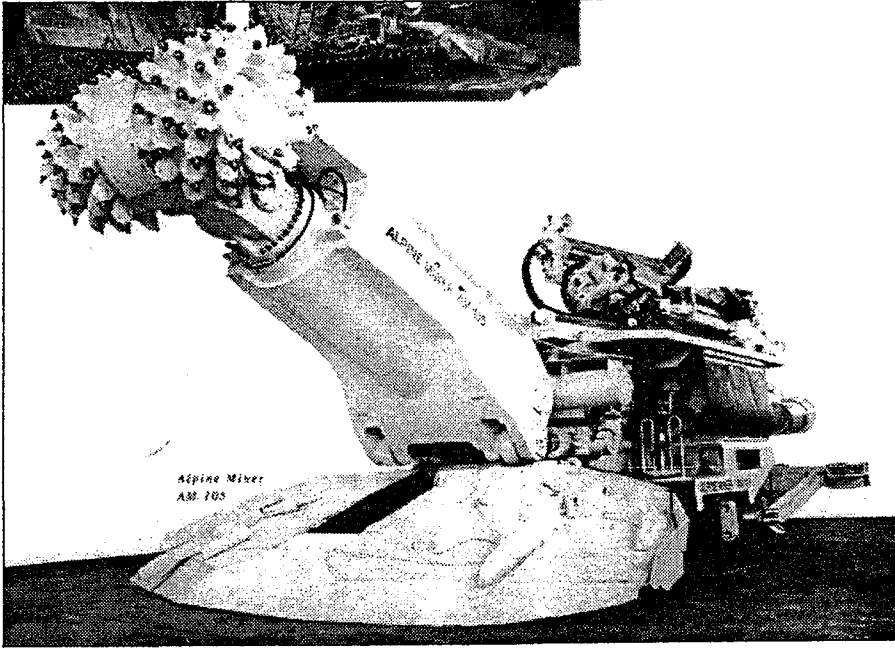
Genelde, tünel ve galeri aan mekanize kazı makinaları iki ana gruba ayrılabilir;

- a) Kademeli kollu kazı yapan makinalar
- b) Tam cephe kazı yapan makinalar

Kademeli kazı yapan makinalar ilk kullanıldıkları yıllardan, günümüze kadar büyük teknolojik gelişmelere uğramışlardır. Masif formasyonlarda üst kullanım sınırı 500 kg/cm² iken bugün bu sınır 1000 kg/cm²'ye kadar çıkmıştır. Kırıklı ve çatlaklı formasyonlarda ise 1500-1600 kg/cm²'ye kadar basınç dayanımına sahip kayalar ekonomik olarak kazılabilir. Bu makinalar kesici kafanın hareket şekline bağlı olarak; arına dik (spiral) ve paralel (tambur) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (şekil 2.1, şekil 2.2).

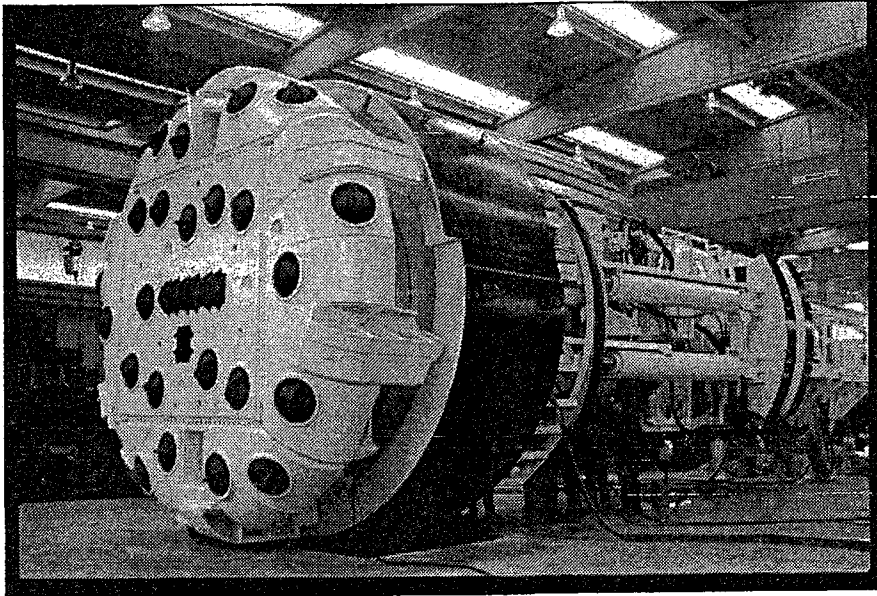


şekil 2.1 Arına dik hareket eden kesici kafalı bir kademeli kazı makinası



Şekil 2.2 Arına paralel hareket eden kesici kafalı bir kademeli kazı makinası

Tam cephe kazı yapan makinaların ilk uygulamaları kademeli kazı yapan makinalardan daha sonra gelişmiş ve kullanım alanları artmıştır. Bu tür makinalar en sert ve en yumuşak kayalarda bile başarı ile kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Tam cepheli kazı makinaları ile basınç dayanımı 2500 kg/cm^2 olan bir granit formasyonunda, 7m çapında bir makina günde kolaylıkla 7-8 m'lik kazı hızlarına ulaşabilmektedir [3].



Şekil 2.3 Tam cepheli kazı yapan bir makina

Bugün kazı mekaniği esasına göre tasarımılandırılan makinalar aşağıdaki gibi sıralanabilir [4]. Mekanize kazı makinaları açık, yeraltı ve inşaat sektöründe kayaların türüne göre farklı işler için kullanılmaktadır:

Açık Ocak ve Yeraltı Madenciliği

- Kesici yükleyici (Kömür, potasyum, fosfat)
- Sürekli yüzey kazısı yapan makinalar (Kömür, anhidrit, tuz, şeyl, demir cevheri)
- Kademeli kollu makinaları (Demir cevheri, potasyum, jips, şeyl)
- Saban (Kömür)
- Mekanize kuyu açma makinaları (Metal ve kömür madenciliği)
- Tam cepheli tünel açma makinaları (Kömür ve metal madenleri)
- Kepçeli ekskavörler (Kömür ve yumuşak cevher)
- Riperler

İnşaat Sektörü

- Tam cepheli tünel açma makinaları
- Kademeli kollu makinaları
- Riperler (Genel hafriyat amacı ile)
- Kuyu açma makinaları (Kuyu açma, zemin sağlamlaştırma ve tünellerde havalandırma bacaları için)

Kademeli kazı yapan kollu galeri açma makinaları manevra kabiliyetlerinin yüksek oluşundan dolayı, madencilik işlerine daha uyumluluk gösterir. Tam cepheli kazı yapan makinalar ise daha çok inşaat sektöründe uygulama alanı bulmaktadırlar.

Bir mekanize kazı sisteminin ekonomik verimliği ve uygulanabilirliği göz önüne alındığında, sorgulanması gereken sorular kısaca şunlardır;

- a) Kazı işleminde kullanılacak olan makina ile bu kaya kesilebilir mi?
- b) Evet kesilebilir cevabı var ise, ne kadar hızda kesilebilir?
- c) Bu kazı işleminin maliyeti ne olur?

Yukarıdaki sorulara sağlıklı cevap verebilmek için kullanılacak makineyi seçmeden önce kayaların kazılabilirliğini etkileyen parametrelerin araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Kayaların kazılabilirliğini çeşitli şekillerde tanımlamak mümkündür. Örneğin; belli koşullar altında kayacın en büyük verimle en az güç kullanılarak, en hızlı şekilde yerinden koparılması kazılabilirlik olarak tanımlanabilir.

Yine benzer şekilde; belli bir kesitte mekanize kazı yapılırken eşit hızda ilerleme sağlamak için daha küçük keski kuvvetleri gerektiren, diğer bir deyişle daha az makina gücü ve büyüklüğüne gereksinim gösteren kaya daha kolay kazılabilir, olarak tanımlanabilir. Benzer şartlarda daha hızlı ilerlenebilen, daha az keski aşınmasına neden olan kayalar da yine kolay kazılabilir olarak nitelendirilebilirler [5].

Bir başka tanım ise; kazılabilirlik, kayaların bir kazı makinası ile kesilmesindeki kolaylık derecesi olarak tanımlanabilir, şeklindedir [6].

Yukarıda belirtilen tanımlamalardan da görülebileceği gibi; oluşturulacak bir mekanize kazı sisteminin ekonomik ve randımanlı olabilmesi için; çalışacağı formasyonun özelliklerinin iyi bilinmesi ve sistemin ona göre tasarımılandırılması gerekmektedir. Bu nedenle kullanılacak makınayı seçmeden önce kayaların kazılabilirliğine etki eden faktörler araştırılmalıdır. Bu faktörlerden başlıcaları; kayacın dayanım, kırılgenlık, aşındırıcılık özellikleri ile kaya kütlesinin yapısal özellikleridir.

Uygun bir seçim yapabilmek için klasik laboratuvar deneylerinin yanı sıra, çabuk sonuç veren yöntemlerin de kullanılması önemlidir. Makina seçimi yapıldıktan sonra kayacın veya madenin ne kadar sürede kesilebilirin cevabı için performans tahmin metotlarının kullanılması gerekmektedir.

Makina seçimini ve performansını etkileyen faktörleri iki ana grupta toplanabilir. Birincisi kullanılacak olan kazı makinasının özelliklerine bağlıdır. İkincisi kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerine, işletme parametrelerine ve formasyonun kütleli özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Makina performansının kestirimi için, kazı malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, kaya kütlesi özellikleri ve makina karakteristikleri hakkında bilgi toplamak çok önemlidir. Bu üç grup arasındaki bağlantı bize keski ile kaya, kaya ile makina etkileşimi hakkında bilgi sağlar ve performans kestiriminde yol gösterir.

Tablo 2.1 Kazı makinalarının performansını etkileyen bazı parametreler [7]

Makina Özelliklerine Bağlı Parametreler	Jeolojik Parametreler
Makina Özellikleri Makinanın tipi Makinanın ağırlığı ve boyutları Pasa toplama ve taşıma kapasitesi Makinanın yaşı Makinanın kurulu toplam gücü Kesici Kafa Özellikleri Kesici kafanın tipi ve boyutu Kesici kafanın gücü Keskilerin dağılımı ve sayısı Keski tipi ve özellikleri	Kaya Kütlesi Özellikleri Kaya kalite değeri (RQD) Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR) Jeolojik süreksizlikler Hidrojeolojik durum Kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri) Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, kohezyon, elastik değeri) Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri) Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, mikroçatlaklar ve tane boyutu) Aşındırıcılığı (Cerchar değeri) Sismik özellikler (P ve S dalgası) Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı)

2.1 Günümüzde Kullanılan Performans Kestirim Modelleri

Günümüzde yapılan performans kestirim modelleri iki gruba ayrılmaktadır:

- Ampirik modeller
- Teorik modeller

Ampirik modeller, kazı makinasının çalıştığı yerden alınan verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, laboratuvar çalışmaları veya bu iki yöntemin beraber yorumlanması esasına dayanmaktadır. Burada net kazı hızını etkileyen; kayacın mekanik ve fiziksel özellikleri, jeolojik süreksizlikler ve makina özelliklerine bağlı parametreler, yerinde toplanır ve bir bilgi matrisi yardımı ile model oluşturulur. Ampirik modellerin güvenilirliği, toplanan verinin kalitesine ve miktarına bağlıdır. Bu modeller makina seçimi ve performansının kestiriminde sıkça kullanılmaktadır. Ancak makina çalışırken güvenilir veri toplamının güçlüğü nedeni ile bu yöntemlerin zayıf yanları da bulunmaktadır.

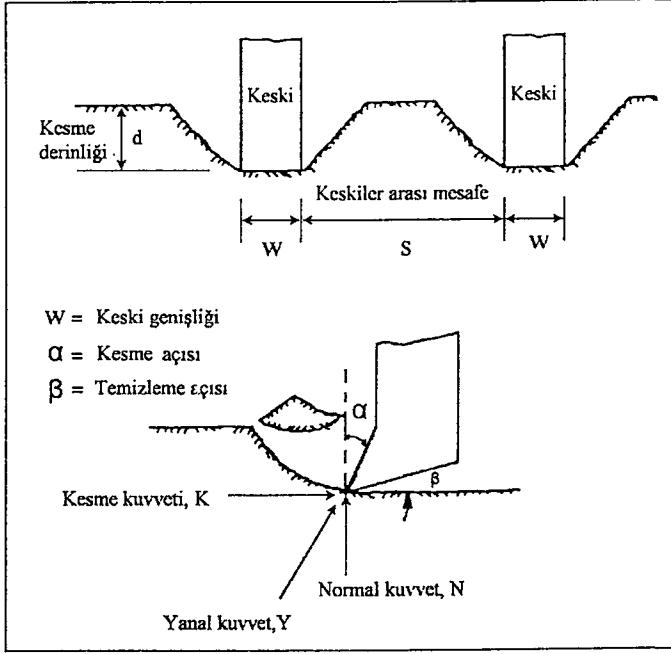
Teorik modeller daha çok keski kuvvetlerinin hesaplanması için geliştirilmiştir. Kayaların basınç, kesme ve çekme dayanımları ile içsel sürtünme açılarını dikkate alan bu modeller, makina tasarımında ve performans kestiriminde yetersiz kalmaktadır. Bunun nedeni, kaya ile keski arasındaki ilişkinin tam olarak tarif edilememesi ve bazı kabuller yaparak geliştirilmiş olmasıdır. Ayrıca kaya ile keski arasındaki ilişkinin etkileşimini, malzeme özelliklerini sabit tutarak açıklamaya çalışmaktadırlar. Teorik modellerde bu etkileşim genelde iki boyutlu gerilme dağılımı olarak düşünülür ve ezilen parçalanmış kırıklı zonun gösterdiği davranış bu modellerin içine sokulamamıştır. Teorik modeller yardımı ile elde edilen kuvvetler yarı ampirik modellerde kullanılmakta ve makina performansını kestirmede yardımcı olmaktadır [8].

2.1.1 Kademeli kazı yapan makinalar için kullanılan performans kestirim modelleri

2.1.1.1 Küçük boyutlu kazı deneyi

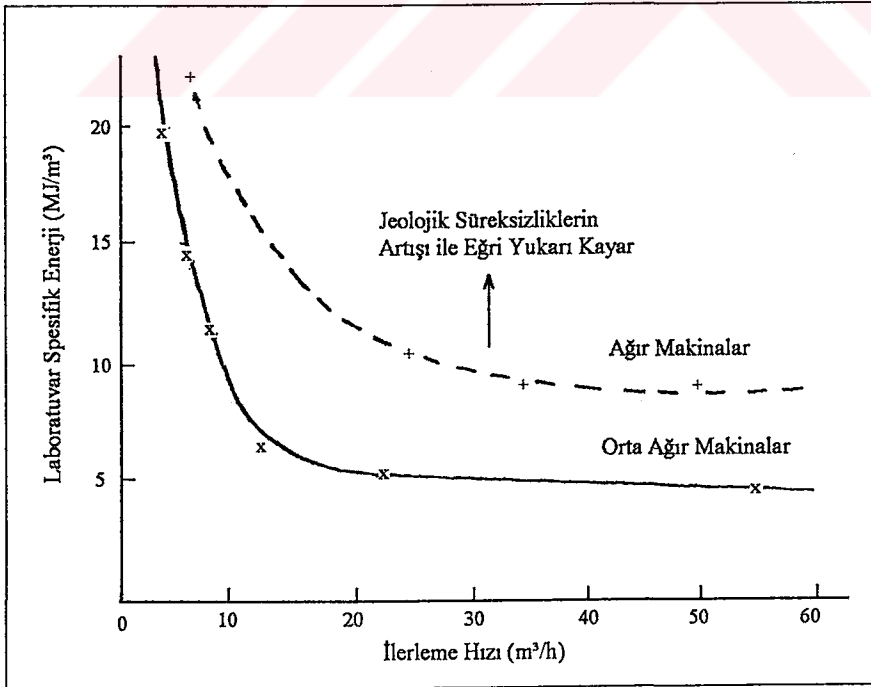
McFeat-Smith ve R.J. Fowell tarafından geliştirilen bu yöntem uzun yıllar laboratuvar ve yerindeki deney sonuçlarına dayanılarak geliştirilmiştir. Yerinde yapılan çalışmalarda kademeli kollu galeri açma makinalarının net kazı hızlarını, tükettiği gücü, keski tüketimini ve duraklamaları ölçerek kademeli kollu açma makinelerinin performanslarını yerinde tespit etmişlerdir. Buralardan aldıkları karot veya blok numuneleri, laboratuvarda sabit şartlarda küçük boyutlu kesme deneyine tabi tutarak, bir keskiye gelen yatay ve dikey kuvvetleri ölçmüş ve birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan spesifik enerjiyi (MJ/m^3) ve birim mesafedeki keski tüketimini belirlemişlerdir [9,10]. Laboratuvarda yapılan kesme deneyinde keskiye gelen kuvvetler ve kesme şartları aşağıdaki gibidir (Şekil 2.4). Bu çalışmada küçük boyutlu kaya kesme deneyleri yapılırken, aşağıdaki sabit kesme koşulları kullanılmıştır:

Kesme derinliği (d)	: 5 mm
Kesme açısı (α)	: -5°
Temizleme açısı (β)	: 5°
Keski genişliği (W)	: 12.5 mm
Keski ucu	: Tungsten karbür, %10 kobalt



Şekil 2.4 Kama uçlu keskinin tasarım parametreleri ve keskiye gelen kuvvetler

McFeat-Smith ve R.J. Fowell'ın yaptığı çalışmalar, belirli bir değere kadar, spesifik enerji düştükçe, kademeli kollu galeri açma makinasının ilerleme hızının arttığını göstermiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Kademeli kollu galeri açma makinalarının ilerleme hızlarının SE ile değişimi [12]

Aynı çalışmada, farklı özelliklere sahip 72 kaya üzerinde bir seri kazı mekaniği deneyleri yapılmıştır. 2.1'deki eşitlik dikkate alınır, spesifik enerji değerinin, formasyonların N.C.B koni delici değeri, basınç dayanımı, Shore sertliği ve kayacın çimentolanma derecesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bununla beraber kademeli kollu makinaların kesebileceği sınırdaki olan 21 kaya kullanılarak oluşturulan 2.2'deki eşitlikte sadece N.C.B koni delici değeri ile plastisite indeksi değerlerinin girdiği bulunmuştur [10,11].

Bu eşitlikler aşağıdaki gibidir;

$$SE = -4.38 + 0.14 CI^2 + 3.3 \sigma_c^{1/3} + 0.000018 SH^3 + 0.0057 CC^3 \quad (2.1)$$

$$SE = -0.65 + 0.41 CI^2 + 1.81 k^{1/3} + 2.6 \quad (2.2)$$

Burada;

SE : Spesifik enerji, MJ/m³

CI : Koni delici değeri

σ_c : Basınç dayanımı, kg/cm²

SH : Shore scleroscope sertliği

CC : Numunenin çimentolanma derecesi, %

k : Plastisite indeksi

Newcastle Upon Tyne Üniversitesi'nde uzun senelerdir yapılan araştırmaların verileri değerlendirilmiş, Tablo 2.2 ve 2.3'de verilen bilgiler üretilmiştir. Bu tablolar kullanılarak kademeli kollu galeri açma makinalarının seçimleri rasyonel bir şekilde yapılabilmektedir [12].

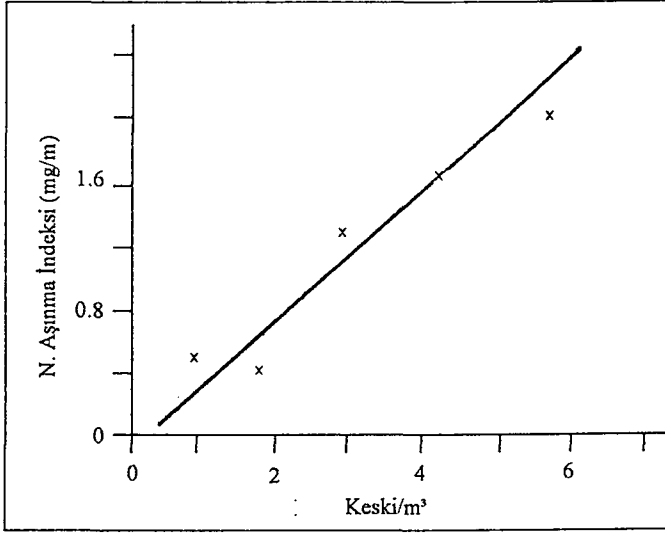
Aynı araştırmada McFeat-Smith ve R.J. Fowell kazının maliyetini ve performansını etkileyen önemli bir parametrenin de keski sarfiyatı olduğunu ortaya çıkarmış ve Newcastle Aşınma İndeksini geliştirmişlerdir. Bu indekste küçük boyutlu kesme deneyleri yapılırken ; keskinin birim kazı mesafesinde ağırlığından kaybetmesi, Newcastle Aşınma İndeksi olarak tanımlanmaktadır. Bu aşınma değeri Şekil 2.6'dan görüldüğü gibi kademeli kollu galeri açma makinalarının keski tüketiminin önceden kestirilmesinde kullanılabilmektedir.

Tablo 2.2 Orta ağırlıktaki kademeli kollu galeri açma makinalarının uygulanabilirliklerinin spesifik enerji değerlerinden belirlenmesi [12]

Spesifik Enerji MJ/m ³	Orta ağırlıktaki kademeli kollu galeri açma makinalarının uygulanabilirlikleri
20	Arındaki kaya 0.3 m.'den daha ince bantlar halinde ise bu kayada makinadan ekonomik bir ilerleme beklenebilir. Aşırı titreşimlerden dolayı makina parçalarının kısa sürede değiştirilmesi gerekir.
15	Kesme verimi düşüktür. Saatte 5 m ³ . kazı yapılabilir. Keski uçları sık sık kırılıp parçalanabilir. Aşınmaya başlayan keskinin düzenli olarak değiştirilmesi enerji gereksinimini düzelterek ve parça sarfiyatını azaltacaktır. Kalem uçlu keskin ve düşük hızlı kesme motorları uygundur.
12	Makina ilerleme hızı 9-10 m ³ /saat arasında, kesme verimi ortadadır. Keski uçlarının kırılıp parçalanması daha az görülür. Aşındırıcı kayalarda keski uçları sık sık denetlenerek değiştirilecek olursa verim artacaktır.
8	İlerleme hızı 10-12 m ³ /saat arasında değişir. Verim ortadan iyiye doğru değişim gösterir. Özellikle aşındırıcı kayaların kazılması sırasında keskin devamlı gözden geçirilmeli ve düzenli olarak değiştirilmelidir.
5	Uygulama alanı çok iyi, ilerleme hızları 20 m ³ /saat'i bulur. Zayıflık düzlemlerinin fazla olduğu çamurtaşında makina kesmeden çok ripperleme yapmakta ve çok yüksek ilerleme hızlarına erişebilmektedir.

Tablo 2.3 Ağır kademeli kollu galeri açma makinalarının uygulanabilirliklerinin spesifik enerji değerlerinden belirlenmesi [12]

Spesifik Enerji MJ/m ³	Ağır kademeli kollu galeri açma makinalarının uygulanabilirlikleri
32	Bu sertlikteki formasyon ancak arında ince tabakalar halinde ise kesilebilir. Kısa sürede makinada hasar meydana gelir. Keski sarfiyatının büyük olması beklenmelidir.
25	Özellikle masif arınlarda kesme verimi düşüktür. Keski aşınması kritiktir ve kesme, sıkı bir denetim ile düzelebilir. Makinada yapılacak değişikliklerle sert kayaların kesilmesindeki başarısızlık riski azalacaktır. Kalem uçlu keskin tercih edilmelidir. 9-11 m ³ /saat'lik ilerlemeler mümkündür.
17	Kesme verimi ortadan iyiye doğru değişmektedir. Özellikle aşındırıcı kayaların kazılması sırasında uçlar kontrol edilmeli ve düzenli olarak değiştirilmelidir. Makina ilerleme hızı 12-13 m ³ /saat arasında değişir.
8	Uygulama alanı çok iyidir. İlerleme hızı 30 m ³ /saat civarındadır. Bu sınıftaki birçok çamurtaşı, makina tarafından kesilmenin ötesinde ripperlenmektedir. Büyük kapasiteli taşıma sistemleri uygulanarak makina verimi artırılabilir.



Şekil 2.6 Keski sarfiyatının Newcastle Aşınma indeksi ile değişimi [12]

Bu modelin temel avantajı kesme deneylerine tabi tutulacak numunelerin kolay teminidir. En büyük eksiği ise modelde kullanılan keskinin endüstriyel olmayışı, hafif ve orta ağırlıktaki kazı makinaları için geliştirilmiş olmasıdır. Günümüzde kullanılan kazı makinaları gelişen teknoloji sayesinde çok daha ilerlemiş ve değişmiştir. Bu kazı performansını etkilemiş ve bu yöntemin günümüzde kullanılan kazı makinalarını da dikkate alması için geliştirilmesi gerekmektedir.

2.1.1.2 Tam boyutlu doğrusal kazı seti deneyi

Colorado School of Mines'da Özdemir'in başkanlığında geliştirilen bu yöntemin amacı gerçek boyutlu bir keski ile kaya bloğunun kesilmesi ve gerekli spesifik enerjinin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Teorik olarak, net ilerleme hızı, makina kesme gücü ve spesifik enerji arasında aşağıdaki eşitlik mevcuttur [13,14].

$$\text{Net kazı hızı (m}^3/\text{h)} = Kx \frac{P}{SE}, \text{ burada;} \quad (2.3)$$

P : Kesici kafa gücü, kW

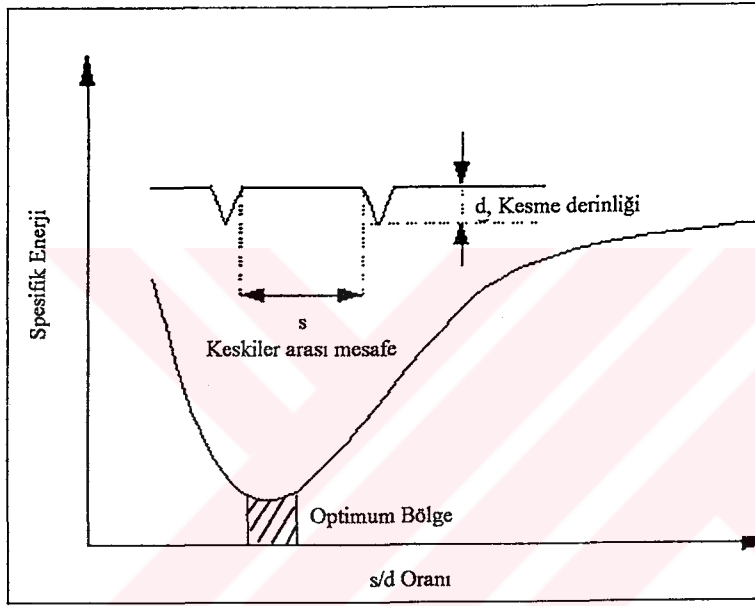
SE : Optimum spesifik enerji, kWh/m³

K : Kesici kafa gücünün kayaca iletme oranı

Bu eşitlikte K kaya kütlesi özelliklerine ve makina tipine bağlı olarak 0.45-0.55 arasında değişen bir katsayıdır [13]. Optimum spesifik enerji ise laboratuvar tam boyut kesme deneylerinden elde edilmektedir.

Kazı mekaniği prensiplerine bağılı olarak yapılan kesme deneylerinde öyle bir kesimler arası mesafe/kesme derinliğı (s/d) oranı vardır ki bu değerde birim hacimdeki kayacı kesme için gerekli olan spesifik enerji minimum olmaktadır. Optimum kesimler arası mesafe, kesme derinliğıne bağılı olduğundan, boyutsuz olan s/d oranı optimum çalışma şartlarını vermektedir [14].

Şekil 2.7’den görüldüğü gibi optimum orana ulaşana kadar s/d oranının artmasıyla spesifik enerji değeri azalmaktadır. Bu oranın ötesinde spesifik enerji değeri artmaya başlamaktadır.



Şekil 2.7. Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğri

2.1.1.3 Bilgin yaklaşımı I

Bu yöntemde, yerinde delik delerek delme hızı ile kademeli kazı yapan makinelerin kazı hızının kestiriminde bir indeks değeri olarak kullanılması düşünülmüştür. Formasyonların delinebilirlik çalışmaları Zonguldak Kozlu bölgesinde çalışan pnömomatik darbeleri deliciler üzerinde aşağıdaki şartlarda yapılmıştır.

Darbeleri delik delme makinasının ağırlığı = 25 kg

Çalışma basıncı = 45 kPa

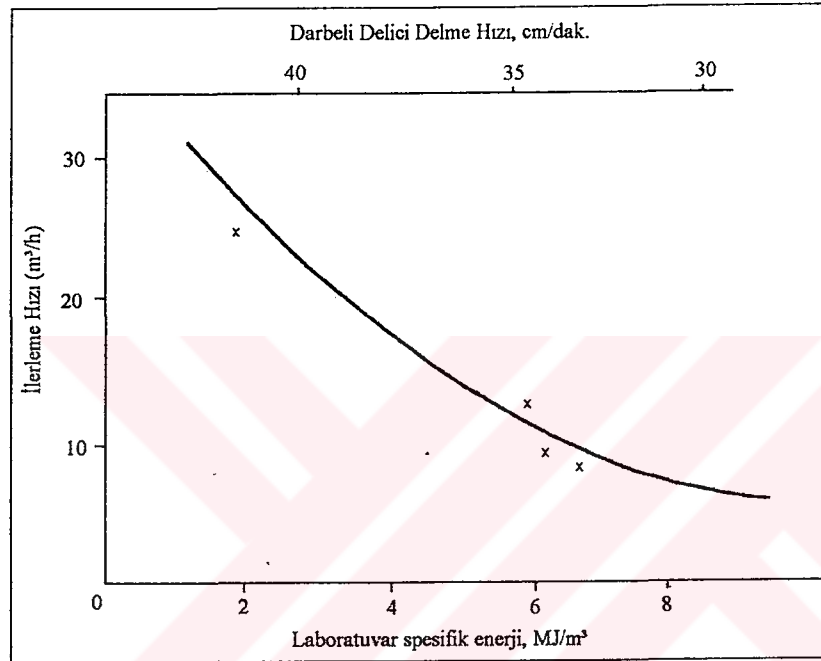
Darbe tekrarı = 3200 darbe/dak

Piston çapı = 80 mm

Nominal strok = 40 mm

Uç tipi = Tungsten karbür, 110° uç açılı

Bu bölgeden alınan kaya numuneleri Newcastle Üniversitesi'nde küçük boyutlu kesme deneylerine tabi tutularak laboratuvar spesifik enerji değerleri bulunmuştur. Darbeli delici hızı ile spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve bir performans kestirimi geliştirilmiştir (Şekil 2.8) [15]. Kademeli kollu galeri açma makinalarının çalışma şartları Çayırhan Orta Anadolu Linyitleri'nde incelenmiştir. Geliştirilen performans kestirim modeli bu işletmeye uygulandığında anlamlı sonuçlar bulunmuştur.



Şekil 2.8 Delme hızı ile kademeli kollu galeri açma makinalarının ilerleme hızları arasındaki ilişki [15]

2.1.1.4 Bilgin ve arkadaşları yaklaşımı II

Bu yöntemde, kademeli kazı makinalarının kullanıldığı yerlerde makina çalışırken net kazı hızları (m³/h) ve arındaki jeolojik süreksizlikler tespit edilmiş, yerinden alınan kaya numuneleri laboratuvarında standart deneylere tabi tutulmuş ve çok katlı regresyon yöntemi ile makina ilerleme hızını etkileyen bağımsız faktörler bulunmaya çalışılmıştır [16,17]. Sonuçta makina ilerleme hızının, kaya kütlesi kazılabilirlik

indeksi olarak tanımlanan $\sigma_c x \left(\frac{RQD}{100} \right)^{2/3}$ ifadesi ile en iyi ilişkiyi verdiği

görülmüştür (Şekil 2.9) . Birçok projeden elde edilen sonuçlar 2.4'deki eşitlik ile ifade edilmektedir.

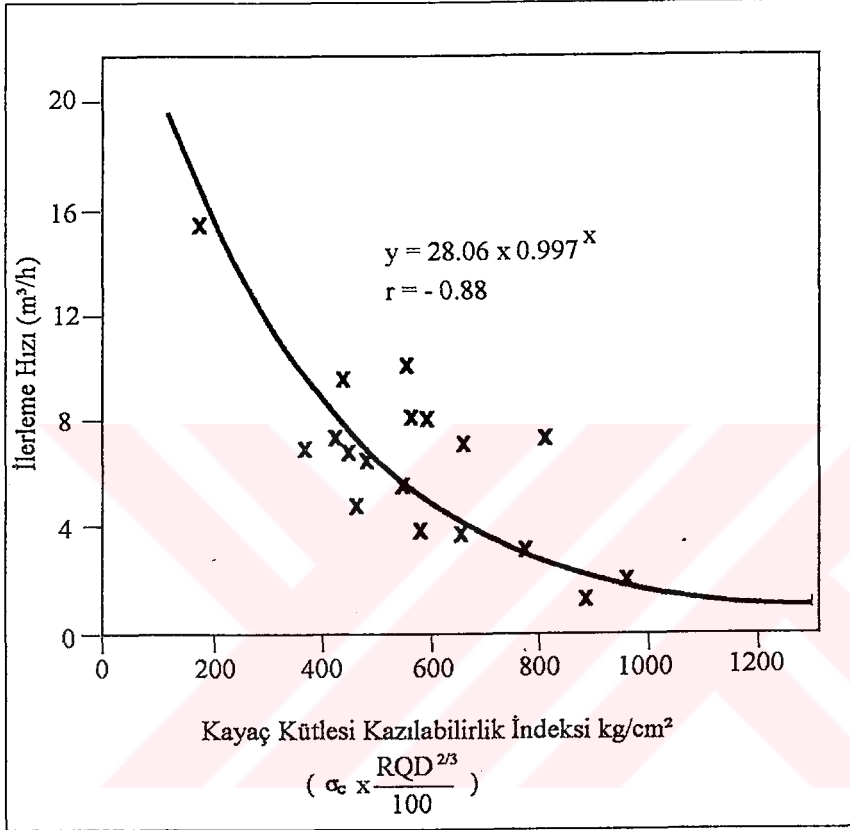
$$\text{Net Kazı Hızı (m}^3/\text{h)} = 0.28 \times P \times 0.974^{\text{RMCI}} \quad (2.4)$$

RMCI : Kaya kütlesi kazılabilirlik indeksi

RQD : Kaya kalite değeri, %

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

P : Makinanın kesme gücü, HP



Şekil 2.9 Kaya kütlesi kazılabilirlik indeksi ile kademeli kazı yapan makinaların ilerleme hızının değişimi [17]

2.1.1.5 Aleman yaklaşımı

Aleman'a göre kademeli kollu galeri açma makinalarının performansını önemli derecede etkileyen parametrelerin başında formasyonların çatlak yapısı, tabakalaşma düzlemleri ve süreksizlikler gelmektedir. Bu amaçla; kayacın tek eksenli basınç dayanımı, aşındırıcılık özellikleri ve kaya kütlelerinin özellikleri ile makina çalışma parametrelerini dikkate alarak modelini geliştirmiştir. Aleman makinanın kazı sırasında, birim alana uygulanan itme kuvveti ile ilerleme arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak tanımlamıştır ve aşağıdaki formüllere ulaşmıştır [18].

$$p = nT + c \quad (2.5)$$

burada,

p = Kesici kafanın bir devirdeki ilerleme miktarı, cm/devir

T = Birim alana uygulanan itme kuvveti, kN/m^2

n ve c zemin özelliklerine bağlı sabitler olup, T ve p 'nin bir fonksiyonudur.

$$c = \frac{(n-1.7)^2}{0.68} - 3.9 \quad (2.6)$$

$$n = \frac{-(T-5) + \sqrt{(T-5)^2 - 5.88(0.35-p)}}{2.94} \quad (\text{m}^3/\text{kN}) \quad (2.7)$$

$$A = \text{Metre başına mikroçatlak sıklığı} + (100 - \text{RQD}) \quad (2.8)$$

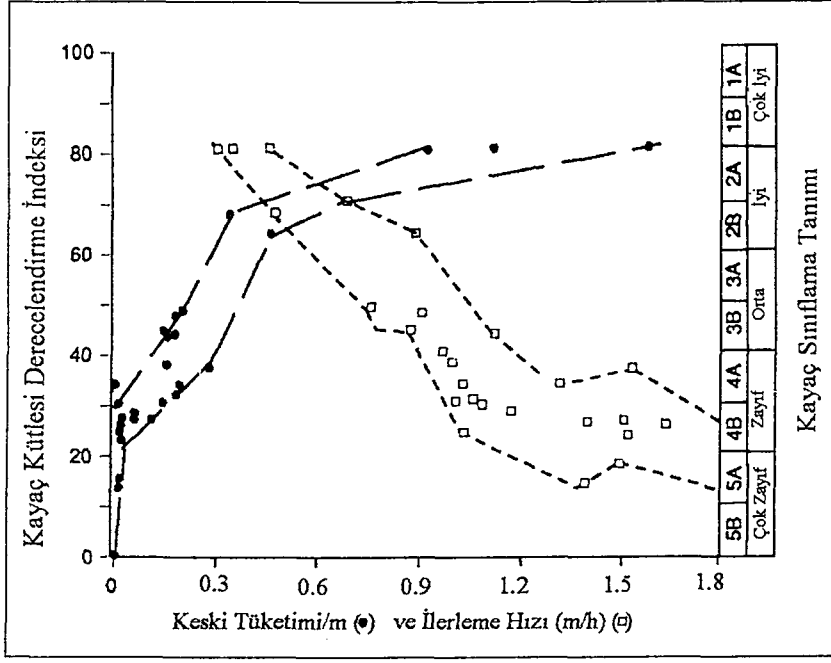
$$\text{Net Kazı Hızı (m}^3/\text{h)} = 0.6 \times p \times M \times \text{Dönüş Hızı} \quad (2.9)$$

2.1.1.6 Sandbak yaklaşımı

Bu yaklaşım, birçok kademeli kazı makinasının çalıştığı yerden toplanan makina karakteristik özellikleri ile jeoteknik kaya parametrelerinin arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Madencilik uygulamaları için geliştirilen kaya sınıflama parametrelerinin, kademeli kollu galeri açma makinalarının performansını kestirmek için kullanılabileceğini araştırmaktadır.

Geliştirilen bu yöntemde kayacın tek eksenli basınç dayanımı, RQD, çatlak aralığı, çatlakların durumu ve yönelimi ve yeraltı suyunun etkileri incelenerek 0-100 arasında değişen kaya kütlesi derecelendirme indeksi kullanılmıştır. Bu derecelendirmeye bağlı olarak kaya sınıflanmasının tanımı yapılmış ve kendi içinde 5 ayrı kategoride sınıflandırılmıştır.

Sandbak'ın yaptığı bu çalışmaya göre kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR) ile makina performansı ve keski tüketimi arasında çok iyi bir ilişki vardır. Kesme hızı sağlam kaya da yüksek RMR'a bağlı olarak daha düşük iken, süreksizliklerin ve çatlakların olduğu düşük RMR değerlerinde daha yüksek çıkmaktadır (Şekil 2.10) [19].



Şekil 2.10 Kaya kütlesi sınıflama sistemine göre kademeli kollu galeri açma makinasının performansı [19]

2.1.1.7 Farmer ve Garritty yaklaşımı

Farmer ve Garritty modellerini, birim hacimdeki kayacı kesip parçalayabilmek için gerekli olan spesifik enerjiyi, kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile elastik modülünün bir fonksiyonu şeklinde tanımlayarak geliştirmişlerdir.

$$\frac{Pk}{VER} = \frac{\sigma_c^2}{2E} \quad (2.10)$$

Burada;

P : Kesici kafanın gücü, kW

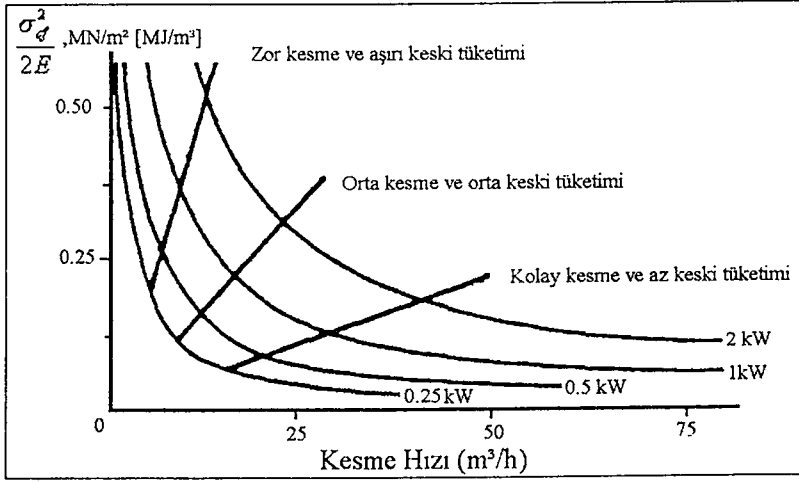
k : Enerji transfer oranı

VER : Kazı hızı, m³/h

E : Elastik modülü, GPa

σ_c : Kayacın tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

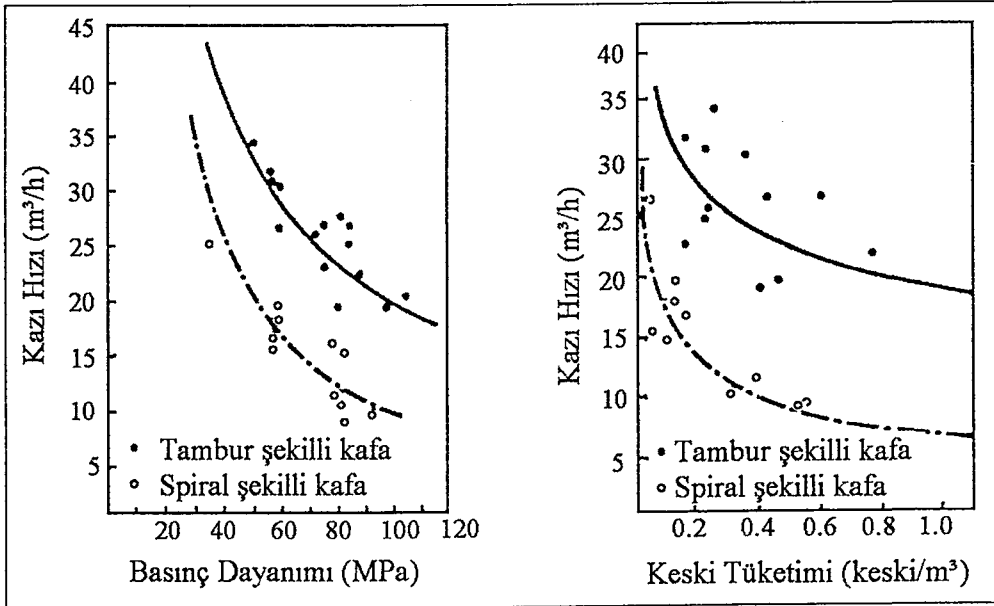
Farmer ve Garrity değişik kesici kafa gücüne sahip (100 ve 200 kW) olan kademeli kollu galeri açma makinalarını, kazı esnasındaki formasyonda incelemişlerdir. Burada keski tüketimini ve tanımladıkları spesifik enerjiyi hesaplayarak bir performans kestirimi geliştirmişlerdir (Şekil 2.11) [20].



Şekil 2.11 Farmer ve Garritty'nin performans kestirimi [20]

2.1.1.8 Gehring yaklaşımı

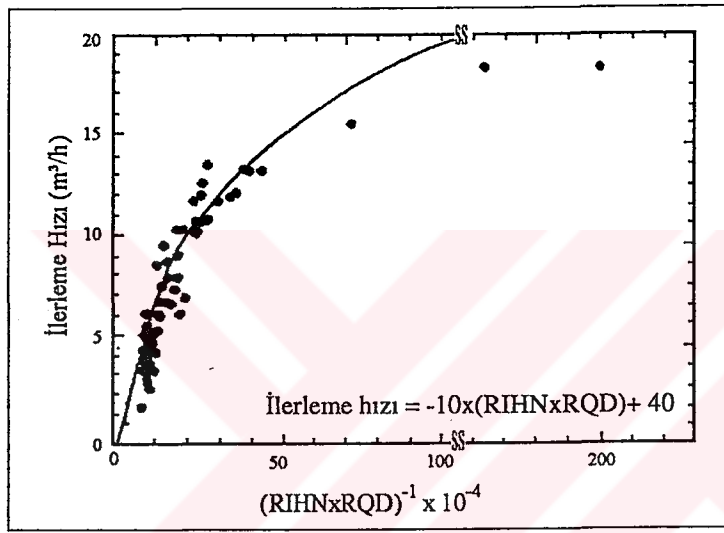
Bu yaklaşımda, arına dik (spiral şekilli, kesme gücü 250 kW) ve paralel (tambur şekilli, kesme gücü 230 kW) hareket eden kademeli kollu galeri açma makinalarının performansları incelenmiştir. Arına dik ve paralel kazı yapan iki farklı kademeli kollu galeri açma makinası, yerinde kazı yaparken, keski aşınması ve performansları ölçülmüştür. Gehring, kayaların hem basınç dayanımına hem de petrografik özelliklerine bağlı olarak her iki tip makina için performans kestirimini geliştirmiştir. Kayaların basınç dayanımına ve keski tüketimine karşılık, kazı hızının nasıl değiştiğini gösteren grafikler Şekil 2.12 de görülmektedir [21].



Şekil 2.12 Gehring'e göre, kesme güçleri farklı iki tip kademeli kazı makinasının kazı performansının değişimi [21]

2.1.1.9 Matsui ve Shimada yaklaşımı

Matsui ve Shimada, kayaların kesilebilirliği ve makina performansını kestirmek için kayaların darbe dayanımı deneyini (RIHN) kullanarak yaklaşımlarını geliştirmişlerdir. Bu deneyde; 25 mm çapında ve 50 mm. uzunluğundaki karot numune bir çelik silindir içerisine konularak, 2.4 kg ağırlığındaki çelik silindir 640 mm yükseklikten numunenin üzerine düşürülmektedir. Silindirden boşaltılan numune 0.5 mm'lik elekten elenir ve RIHN olarak tanımlanan darbe dayanımı indeksi bulunur ve bu değer ile kaya kalite değeri (RQD) ilişkilendirilerek makina performansını kestirimde kullanılır (Şekil 2.13) [22].



Şekil 2.13 Matsui ve Shimada'ya göre kesme performansının bulunması [22]

2.1.1.10 Neil, Rostami, Özdemir ve Gertsch yaklaşımı

Bu yaklaşım uzun süren araştırmalar sonucunda elde edilen verilere ve bu süreçte kazanılan deneyimlere dayanılarak geliştirilmiştir. Aşağıdaki adımlar uygulanarak kademeli kollu galeri açma makinalarının performansı kestirilebilmektedir [23].

- Adım 1. Kademeli kazı makinasının keski dizilim özellikleri, optimum keskler arası mesafe ve spesifik enerji tam boyutlu kazı setinden optimum şartlarda elde edilir.
- Adım 2. Kesici kafanın bir devirde ilerleyebileceği miktar belirlenir.
- Adım 3. Kesici kafada kullanılacak toplam keski sayısı; makina tipine, kaya özelliklerine bağlı olarak hesaplanır.
- Adım 4. Kesici kafaya gelecek kuvvetler; kesme kuvveti, normal kuvveti ve tork hesaplanır ve değerlendirilir.

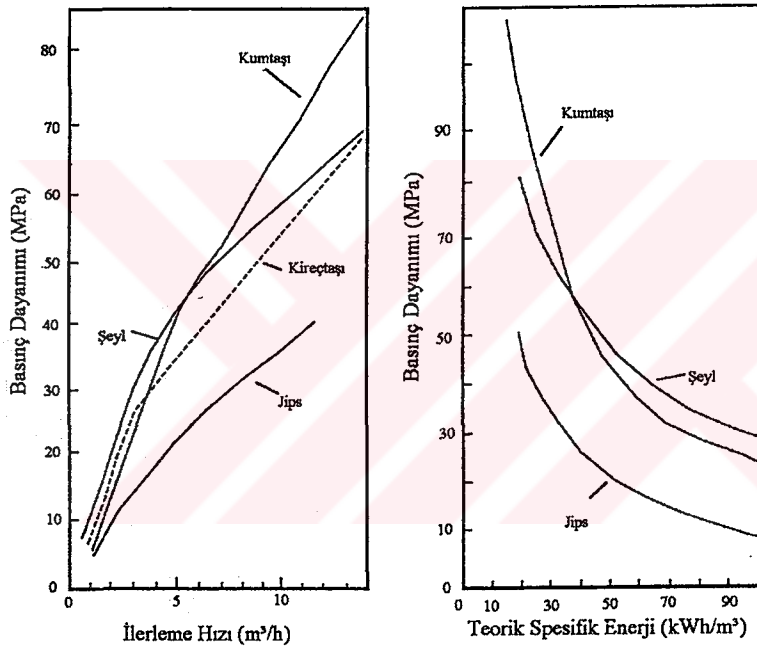
Adım 5. Kesici kafadaki bütün keskilere gelen kuvvetler, tork ve makina gücü hesaplanır.

Adım 6. Pasa miktarı belirlenir.

Adım 7. Kademeli kollu galeri açma makinasının genel özellikleri ve spesifik enerji bulunduktan sonra ilerleme hızı teorik olarak hesaplanabilmektedir.

2.1.1.11 Schneider yaklaşımı

Schneider, dört farklı gruptaki kayaları dikkate alarak bunların basınç dayanımı ve kesme enerjisi ile ilişkilendirerek kademeli kollu galeri açma makinalarının performansını kestirmiştir (Şekil 2.14) [24].



Şekil 2.14 Schneider'e göre performans kestirimi [24]

2.1.1.12 Schimazek yaklaşımı

Çok sert ve aşındırıcı formasyonlarda keski sarfiyatı kazı maliyetini ve kazı performansını önemli derecede etkilemektedir. Schimazek, kayaların petrografik analizlerine ve kaya çekme dayanımına dayanarak aşağıda verilen bir aşınma indeksi tarif etmiştir [25].

$$F_a = \frac{q \times d_a \times \sigma_t}{100} \quad (2.11)$$

Burada;

F_a : Schimazek aşındırıcılık indeksi, kg/cm

q : Aşındırıcı minerallerin eşdeğer kuvars yüzdesi, %

σ_t : Kayacın çekme dayanımı, kg/cm²

d_a : Aşındırıcı minerallerin ortalama tane çapı, cm

Schimazek'e göre kademeli kollu galeri açma makinalarının uygulama sınırı $F < 1$ kg/cm'dir. Ayrıca Schimazek keskinin aşırı aşınmalarının önlenmesi için aşağıda verildiği gibi bir kritik hız tanımlamıştır. Bu hızın üzerindeki kesme hızlarında, keski uçlarında sürtünmeden dolayı ısı artmakta bu da, ucun sertliğini düşürmektedir.

$$V_{kr} = \frac{k}{e^{F_a}} \quad (2.12)$$

Burada;

V_{kr} : Kritik hız, m/sn

k : Keski geometrisine ve metalürjik özelliğine bağlı bir sabit, ortalama 8.4'tür.

e : 2.7183

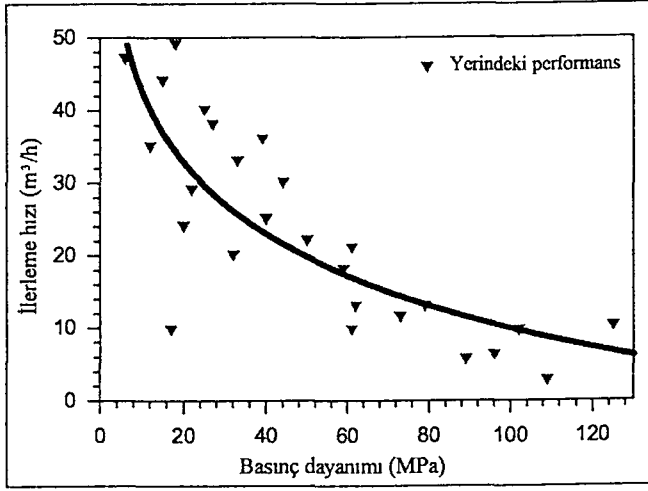
F_a : Schimazek aşındırıcılık indeksi

2.1.1.13 Thuro ve arkadaşları yaklaşımı

Thuro ve arkadaşları kademeli kazı yapan makinaların ilerleme hızlarını önceden kestirebilmek için, kazı esnasında ve laboratuvarında birçok veri toplamışlardır. Kayaların tek eksenli basınç dayanımı, 132 kW gücündeki kademeli kazı makinasının ilerleme hızları ve keski tüketimleri düzenli olarak ölçülerek bir veri bankası oluşturulmuştur. Kayaların basınç dayanımı ile ilerleme hızı arasındaki ilişki korelasyona tabi tutulmuş ve aşağıdaki 2.13 eşitliği bulunmuştur. İlerleme hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 2.15'de görülmektedir [26,27,28,29,30].

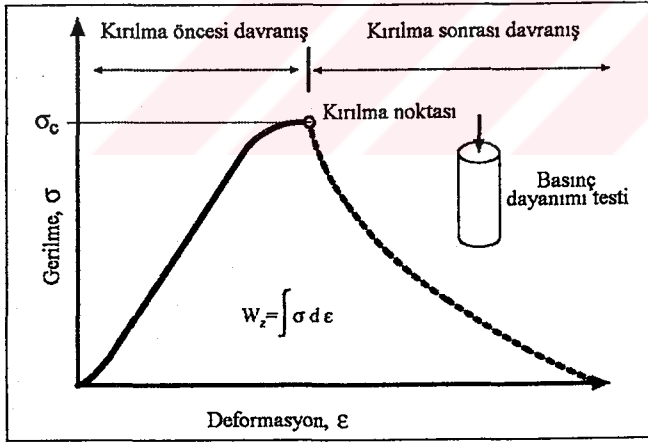
$$\text{İlerleme hızı} = 75.7 - \ln(\sigma_c) ; n = 26, R^2 = 0.62 \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.13'den görüldüğü üzere korelasyon katsayısı % 62 olarak bulunmuş ve ilerleme hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin anlamlılık düzeyi istatistiksel açıdan düşük bulunmuştur. Kayaların basınç dayanımı tek başına, kademeli kazı yapan makinaların ilerleme hızının kestiriminde yeterli olmadığı görülmüş ve spesifik kırılma enerjisi (kJ/m³)adı altında yeni bir kavram geliştirilmiştir.



Şekil 2.15 132 kW gücündeki kademeli kazıcıda basınç dayanımı ile ilerleme hızı arasındaki ilişki [31,32]

Şekil 2.16'da spesifik kırılma enerjisi (basınç dayanımı testinde, deformasyon-gerilme eğrisinin altında kalan alan), kayacı parçalayabilecek yada kaya içerisinde yeni çatlaklar oluşturarak yenilmesini sağlayacak iş olarak tanımlanmıştır [31,32]. Kayaların basınç dayanımı yerine, spesifik kırılma enerjisi kullanılarak korelasyon kurulduğunda daha yüksek korelasyon katsayısı bulunmuştur.

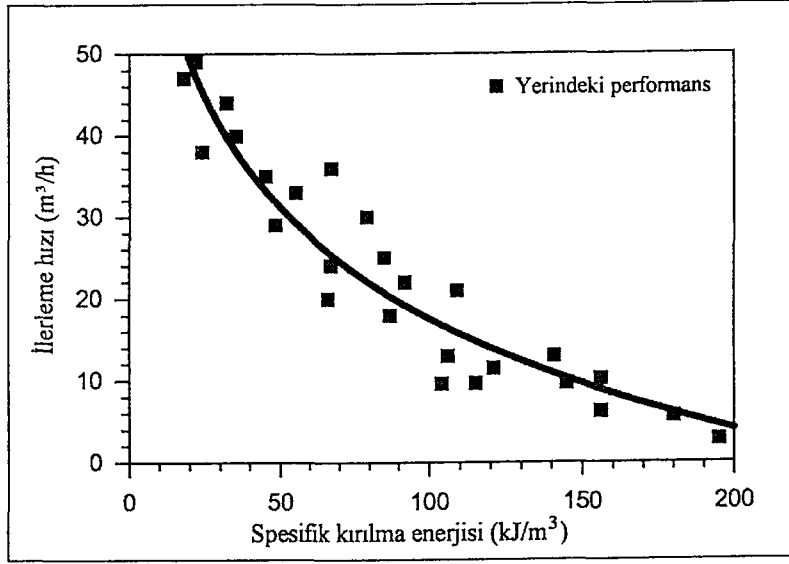


Şekil 2.16 Spesifik kırılma enerjisinin bulunması [31,32]

$$\text{İlerleme hızı} = 107.6 - 19.5 \ln (W_z) ; n = 26, R^2 = 0.89 \quad (2.14)$$

2.14'deki eşiklikten görüldüğü gibi korelasyon katsayısı, % 89 olarak bulunmuş ve ilerleme hızı ile spesifik kırılma enerjisi arasındaki ilişkinin anlamlılık düzeyi istatistiksel açıdan daha anlamlı bulunmuştur.

İlerleme hızı ile spesifik kırılma enerjisi arasındaki ilişki Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17 132 kW gücündeki kademeli kazıcıda spesifik kırılma enerjisi ile ilerleme hızı arasındaki ilişki [31,32]

2.1.1.14 Çöpür yaklaşımı

Bu yaklaşımda, arına dik kazı yapan kademeli kazı makinalarının net kazı hızı ve keski tüketimi, evaporotik (tuz, potaşı, trona, jips vd.) kayalar için geliştirilmiştir. Birçok projeden elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve aşağıda 2.15 ve 2.16’da gösterilen eşitlik yardımı ile net kazı hızı ve keski tüketiminin tahmini yapılmıştır. Şekil 2.18 de evaporotik kayalar için geliştirilen, RPI indeksi ile arına dik kazıcının kazı hızı arasındaki ilişki grafiksel olarak görülmektedir. Ayrıca Şekil 2.19’da, keski tüketim indeksi (RCI) ile arına dik kazıcının keski tüketimi arasındaki ilişki görülmektedir [33-35].

$$ICR (\text{Net kazı hızı}) = 27.511 \times e^{0.0023 \times (RPI)} \quad (2.15)$$

Burada;

$$RPI = P \times W / \sigma_c$$

Net kazı hızı, m³/h

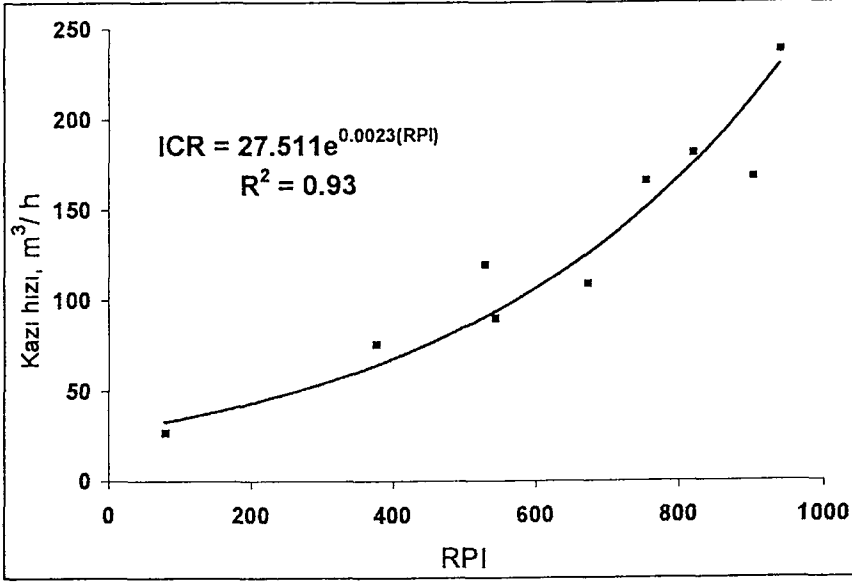
RPI : Kademeli kazıcı ilerleme indeksi

P : Kesici kafa gücü , kW

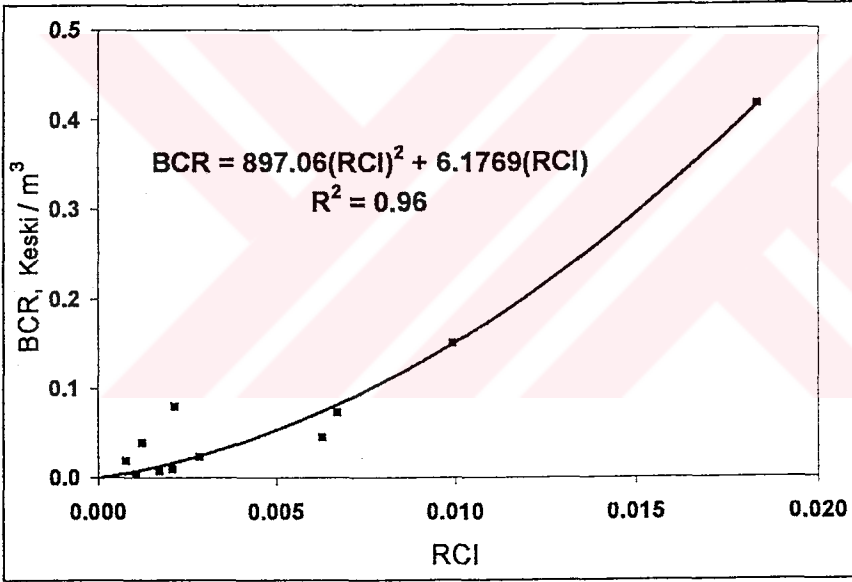
W : Kademeli kazı makinasının ağırlığı , ton

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

e : Doğal logaritma



Şekil 2.18 RPI indeksi ile arına dik kazıcının kazı hızı arasındaki ilişki [35]



Şekil 2.19 RCI indeksi ile arına dik kazıcının keski tüketimi arasındaki ilişki [35]

$$BCR = 897.06 (RCI)^2 + 6.1769 (RCI) \quad (2.16)$$

$$RCI = \sigma_c / (P.W.CHD)$$

Burada;

BCR : Keski tüketim oranı, keski/m³

RCI : Kademeli kazıcı keski tüketim indeksi

CHD : Kesici kafa çapı, m

2.1.2 Tam cepheli tünel açma makinalarının performans kestirimi

2.1.2.1 Farmer ve Glossop yaklaşımı

Farmer ve Glossop yaklaşımı tam cepheli tünel açma makinaları için geçerlidir ve ortalama kesme kuvveti, bir devirdeki ilerleme ve kayacın çekme basınç dayanımını dikkate alarak geliştirilmiştir [36].

$$P = 624 \times \frac{F_L}{\sigma_t} \quad (2.17)$$

F_L : Ortalama kesme kuvveti, kN

P : Bir devirdeki ilerleme, mm/devir

σ_t : Kayacın çekme dayanımı, kPa

2.1.2.2 Graham yaklaşımı

Farmer ve Glossop'a yakın bir yaklaşım Robbins tam cepheli kazı makinalarında Graham tarafından geliştirilmiştir ve kayacın basınç dayanımını dikkate almaktadır [37].

$$P = 3940 \times \frac{F_L}{\sigma_c} \quad (2.18)$$

F_L : Ortalama kesme kuvveti, kN

P : Bir devirdeki ilerleme, mm/devir

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

2.1.2.3 Trondheim üniversitesi ve Norveç teknoloji enstitüsü yaklaşımı

Bu yaklaşım; kayaların dayanımı, kırılganlık, aşındırıcılık ve çatlak yapısı ile makina özelliklerinden bir keskiye gelen kuvvet, keski yapısı, keski çapı, keskiler arası mesafe, tork ve devir sayısını dikkate almaktadır [38].

$$P = i_b \times K_s \times K_d \quad (2.19)$$

P : Bir devirdeki ilerleme, mm/devir

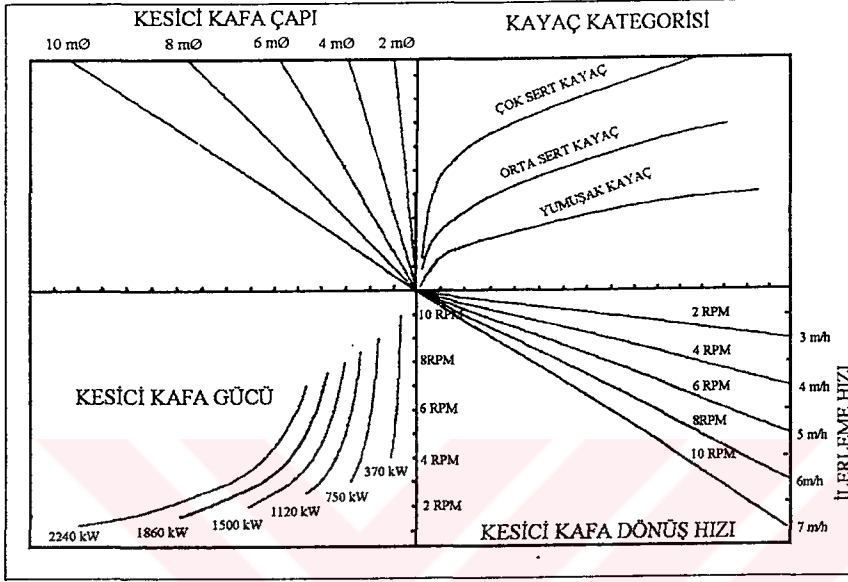
i_b : Keski başına düşen kuvvet, kN

K_d : Keski çapı için düzeltme faktörü

K_s : Çatlak sıklığı için düzeltme faktörü

2.1.2.4 Tony Peach yaklaşımı

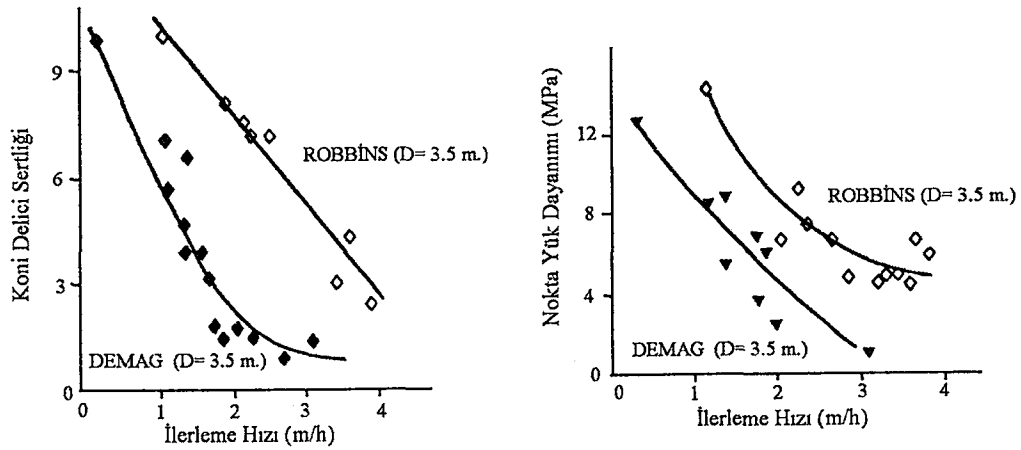
Tony Peach makina özellikleri; kesici kafa çapı, gücü, devir sayısı ile kaya özelliklerini dikkate alan bir namogram geliştirmiştir. Bu namogramda değişik koşullar gözönüne alınarak tam cepheli kazı makinalarının performansı kestirilebilmektedir (Şekil 2.20) [39].



Şekil 2.20 Tony Peach'e göre performans kestirimi [39]

2.1.2.5 McFeat-Smith ve Tarkoy yaklaşımı

Bu yaklaşımda iki tip tam cepheli tünel açma makinasının, standart koni delici ve nokta yük deneyi kullanılarak ilerleme hızı ile arasındaki ilişki araştırılmıştır (Şekil 2.21) [40].



Şekil 2.21 Koni delici sertliği ile nokta yük dayanımına bağlı TBM performansı [40]

2.1.2.6 Nick Barton yaklaşımı

Bu yaklaşım, delme ve patlatma yöntemi ile açılan tüneller için geliştirilen Q sınıflama sistemi ile kaya, makina ve kaya kütlesi özelliklerini kullanarak geliştirilen Q_{TBM} adlı sınıflama sisteminin birlikte kullanıldığı bir yöntemdir. Q_{TBM} adı verilen bu yöntem yardımı ile tam cepheli tünel açma makinalarının performansını kestirmek mümkün olmaktadır [41].

$$Q_{TBM} = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{SIGMA}{F^{10}/20^9} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \times \frac{\sigma_\theta}{5} \quad (2.20)$$

Bu formüldeki değişkenler :

RQD : Kaya kalite değeri, %

J_r, J_n, J_a, J_w, SRF : Ekleme özelliklerine bağlı parametreler

SIGMA : Kaya kütlesi dayanımı

CLI : Keski ömrü indeksi

q : Kuvars yüzdesi, %

F : Ortalama keski yükü, kN

σ_θ : Tek yönlü gerilme

2.21 formülü kullanılarak makinanın ilerleme hızı hesaplanabilmektedir.

$$\text{İlerleme Hızı (m/h)} = 5 \times (Q_{TBM})^{-0.2} \times T^m \quad (2.21)$$

2.1.2.7 Hughes yaklaşımı

Hughes, yaklaşımında kayaların basınç dayanımını ve makina özelliklerini dikkate almaktadır . Ayrıca tam cepheli tünel açma makinalarının kesme gücünü makina çapına bağlı olarak tahmin etmektedir. Bu yaklaşımda net ilerleme hızı 2.22’de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır [42,43].

$$V = \frac{6 \times P^{1.2} \times N \times n}{\sigma_c^{1.2} \times r^{0.6}} \quad (2.22)$$

Burada ;

V : İlerleme hızı , m/h

P :Keski başına itme kuvveti , kN

N :Kesici kafa hızı, devir/s

n : Disk sayısı

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

r : Disk yarıçapı, m

Ayrıca tünel açma makinalarının gücü 2.23'de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Makina gücü (kW)} = 28.45 D + 9.07 D^2 \quad (2.23)$$

Burada;

D : Makina çapı, m

2.1.2.8 Bamford yaklaşımı

Bamford yaklaşımını, yerinde topladığı makina ve kaya özelliklerine bağlı olarak geliştirmiştir. Net ilerleme hızı ve keski tüketimini yüksek korelasyon katsayısı ile tahmin edebilmektedir. Bu yaklaşımda net ilerleme hızı aşağıda 2.24'de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır [43,44].

$$\text{İlerleme hızı (m/h)} = 0.535S - 8.49 - 0.00344T - 0.000823N + 0.0137 \Phi \quad (2.24)$$

Burada;

S : Geri tepmeli (Schmidt Çekici) çekiç değeri

T : Makina itme kuvveti, kN

N : Koni delici indeksi, N/mm

Φ : Kaya içsel sürtünme açısı, derece (°)

Ayrıca bu yaklaşımda keski tüketimi 2.25'de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Keski tüketimi (keski/km)} = 1.73S - 8.3 + 0.0259T - 0.0319 \text{ RIHN} + 0.0344 \Phi \quad (2.25)$$

Burada ;

RIHN : Darbe dayanımı indeksi

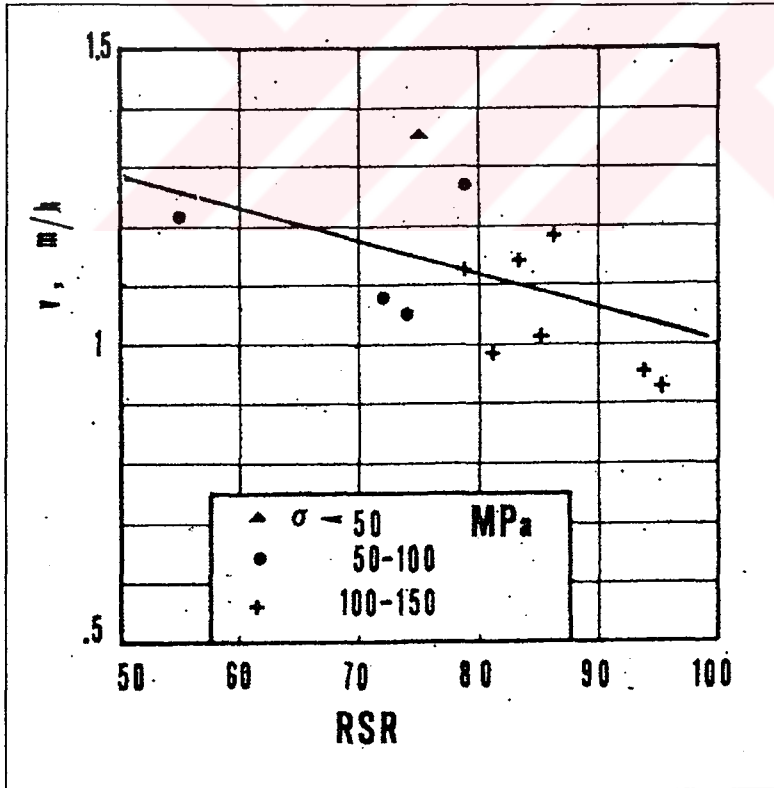
2.1.2.9 Cassinelli ve arkadaşları yaklaşımı

Bu yaklaşımda tam cepheli tünel açma makinalarının ilerleme hızı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş kaya tahkimat sınıflama sistemine bağlı olarak hesaplanmaktadır (Şekil 2.22). Bu yaklaşımda net ilerleme hızı aşağıda 2.26'da verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır [43,45].

$$\text{İlerleme hızı (m/h)} = -0.0059 \text{ RSR} + 1.59 \quad (2.26)$$

Burada ;

RSR = Kaya tahkimat sınıflama sistemi'dir



Şekil 2.22 Kaya tahkimat sınıflama sistemi (RSR) ile kazı hızının değişimi [45]

2.1.2.10 Özdemir ve arkadaşları yaklaşımı

Özdemir ve arkadaşları yaklaşımını, disk keskilerin altında kalan ve ezilme zonu olarak tanımlanan bölgenin basınç dağılıma bağlı olarak geliştirmiştir. Bu yaklaşımda kaya özelliklerinden basınç ve çekme dayanımı, makina özelliklerinden disk keskilerin değişik parametreleri kullanılmaktadır. Kayayı kesmede kullanılan toplam kuvvetten yararlanılarak, normal ve yuvarlanma kuvvetleri 2.27 eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır [46,47].

$$F_T = \frac{P_b \cdot R \cdot T \cdot \gamma}{\psi + 1} \quad (2.27)$$

Burada

F_T : Toplam kesme kuvveti, kN

P_b : Ezilme zonu basınç dağılımı, kg/cm^2

R : Disk yarıçapı, mm, $D/2$

T : Disk uç kalınlığı, mm

ψ : Farklı diskler için katsayıdır. V şekilli diskler için yaklaşık 1, sabit uç alanlı diskler için sıfıra yaklaşıktır.

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{R - p_i}{R} \right) \quad (2.28)$$

p_i : İlerleme miktarı, mm

2.28’de verilen eşitlikteki P_b basınç dağılımı ya 2.29’daki eşitlik yardımı ile ya da tam boyutlu doğrusal kazı setinde kaya kesme deneyleri yapılarak bulunabilmektedir.

$$P_b = C_3 \sqrt{\frac{S \cdot \sigma_c^2 \cdot \sigma_r}{\gamma \cdot \sqrt{R \cdot T}}} \quad (2.29)$$

Burada

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm^2

σ_t : Kayacın çekme dayanımı, kg/cm²

s : Keskiler arası mesafe, mm

C : Katsayı, yaklaşık 2.12

Daha önce 2.27 eşitliği kullanılarak hesaplanan F_T kuvveti yardımı ile normal ve yuvarlanma kuvvetleri eşitlik 2.30 ve 2.31 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$F_N = F_T \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (2.30)$$

$$F_R = F_T \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (2.31)$$

F_N : Normal kuvvet, kN

F_R : Yuvarlanma kuvveti, kN

2.2 Önceki Çalışmaların Kritiği

Mekanize kazı sistemlerinde, kullanılmasına karar verilen makinanın doğru seçimi ve verimliliği hayati önem taşımaktadır. Makina kazılacak formasyona göre seçilmez ve tasarımı yapılmazsa kazının büyük problemler çıkartacağı bilinmektedir. Bu konuda bir önceki bölümde anlatılan ampirik ve teorik modeller makina seçimi ve performans kestirimlerinde yaklaşımlar sunmaktadır. Ancak bu modellerin çoğu belirli şartlar için geçerlidir ve genelleştirme imkanı yoktur. En çok üzerinde tartışılan ve kabul gören kavram birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan spesifik enerji (kWh/m³ ve MJ/m³) değeridir. Spesifik enerji değeri hem küçük boyutlu hem de tam boyutlu doğrusal kaya kesme deneylerinden elde edilebilmektedir. Mekanize kazı sistemlerinin verimliliğini belirten en önemli faktörlerden birisi olması nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Bu metotta makinanın kesme gücü, sistemin verimlilik oranı (farklı mekanize kazı sistemleri için değişmekte), makina ve kaya özelliklerine bağlı olarak elde edilen spesifik enerji değeri kullanılmaktadır.

Günümüzde sıkça kullanılan, kademeli kollu kazı yapan ve tam cepheli tünel açma makineleri için geliştirilen, performans kestirim çalışmalarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Tablo 2.4 ve 2.5’de özetlenmiştir.

Tablo 2.4 Kademeli kollu galeri açma makinaları için geliştirilen performans kestirim yöntemlerinin kritiğinin özeti

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları ve Kritiği
Küçük Boyutlu Kazı Deneyi	Deneyler karot numuneler üzerinde yapılabilmekte, kazı hızı ve keski tüketimi birlikte kestirilebilmektedir. Jeoteknik raporlarda standart deney olarak yer almaktadır.	Jeolojik süreksizliklerin etkisi global olarak tahmin edilebilmektedir. Spesifik enerji değerleri mutlak değerler olmayıp indeks değerlerdir.
Tam Boyutlu Doğrusal Kazı Seti Deneyi	Spesifik enerji değerleri mutlak olup, gerçek kesimler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle daha sağlıklı tahminler yapılabilmektedir.	Numune boyutunun büyük olması her zaman bu tür deneylerin yapılabilmesini zorlaştırmaktadır. Pahalı ve tecrübeli elemanlara ihtiyaç duymakta her uygulama için yapılamamaktadır. Jeolojik süreksizliklerin etkisi gözönüne alınmamaktadır.
Bilgin Yaklaşımı 1	İlerleme hızlarının kestiriminde delik delme hızının kullanılabileceğini göstermiştir.	Bu tür deneylerin standartlaştırılmasının zorluğu ve makina özelliklerini yansıtmaması en önemli eksigidir.
Bilgin ve Arkadaşları Yaklaşımı 2	Jeoloji süreksizliklerin ve makina kesme gücünün performans üzerindeki etkileri yerinde yapılan çalışmalarla araştırılmış ve uluslararası kabul görmüştür.	Hafif ve orta ağırlıktaki şiltli makinalar için geliştirilmiştir. Şiltsiz ve ağır makinalar için geliştirilmelidir.
Aleman Yaklaşımı	Makina, sağlam kaya ve kaya kütlesi özellikleri detaylı olarak araştırılmıştır.	Modelde oluşturulan formüllerdeki sabitler tam açık değildir ve hesaplanabilmesi için özel testler yapılmalıdır.
Sandbak Yaklaşımı	Keski tüketimi ile beraber makina ilerleme hızını içermektedir.	Sadece hafif ağırlıktaki kademeli galeri açma makinaları için geliştirilmiştir.
Farmer ve Garrity Yaklaşımı	Spesifik enerji, kayacın basınç dayanımı ile elastik modülünün bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.	Toplanan veriler sadece iki makinaya ait olup, makina gücü ve jeolojik süreksizlikleri içermemektedir.
Gehring Yaklaşımı	Basınç dayanımı ve aşındırıcılık özellikleri yardımı ile performansı tahmin etmiştir.	Makina gücü ve jeolojik süreksizlikleri içermemektedir.
Matsui ve Shimada Yaklaşımı	Kayaların darbe dayanımı ve RQD arasındaki değerlendirmeye bağlı olarak geliştirilmiştir.	Makina özelliklerini yansıtmamaktadır.
Neil, Rostami, Ozdemir ve Gertsch Yaklaşımı	Uzun süren araştırmaların sonucunda geliştirilmiştir. Kaya ve makina özelliklerinin kesme performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.	Model karmaşık ve uzman elemanlara ihtiyaç göstermektedir.
Schneider Yaklaşımı	Kayaların basınç dayanımı yardımı ile kolayca performans kestirimi yapılabilmektedir.	Kaya, makina özellikleri ve jeolojik süreksizlikleri içermemektedir.
Schimazek Yaklaşımı	Aşındırıcılık özelliklerine göre maliyet ve makina seçimi yapılabilmektedir.	İndeks deneyler olup, makina özellikleri ve jeolojik süreksizlikleri yansıtmamaktadır.

Tablo 2.4 Devam

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları ve Kritiği
Thuro ve arkadaşları yaklaşımı	İstatiksel olarak yüksek korelasyon katsayısı ile net kazı hızı tahmin edilebilmektedir.	Sadece belirli kesme gücündeki makinalar için geliştirilmiştir.
Copur yaklaşımı	İstatiksel olarak yüksek korelasyon katsayısı ile net kazı hızı tahmin edilebilmektedir.	Jeolojik süreksizliklerin etkisi ve laboratuvar kesme deneylerini içermemektedir. Sadece evaporitik kayalar için geliştirilmiştir.

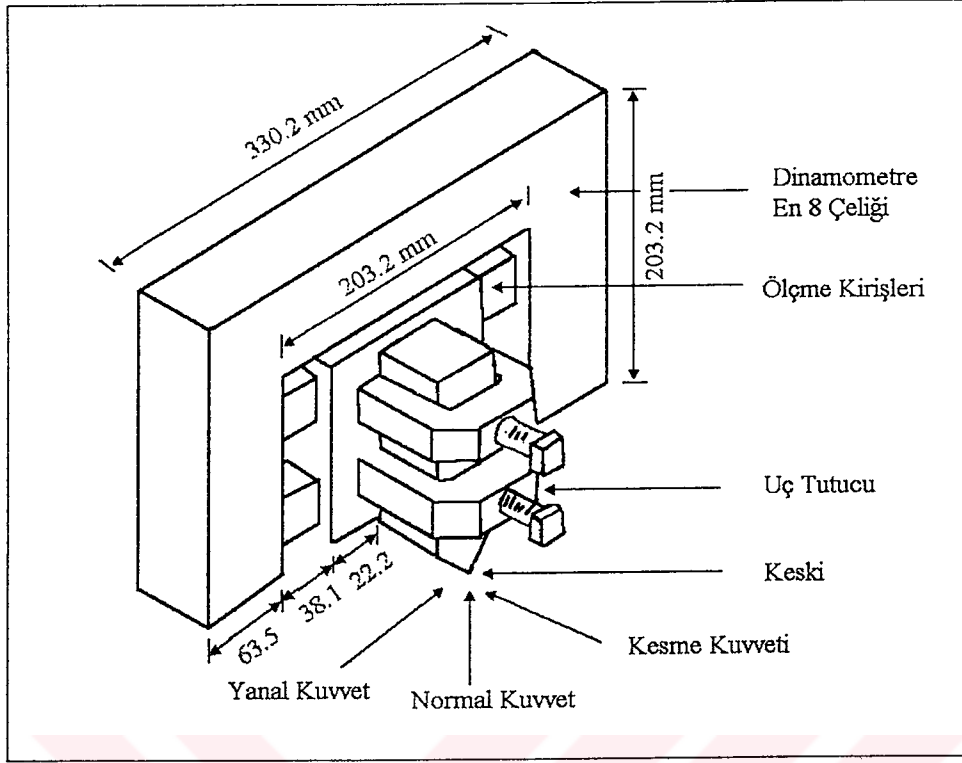
Tablo 2.5 Tam cepheli galeri açma makinaları için geliştirilen performans kestirim yöntemlerinin kritiğinin özeti.

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları ve Kritiği
Farmer ve Glossop Yaklaşımı	Kayaların çekme dayanımı yardımı ile kolayca performans kestirimi yapılabilmektedir.	Global bir yaklaşım sunmaktadır.
Graham Yaklaşımı	Kayaların basınç dayanımı yardımı ile kolayca performans kestirimi yapılabilmektedir.	Global bir yaklaşım sunmaktadır.
Trondheim Üniversitesi ve Norveç Teknoloji Enstitüsü Yaklaşımı	Uzun süren araştırmaların sonucunda geliştirilmiş ve uygulama alanı bulmuştur.	İstenilen ampirik deneyler her yerde yapılamamakta ve pahalıdır.
Tony Peach Yaklaşımı	Hem makina hem de kaya özelliklerini içermekte ve namogram yardımı ile performans kestirilebilmektedir.	Global bir yaklaşım sunmaktadır.
McFeat-Smith ve Tarkoy Yaklaşımı	İndeks deneyler yardımı ile performans kestirimi yapılabilmektedir.	Makina özelliklerini ve jeolojik süreksizlikleri yansıtmamaktadır.
Nick Barton Yaklaşımı	Uzun süren çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir.	Makina özelliklerini tam yansıtmamakta ve kullandığı indeks deneylerin yapılabilmesi özel donanımlar gerektirmektedir. Bu tür deneyler her yerde yapılamamaktadır.
Hughes Yaklaşımı	Hem makina hemde kaya özelliklerini içermektedir.	Jeolojik süreksizliklerin etkisi incelenmemiştir.
Bamford Yaklaşımı	Hem makina hem de kaya özelliklerini içermekte ve indeks deneyler yardımı ile performans kestirilebilmektedir.	Global bir yaklaşım sunmaktadır.
Cassinelli ve Arkadaşları Yaklaşımı	Kaya tahkimat sınıflama sistemi kullanılarak performans analizi yapılabilmektedir.	Makina özelliklerini dikkate almamaktadır.
Ozdemir ve Arkadaşları Yaklaşımı	Uzun yıllar süren araştırmaların sonucunda geliştirilmiş ve yoğun uygulama alanı bulmuş global bir yaklaşımdır.	Deneylerin yapılabilmesi için özel donanımlar gerekmektedir. Bu tür deneyler her yerde yapılamamakta ve pahalıdır.

3 KÜÇÜK BOYUTLU KAZI SETİ ÖLÇME SİSTEMİNİN YENİDEN YAPILMASI

Küçük boyutlu kazı deneylerinin yapılabildiği laboratuvar kazı seti 18 kW'lık bir elektrik motoru ile tahrik edilmekte ve kaya kesme kafasının hareketi bir kayış kasnak mekanizması ile olmaktadır. Planya tezgahına tespit edilen numune, kesici ucun takıldığı piezo-elektrik kuvvet ölçer yardımı ile kesilmektedir. Numune tezgahını aşağı, yukarı, sağa ve sola hareket ettirerek kesme derinliğini ve keskiler arası mesafeyi ayarlamak mümkündür. Bir amplifikatör ve veri transfer kartı ile, kesme sonucu açığa çıkan sinyaller bilgisayara beslenmekte ve bu şekilde, keskiye üç yönde gelen kuvvetler ölçülebilmektedir [48]. Birbirlerine dik üç yöndeki kuvvetleri ölçmek için kullanılan dinamometre 1 ton'a kadar kesme kuvvetinin ölçülmesine olanak vermektedir. Bu doktora çalışmasında kaya kesme deneylerine tabi tutulan kayaların değişik fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olması, ölçülecek kuvvetleri arttırmakta ve 1 tonluk dinamometre kapasitesini aşması beklenmektedir. Bu amaçla gerilim ölçer (strain gauge) tabanlı 10 tonluk kuvvetleri ölçebilecek bir dinamometre yapılmıştır.

Bilgin ve arkadaşları TÜBİTAK projesi kapsamında, Newcastle Upon Tyne Üniversitesi'nde uzun yıllardır kullanılmakta olan dinamometreye benzer bir dinamometre tasarımı yapmış ve imal ettirmiştir. Bu dinamometrenin genel bir görünüşü Şekil 3.1'de verilmiştir. Dinamometrenin yapımında kullanılan malzeme; DIN 1053 Normunda "40 numaralı tipi" karbon çeliğinden yekpare olarak yapılmış, 4.32 MN/m^2 akma sınırına sahip ve ölçme kirişlerinin hassasiyeti $\pm 0.02 \text{ mm}$. toleransla işlenmiştir [9]. İmal edilen 10 ton kapasiteli dinamometrenin üzerine gerilim ölçerler yapıştırılmış kalibrasyonu ve kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu tür üç eksenli dinamometrelerde birbirlerine dik üç yöndeki kuvvetlerin birbirini etkilememesi gerekmektedir. Oysa yapılan ölçümlerde bu etkileşimin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmadığı görülmüş ve bu ölçme sisteminden vazgeçilmiştir. Bu çalışmada başarısızlığın sebebinin iki noktadan kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Birincisi malzeme hatası, ikincisi ise gerilim ölçerlerin uygun bir şekilde yapıştırılmaması olarak vurgulanmıştır [9].



Şekil 3.1 Dinamometrenin genel görünüşü ve keski ucuna gelen kuvvetler [9]

Yapılan literatür çalışması göstermiştir ki, bu türlü ölçme sistemlerinde kullanılan gerilim ölçerlerin seçimi ve yapıştırılması çok önemlidir. Bu amaçla Bilgin ve arkadaşları tarafından daha önce yapılan dinamometre malzemesi kullanılmış, yeni gerilim ölçerler seçilip yapıştırılmış ve ölçme devreleri yeniden oluşturularak küçük boyutlu kazı setinin ölçme sistemi geliştirilmiştir.

3.1 Gerilim Ölçer Tanımı ve Dinamometre İçin Seçimi

1856 yılında İngiliz bilim adamı KELVIN direnci R olan bir metal tele aksinel çekme kuvveti uygulayarak, şekil değişimi ile direnç değişimi arasındaki bağıntıyı incelemiştir. Değişik malzemelere aynı kuvveti uyguladığında şekil değişiminin farklı olduğunu dolayısı ile direnç değişiminin de farklı olduğunu izlemiştir. Bu direnç değişimi 3.1 eşitliği ile ifade edilmektedir [49,50,51,52].

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.1)$$

Burada;

R : Direnç, ohm

ρ : Özdirenç, ohm.mm

L : Uzunluk, mm

A : Kesit alanı, mm²

Zorlanma etkisinde iletkenin R direncini belirleyen üç büyüklükte değişir. Bu da, $R = f(\rho, l, A)$ fonksiyonunun kısmi olarak türetilmesiyle gösterilebilir.

$$dR = \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial R}{\partial l} dl + \frac{\partial R}{\partial A} dA \quad (3.2)$$

Kısmi türevler hesaplanarak eşitlik 3.2’de yerlerine konulursa,

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} + \frac{dA}{A} \quad (3.3)$$

3.3 eşitliği elde edilir. Direnç değişimlerinin uzunluk değişimlerine bağıllığı arandığından, ρ , ve A’nın değişimleri de uzunluk değişimlerine bağlı olarak gösterilmelidir.

Kesit alanı A için:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \text{ ise } \frac{dA}{A} = 2 \frac{dD}{D}$$

olmaktadır. Çap değişimi, enine büzülme katsayısı ν Poisson oranı ile uzunluk değişimlerine bağlı olarak,

$$\begin{aligned} \frac{dD}{D} &= -2\nu \frac{dl}{l} \text{ dir. Buradan;} \\ \frac{dA}{A} &= -2\nu \frac{dl}{l} \end{aligned} \quad (3.4)$$

eşitlik 3.4 şeklinde bulunur.

C bir malzeme sabiti olmak üzere, bir iletkenin özgül direncinin hacim değişimi ile ilişkisi eşitlik 3.5’deki gibi yazılabilir.

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V} \quad (3.5)$$

olarak ifade edilir.

$V = A.l$ $dV = \frac{\partial V}{\partial A} dA + \frac{\partial V}{\partial l} dl = l dA + A dl$ ve $\frac{dV}{V} = \frac{dA}{A} + \frac{dl}{l}$ bulunabileceğine göre, özgül direnç ile uzunluk değişimleri arasındaki 3.6 eşitliği gibidir.

$$\frac{d\rho}{\rho} = C(1 - 2\nu) \frac{dl}{l} \quad (3.6)$$

şeklinde elde edilir. (3.4), (3.5) ve (3.6) eşitlikleri (3.3)'te yerine konulursa;

$$\frac{dR}{R} = [C(1 - \nu) + (1 + 2\nu)] \frac{dl}{l} = K \cdot \frac{dl}{l} \quad (3.7)$$

3.7 eşitliği bulunur. Yalnızca küçük şekil değişimlerine ($\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \leq \%1$) izin verilirse diferansiyel oranları fark oranları olarak yazılabilir. Böylece,

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta l}{l} = K \cdot \epsilon \quad (3.8)$$

3.8 eşitliği elde edilir. K orantı sabiti malzeme özelliklerine bağlı olarak 2-4 arasında bir değer olmaktadır. Gerilim ölçer malzemesi olarak (%45 Nikel, %55 Bakır) alaşımı en çok kullanılmakta olup K değeri 2 civarındadır. Bu eşitlik gerilim ölçer tekniğinin temelini oluşturmaktadır. Mekanik bir büyüklük olan birim uzamasını (ϵ) elektriksel bir büyüklük olan $\frac{\Delta R}{R}$ direnç değişimine dönüştüren elemanlara gerilim ölçer denir.

Değişik uygulamalarda, farklı amaçlarla kullanılmak üzere değişik tip ve boyutlarda gerilim ölçer üretilir. Ölçümü yapılacak her problemin kendine özel, şartlara uygun gerilim ölçer seçilmesi gerekir.

Bilgin ve arkadaşlarının daha önceki yaptığı çalışmada gerilim ölçer olarak , Sokki Kenkyujo firmasına ait 3 mm. uzunluğunda, 120 ohm direncinde ve K sabiti 2.12 olan FLA-3-11 tipinde gerilim ölçer seçilmiştir [9].

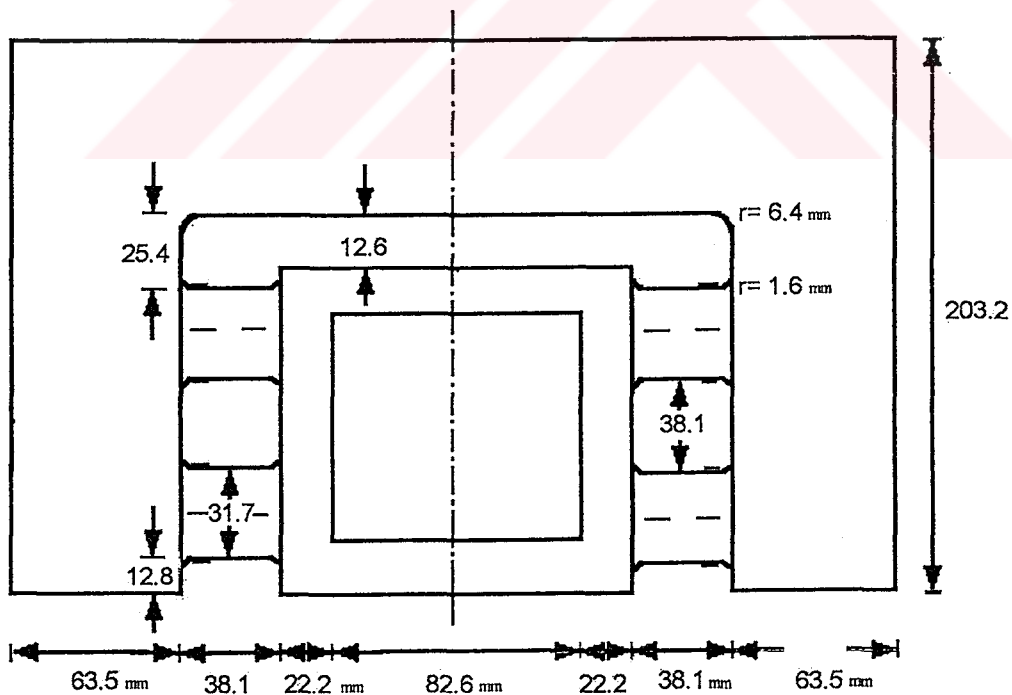
Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde çok daha hassas ve iyi sonuçlar veren gerilim ölçerler üretilmektedir. Gerilim ölçer seçiminde dikkat edilmesi gereken özellikler aşağıda verilmiştir [49].

- Kalibrasyon sabiti sıcaklık ve zamanla değişmemelidir.
- Birim uzama ve kısalma 1×10^{-6} hassasiyeti ile ölçülebilmeli
- Noktasal ölçme yapılabilmelidir.
- Dinamik ve statik ölçme yapılabilmelidir.
- Ekonomik olmalıdır.

Bu özelliklere ve dinamometre malzemesine en iyi uyan gerilim ölçer tipi Measurement grubu'nun üretmiş olduğu CEA-06-125 UN-350 bulunmuştur. Bu kod numaralarında her harf ve sayı bir özelliği tanımlamaktadır. CEA gerilim ölçer serisini, 0.6 mm. olarak ölçüm uzunluğunu, 125 sıcaklıkla ilgili katsayı, UN gerilim ölçer şeklini ve 350 ise ohm'luk direncini göstermektedir. Bu tip gerilim ölçerlerin daha önce seçilen ve uygulanan gerilim ölçerlerden farkı üç kat daha hassas olması, dinamik yüklerin ölçülmesinde cevap karakteristiğinin daha iyi olması ve laboratuvar koşullarında uzun süre bozulmadan kalabilmesidir [53].

3.2 Gerilim Ölçerlerin Ölçme Yapılacak Dinamometre Malzemesine Tespiti

Kullanılmasına karar verilen ölçme elemanlarının dinamometre malzemesine tespiti çok önemlidir. Gerilim ölçerlerin tespiti yapılacak olan dinamometrenin boyutları ve kirişleri Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Dinamometrenin boyutu

Ölçme elemanlarının tespiti için titizlik ve özel malzemeler gerekmektedir. Bunların hepsinin bir arada görüldüğü Şekil 3.3’ deki masa hazırlanmıştır.



Şekil 3.3 Ölçüm elemanlarının tespiti için gerekli malzemeler

3.2.1 Yüzey hazırlama ve yapıştırma

Amaç, yapıştırma bölgesinde yeterli pürüzlülüğe sahip, kimyasal açıdan temizlenmiş ve ölçme doğrultusunun işaretlendiği bir yüzey elde etmektir. Yapılacak olan ön hazırlıklar, ölçüm yapılacak malzemenin durumuna, üzerindeki kirin miktarına ve türüne bağlıdır. Bütün açık yüzeyler, çıplak gözle ne kadar temiz görünürlerse görünsünler, kirli kabul edilirler. Toz, oksit, rutubet, buhar ve gazlar yapıştırıcıların özelliklerini kötü yönde etkilerler. Bu yüzden, temizleme işleminden hemen sonra yapıştırma yapılmalıdır.

3.2.2 Yüzey temizleme işlemi

Ölçüm bölgesinden daha geniş bir alandaki toz, boya ve kalın yağlı, kirli tabakalar yağ çözücülerle arındırılır. Bu işlem her zaman için ilk işlem olmalıdır. Bu amaçla sprey tipindeki özel temizleyici kimyasallar kullanılmıştır. Ölçüm elemanlarının yüzeyle temasının artırılması için yüzey pürüzleştirme 220 numara zımparalama işlemi ile yapılmıştır. Zımparalama doğrultusunun her zaman ölçme doğrultusunda yapılması gerekmektedir. Yüzey temizleme işleminin yapılması Şekil 3.4 ve 3.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Yüzeydeki kirli tabakaların yağ çözücülerle arındırılması işlemi



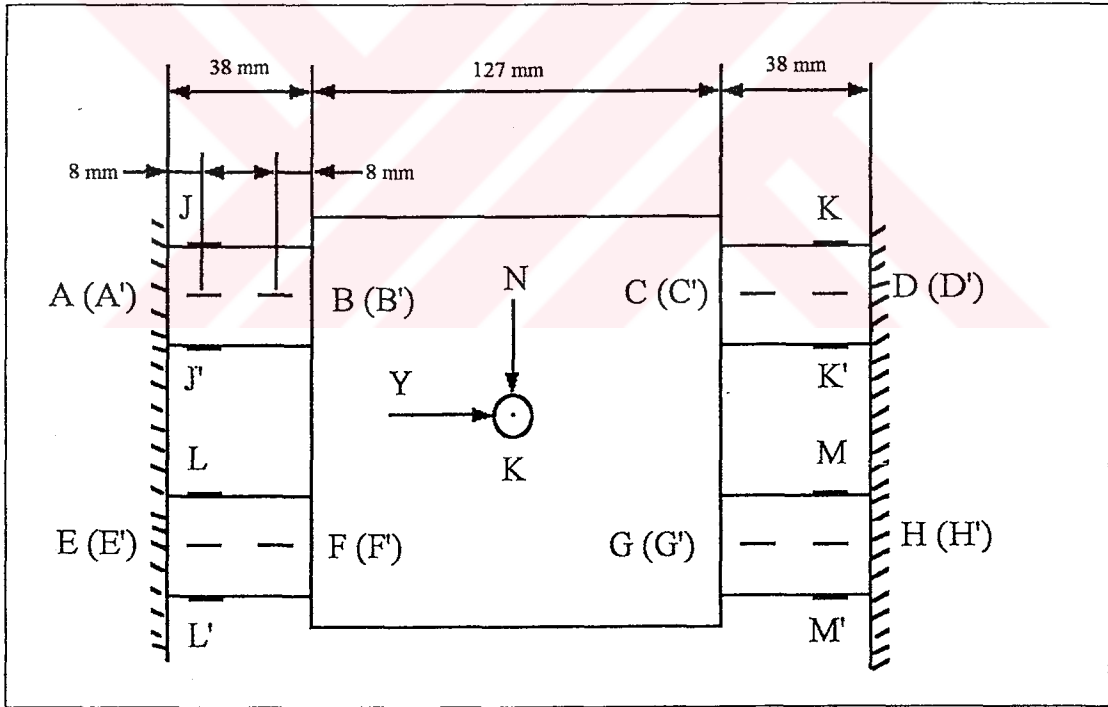
Şekil 3.5 Yüzey pürüzlülüğün giderilmesi işlemi

3.2.3 Gerilim ölçerlerin yapıştırılması

Yapıştırma işlemi büyük bir önem taşımaktadır. Yapıştırma malzemeleri, malzemede meydana gelen deformasyonların, gerilim ölçere doğru olarak iletilmesi için uygun bağlantının sağlanmasına yaramaktadırlar. Değişik koşullar ve dış etkiler, farklı türde yapıştırma malzemesi ve farklı türde uygulama metodu

gerektirmektedirler. Seçilen gerilim ölçer tipine bağlı M-BOND 200 tipi yapıştırıcı malzemesi olarak seçilmiştir. Gerilim ölçerin yapıştırılacağı yerin işaretlenerek belirlenmesi gerekmektedir. Yüzey üzerinde ölçme doğrultusu için eksen çizgileri sert uçlu bir kurşun kalemle işaretlenmiştir. Bu işlem sırasında yüzey kirlendiğinden, temizleyici bir kimyasal malzeme ile pamuk renk değiştirmeyinceye kadar silinerek, kalemin bıraktığı pislikler temizlenmiştir.

Birbirlerine dik üç eksenli kuvvetleri (Kesme, normal, yanal) aynı anda ölçebilecek olan dinamometre ölçme kirişlerindeki gerilim ölçerlerin yerleri Şekil 3.6'da gösterildiği gibi olacaktır [54]. A, B, C, D, E, F, G ve H olarak gösterilen gerilim ölçerler ölçme kirişlerinin ön yüzünde; A', B', C', D', E', F', G' ve H' olarak gösterilen gerilim ölçerler ölçme kirişlerinin arka yüzünde; J, L, K, M ve J', L', K', M' olarak gösterilen gerilim ölçerler ölçme kirişlerinin üst ve alt kollarında olmak üzere toplam 24 adettir.



Şekil 3.6 Ölçme kirişlerinde gerilim ölçerlerin yeri

Yapıştırma sırasında aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılmıştır.

- Gerilim ölçer cımbızla özel zarfından çıkarılıp temiz bir yüzey üzerine alınmıştır.

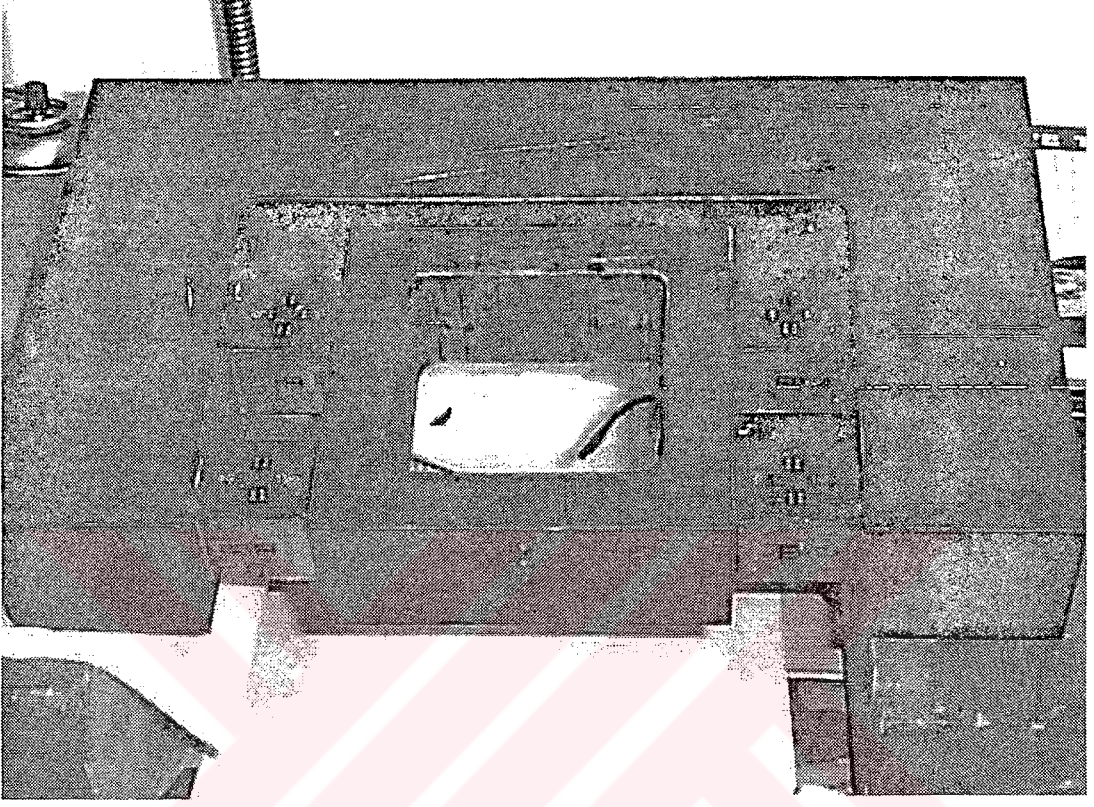
- Ölçüm esnasında veya daha sonra bağlantı kablolarının hareketi ve zorlanması sonucu gerilim ölçerlerin uçlarından kopmaması için terminal adı verilen elemanlar gerilim ölçere yakın bir konuma yerleştirilmiştir.
- Gerilim ölçer ve terminal üzerlerine yapıştırılan seloteyp ile konumları tespit edilmiş ve yaklaşık yüzeyle 30 derecelik açı ile kaldırılmıştır. Ölçme yapılacak konuma işaretlenen eksen çizgileri gerilim ölçer eksenleri ile çıkışacak şekilde konumlandırılmıştır.

Gerilim ölçer ve terminal arka yüzeyine, malzeme üzerine yapıştırıcı sürülüp ucu kaldırılmış olan seloteyp ile birlikte zemine yapıştırılmıştır. Parmak ile gerilim ölçer üzerine bir miktar basınç uygulanarak yaklaşık bir dakika beklenmiştir. Uygulanan bu basınç, fazla yapıştırıcıyı ve varsa hava kabarcığını dışarı atmaktadır. Basınç fazla olursa yeterli yapıştırıcı kalmayacağından yapışma iyi olmamaktadır. Daha sonra seloteyp hafifçe dikkatli bir şekilde kaldırılarak yapıştırma işlemi tamamlanmıştır. Yapıştırma işlemi Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.7 Yapıştırma işlemi

24 adet gerilim ölçer ayrı ayrı yukarıda sayılan adımlar uygulanarak yapıştırma işlemi tamamlanmıştır. Bütün gerilim ölçerlerin yapıştırma sonrası görünümü Şekil 3.8’de verilmiştir.

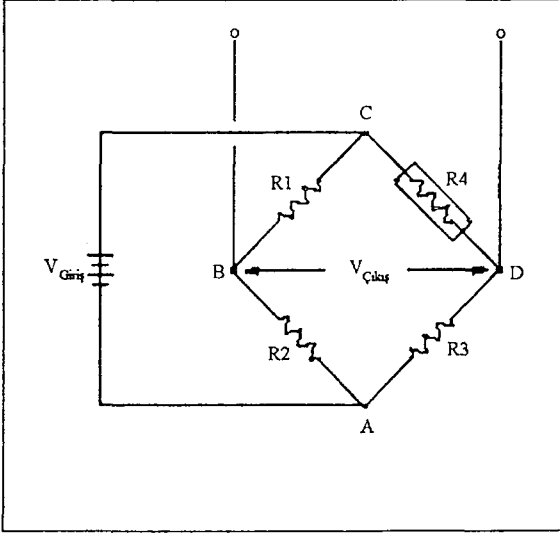


Şekil 3.8 Yapıştırma işleminin bitirilmiş hali

3.2.4 Ölçme devrelerinin oluşturulması

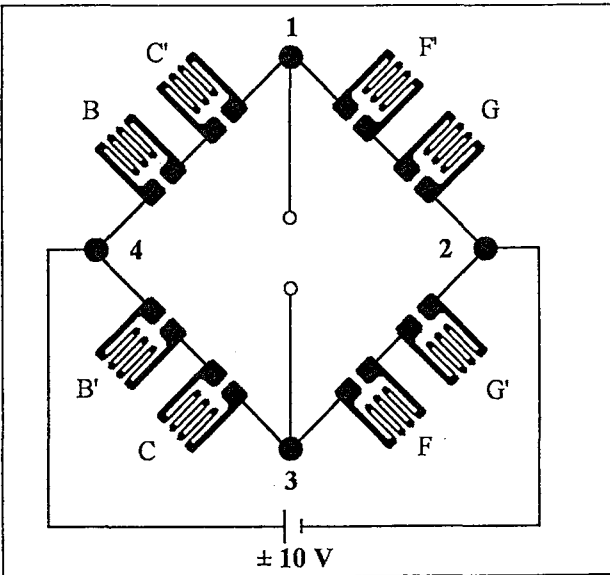
Gerilim ölçerlerde meydana gelen çok küçük direnç değişimlerinin ($\Delta R/R = 10^{-5} - 10^{-2}$) kullanılabilir elektriksel büyüklüklere çevrilmesi için en uygun yöntem Wheatstone köprü devresidir . Şekil 3.9’da görülen Wheatstone köprüsünün C ve A noktasındaki düğümleri bilinen bir V gerilimine bağlanırsa, B ve D düğümleri arasında ΔV gerilimi oluşur, V çıkış aşağıdaki gibidir, dirençler eşit olduğu zaman $\Delta V=0$ olur. Köprü kollarındaki dirençlerin değerleri değişirse, köprü dengesi bozulur ve ΔV gerilimi ortaya çıkar.

Burada R ile gösterilen dirençler yerine gerilim ölçerler konularak ölçme sistemi devreleri oluşturulur.

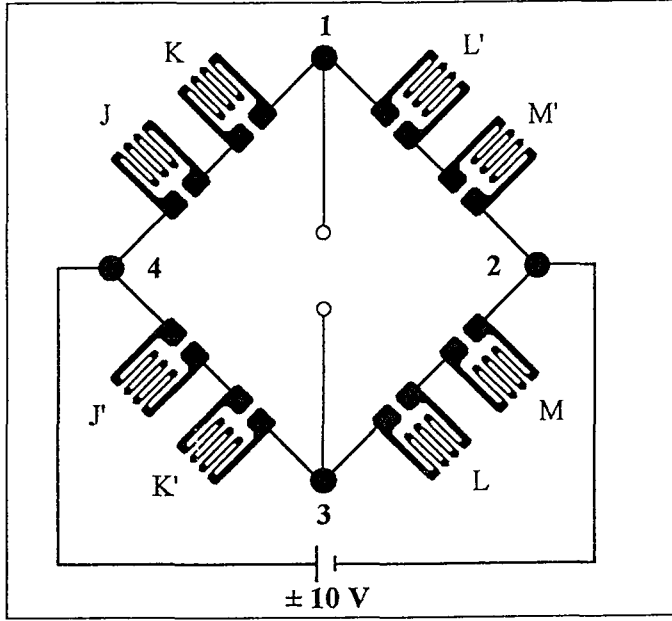


Şekil 3.9 Wheatstone köprüsünün oluşturulması

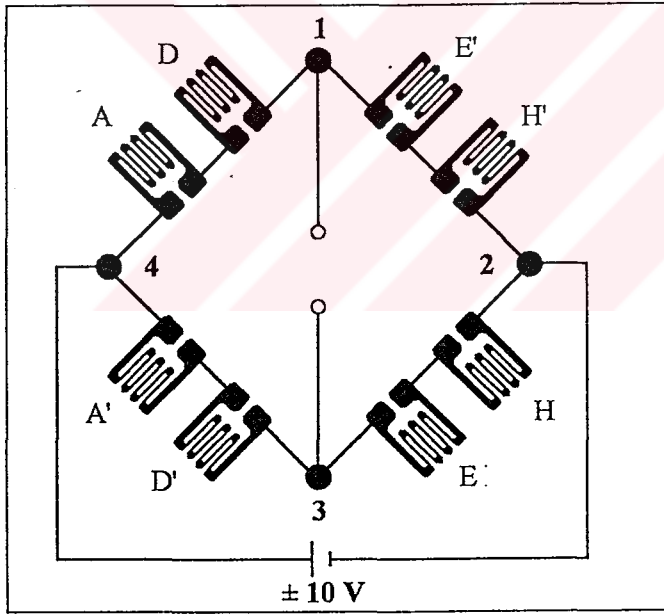
Şekil 3.6’da sıralanan gerilim ölçerler ile üç değişik Wheatstone köprüsü oluşturulur ve birbirlerine dik üç yöndeki kuvvetler ölçülebilir. Bunlardan (B,B’), (C,C’), (F,F’), (G,G’) harfleri ile gösterilen gerilim ölçerlerin Wheatstone köprüsünün dört koluna bağlanması ile yanal kuvvet ölçülmektedir (Şekil 3.10). (J,J’), (K,K’), (L,L’), (M,M’) harfleri ile gösterilen gerilim ölçerler yardımı ile kesme esnasında keskiye dik yönde gelen normal kuvvet ölçülmektedir (Şekil 3.11). (A,A’), (D,D’), (E,E’), (H,H’) gerilim ölçerleri kesme kuvveti ölçmek üzere Şekil 3.12’de görüldüğü gibi üç ayrı Wheatstone köprüsünü teşkil edecek şekilde tasarımılandırılmıştır [55].



Şekil 3.10 Yanal kuvveti ölçen köprünün oluşturulması



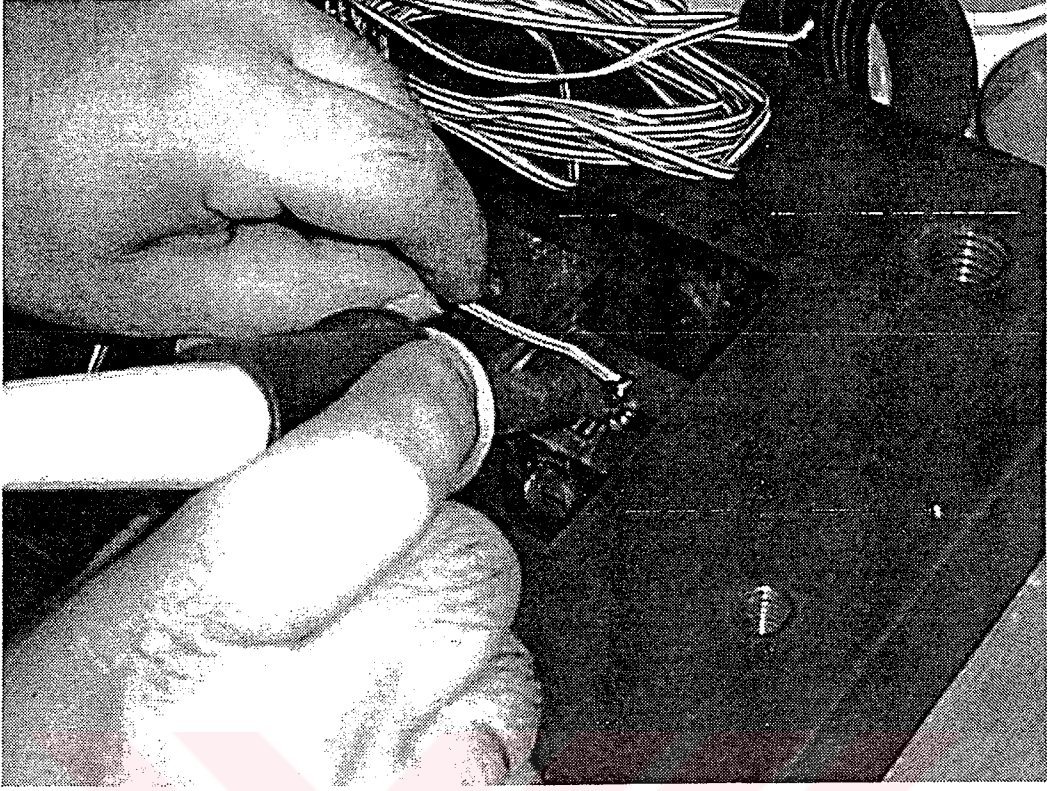
Şekil 3.11 Normal kuvveti ölçen köprünün oluşturulması



Şekil 3.12 Kesme kuvvetini ölçen köprünün oluşturulması

3.2.5 Kablo ve terminal bağlantılarının yapılması

Gerilim ölçerleri özel yapıştırıcılarla dinamometre kirişlerine tespit ettikten sonra, üç ayrı Wheatstone köprüsü teşkil edecek şekilde kablo bağlantıları yapılmıştır. İlk önce gerilim ölçerlerin uçları terminale lehimlenmiş ve daha sonra terminalden çıkan uçlar kabloya lehimlenmiştir (Şekil 3.13).

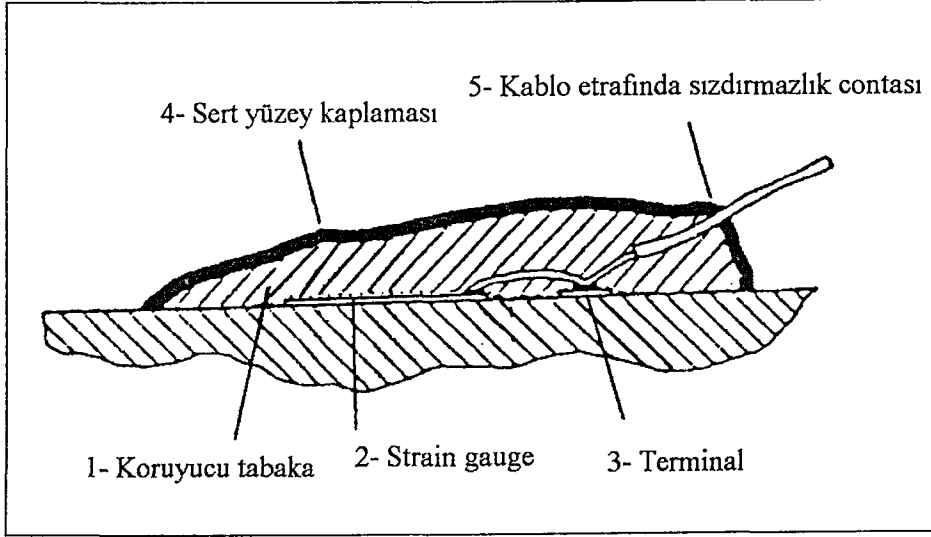


Şekil-3.13 Kablo ve terminal bağlantılarının yapılması

Kablo bağlantılarının lehimlenmesi sırasında düşük voltajlı, sıcaklık kontrollü, duyarlı ve yüksek ısı üretme kabiliyetine sahip havya tercih edilmiştir. Ölçümün başarılı olması bağlama elemanlarının ve kabloların seçimine de bağlı olmaktadır. Bu elemanlardan ölçüm sinyallerinin doğru olarak iletmelerinin yanısıra diğer istenmeyen sinyalleri de belli bir limite kadar geçirmemeleri gerekmektedir. Bu amaçla gerilim ölçer, dinamometre malzemesinin özelliklerine uygun korumalı kablolar seçilmiştir.

3.2.6 Gerilim ölçer uygulanan bölgelerin koruyucu ile kaplanması

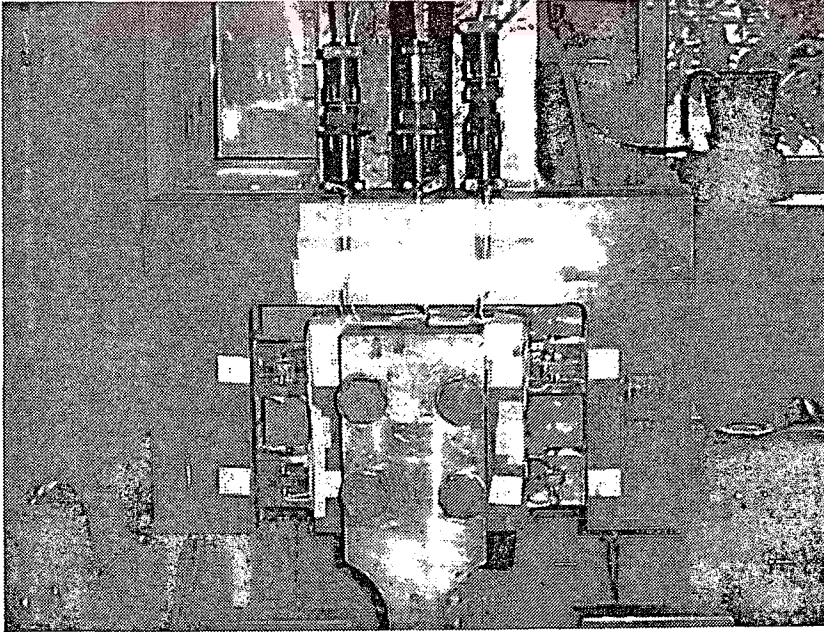
Bilhassa uzun süreli kullanımlar ve kötü çevre koşullarında yapıştırılan gerilim ölçerin yüzeyinin koruyucu özel bir malzeme ile kaplanması gerekmektedir. Burada bütün gerilim ölçer yüzeyi ve kabloların bir bölümü satın alınan özel silikon malzeme ile tamamen kaplanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Gerilim ölçerlerin koruyucu malzeme ile kaplanması

3.2.7 Üç eksenli kuvvet ölçerin kazı setine montajı

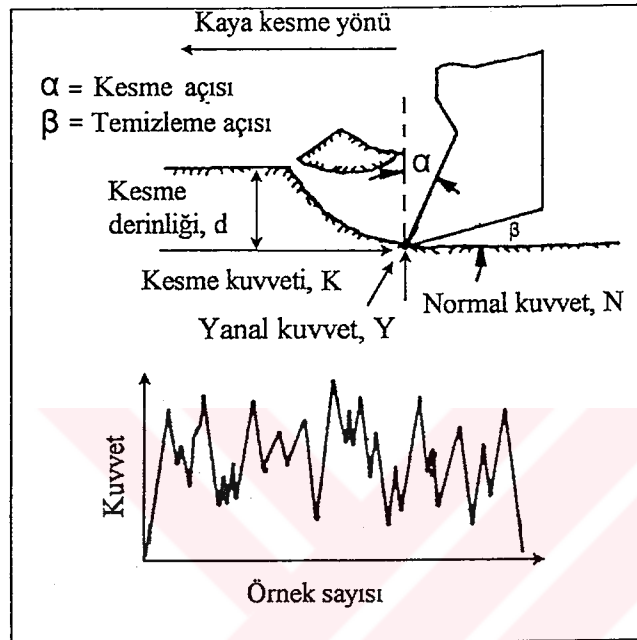
Gerilim ölçer yapıştırılan ve ölçme devreleri oluşturulan dinamometrenin kazı setine montajı için gerekli cıvatalar ve keski ucunu tutan aparatlar tornada yaptırılmıştır. Dinamometreye dengeli bir tork dağılımını sağlamak üzere tork anahtarı kullanılmış ve bütün cıvatalar 16 kgm'lik torkla sıkılmıştır. Dinamometrenin kazı seti üzerindeki tespit edilmiş hali Şekil 3.15'de görülmektedir.



Şekil 3.15 Dinamometrenin kazı setine montaj edilmiş hali

3.2.8 Üç eksenli kuvvet ölçerin bilgisayar bağlantısı ve özellikleri

Üç eksenli kuvvet ölçer yardımı ile kaya kesme sırasında kesici uca gelen kuvvetin dikey, kesme ve yanal bileşenlerini ayrı ayrı belirleyebilmek için oluşan elektriksel sinyallerin bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Kaya kesme sırasında açığa çıkan kuvvet diyagramı Şekil 3.16'daki gibi değişmektedir.



Şekil 3.16 Kaya kesme sırasında keskiye gelen kuvvetin görünümü [34]

Kesme sırasında kayadan bir parça kopana kadar keski kuvveti artmakta, parça koptuktan sonra azalmakta sonra tekrar artmaktadır. Bu durum kesme sonuna kadar devam etmektedir. Kaya kesmede kuvvetlerin değişimi 300 Hz'den büyük olması beklenmektedir. Bu kuvvetlerin dijital olarak örneklenmesi ancak 1000 Hz civarında bir frekans kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle kesme esnasında oluşan analog sinyalleri dijital sinyale çeviren I/O kartının bu frekansa yetişmesi gerekmektedir. I/O kartı olarak ESAM 1000 kartı kullanılmıştır [56]. Verilerin toplanması için 486-66 işlemci tipi bir bilgisayara bu kart takılarak sistem ölçüm yapmaya hazır hale getirilmiştir.

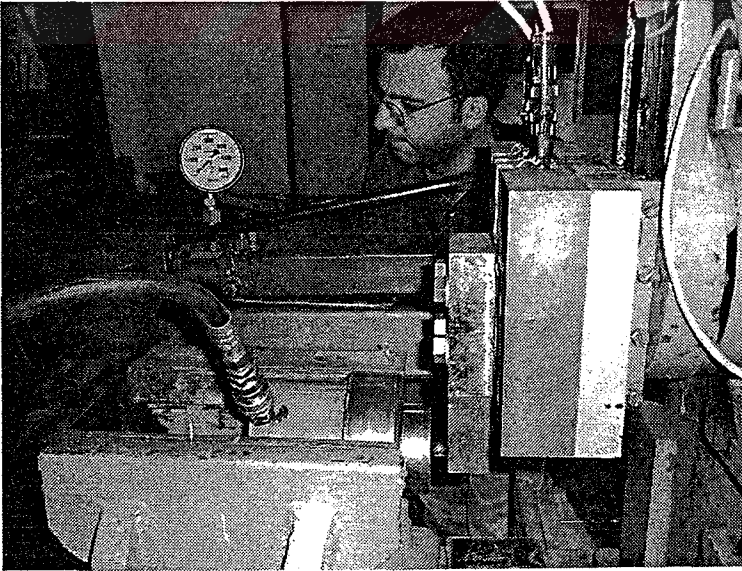
3.3 Dinamometrenin kalibrasyonu ve kullanılabilirliğinin araştırılması

Gerilim ölçer yapılandırılan ve devreleri oluşturulan dinamometrenin kalibrasyonu, ölçme sisteminin kullanılabilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından son derece önemli

olmaktadır [57]. Kalibrasyon seti, 4.5 cm. apında, 5 cm stroklu bir hidrolik silindir, hidrolik el pompası ve manometreden ibarettir. Kalibrasyon işleminde sisteme değişik yükler altında bir hidrolik pompa yardımı ile yükler verilmektedir. Bu yükler yardımı ile çıkan sinyaller dinamometrenin cevap karakteristiğini oluşturmaktadır. ıkış sinyalleri ile kuvvet değişimi arasındaki ilişkinin doğrusallığı ve kuvvetlerin birbirlerine göre etkileşimi, kalibrasyon çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Kuvvetlerinin birbirlerini en az etkilediği noktayı bulabilmek amacı ile kuvvet ölçerin değişik noktalarında kalibrasyon işleminin yapılmış ve en az etkileşimin olduğu bölge bulunmuştur. Yapılan bütün kalibrasyon çalışmaları sinyal kazanma oranı 200’de yapılmıştır.

3.3.1 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu

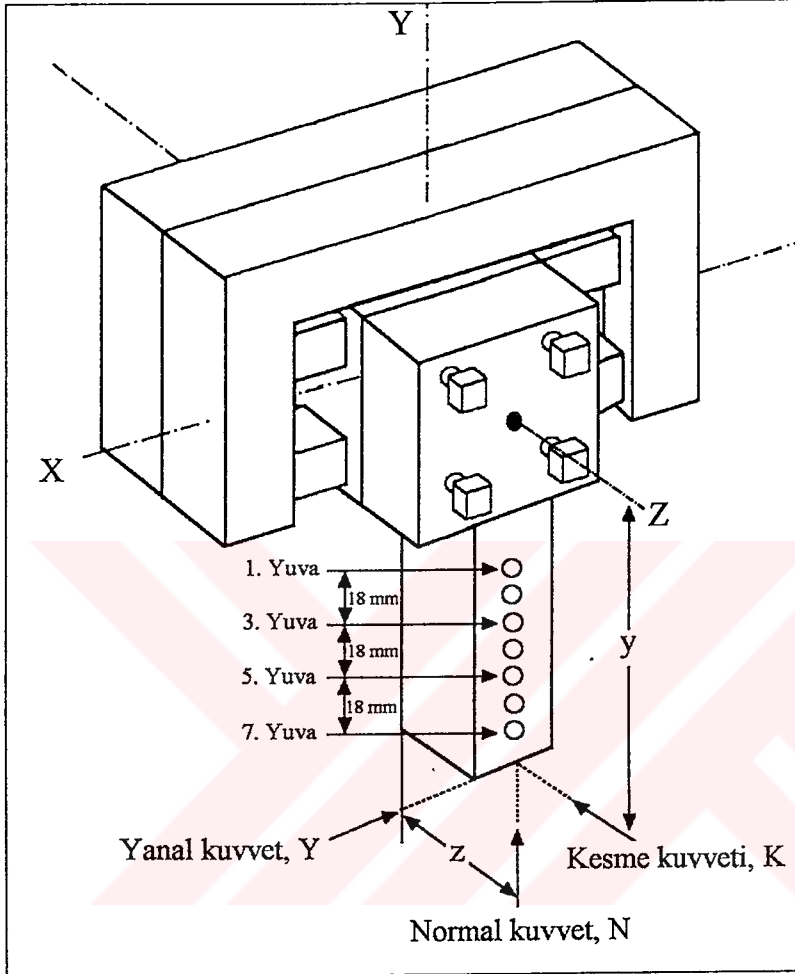
Dinamometreye kaya kesme esnasında üç bileşkeli kuvvetler gelmektedir. Kaya kesme doğrultusunda dinamometre ucundaki bir keskiye yatay yönde gelen kuvvete kazı mekaniğinde kesme kuvveti adı verilmektedir. Bunlardan yatay yönde gelen kesme kuvvetini bulabilmek için dinamometreye yatay yönde, bilinen kuvvetler hidrolik bir silindir yardımı ile verilmektedir. Kesme kuvvetinin kalibrasyonunda kullanılan set şekil 3.17’de görölmektedir.



şekil 3.17 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu için kullanılan set

Üç eksenli kuvvet ölçerin kesme doğrultusunda değişik noktalardan uygulanan kuvvetler karşısındaki cevap karakteristiğini elde edebilmek amacı ile dinamometre

ve uç tutucunun belirli yerlerine yuvalar açılmış ve yüklemeler buralardan değişik aralıklarla yapılmıştır. Hidrolik silindir ile noktasal yük verebilmek amacı ile dinamometre ve uç tutucu arasında bilye konulmuştur (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Kesme kuvvetinin kalibrasyonunda yüklemenin yapılması için açılan yuvalar

Kesme kuvvetinin kalibrasyon çalışmalarında, dinamometrenin kesme kuvveti doğrultusundaki cevap karakteristiğini daha iyi anlayabilmek ve diğer kuvvetlerle etkileşiminin en az olduğu noktayı bulabilmek amacı ile 1. 3. 5. ve 7. yuvalardan değişik yükler hidrolik pompa yardımı ile verilmiştir.

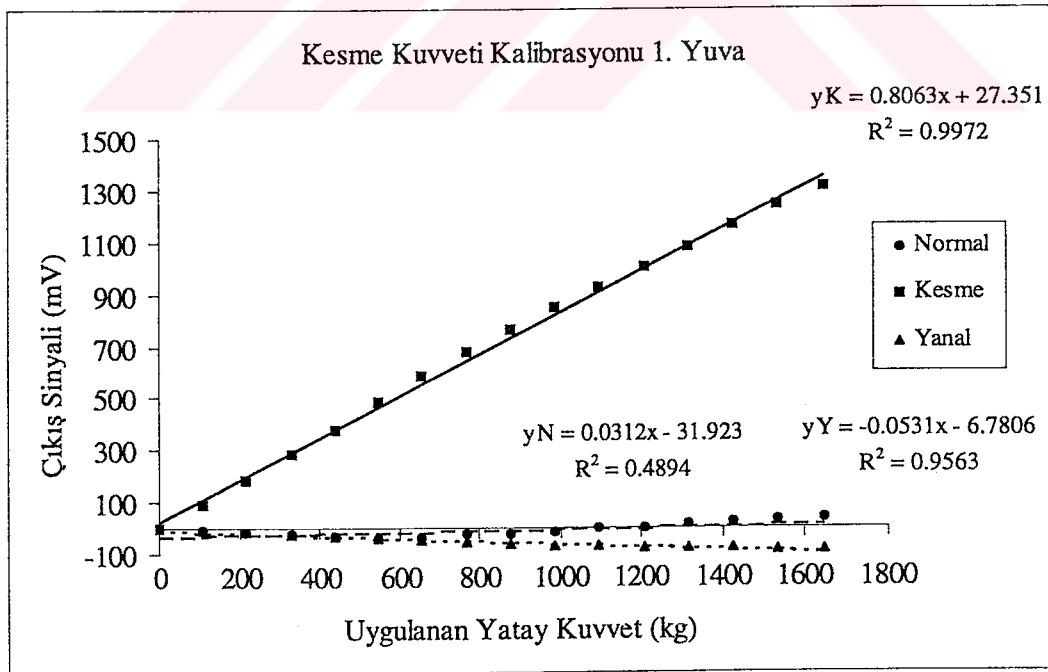
3.3.1.1 Birinci yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu

Kesme kuvveti doğrultusunda 1. yuvadan, lineer olarak artan yükler hidrolik pompa vasıtasıyla verilmiş ve üç eksenli dinamometreden çıkan sinyaller her bir yük için kayıt edilmiştir ve ikişer kez tekrarlanmıştır. Çıkan sinyaller ve uygulanan yükler

Tablo 3.1 ve 3.2’de verilmiştir. Uygulanan yüke karşılık, üç kuvvetin birbirleriyle olan etkileşimi Şekil 3.19 ve 3.20’de görülmektedir.

Tablo 3.1 Birinci yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

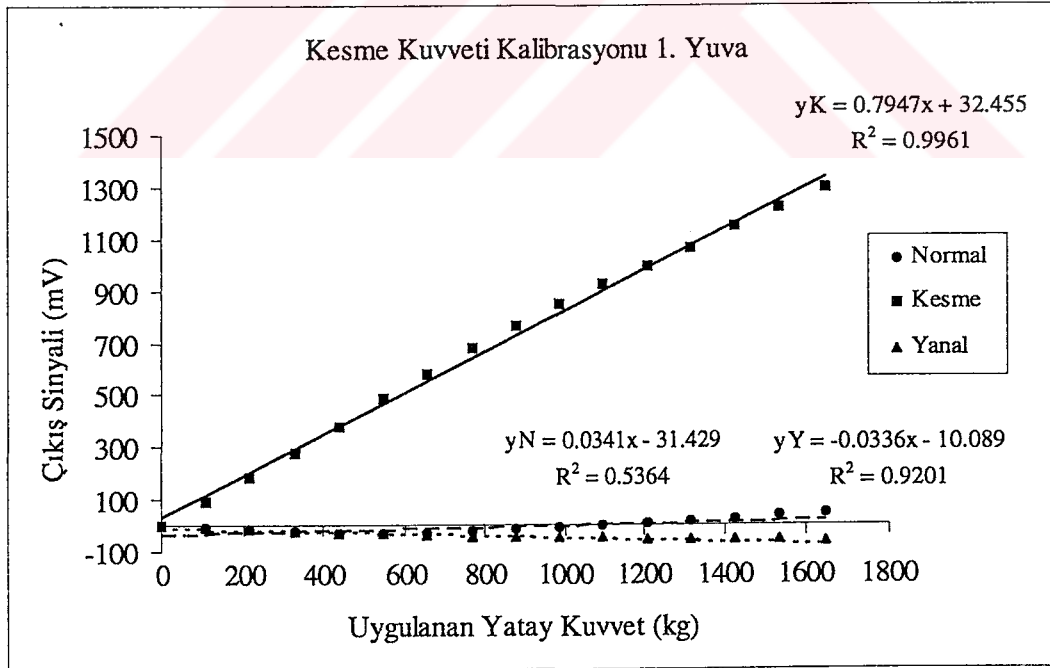
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	0.20	1.16	-0.76
109.66	-7.24	94.46	-4.53
219.31	-16.80	183.88	-15.58
328.97	-24.14	283.73	-23.35
438.62	-30.37	380.00	-30.73
548.28	-35.24	485.85	-37.64
657.93	-35.18	586.76	-45.47
767.59	-25.30	677.95	-55.37
877.24	-18.97	765.32	-61.46
986.90	-12.62	848.05	-66.27
1096.55	-3.25	925.82	-71.20
1206.21	2.57	1003.24	-73.37
1315.86	12.39	1084.03	-76.89
1425.52	22.11	1166.11	-79.75
1535.17	30.88	1244.70	-81.67
1644.83	40.90	1316.37	-82.95



Şekil 3.19 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.2 Birinci yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	0.54	1.41	0.2
109.66	-7.60	96.54	-5.8
219.31	-15.72	186.83	-16.9
328.97	-22.18	280.41	-23.5
438.62	-27.71	379.80	-28.9
548.28	-31.48	486.20	-32.8
657.93	-30.82	580.26	-37.7
767.59	-23.77	679.91	-43.0
877.24	-16.85	765.05	-45.0
986.90	-9.28	849.36	-46.6
1096.55	-1.79	927.92	-48.6
1206.21	5.27	999.55	-50.4
1315.86	16.36	1070.75	-53.0
1425.52	26.36	1149.23	-54.8
1535.17	36.87	1225.48	-56.9
1644.83	47.37	1297.45	-59.7



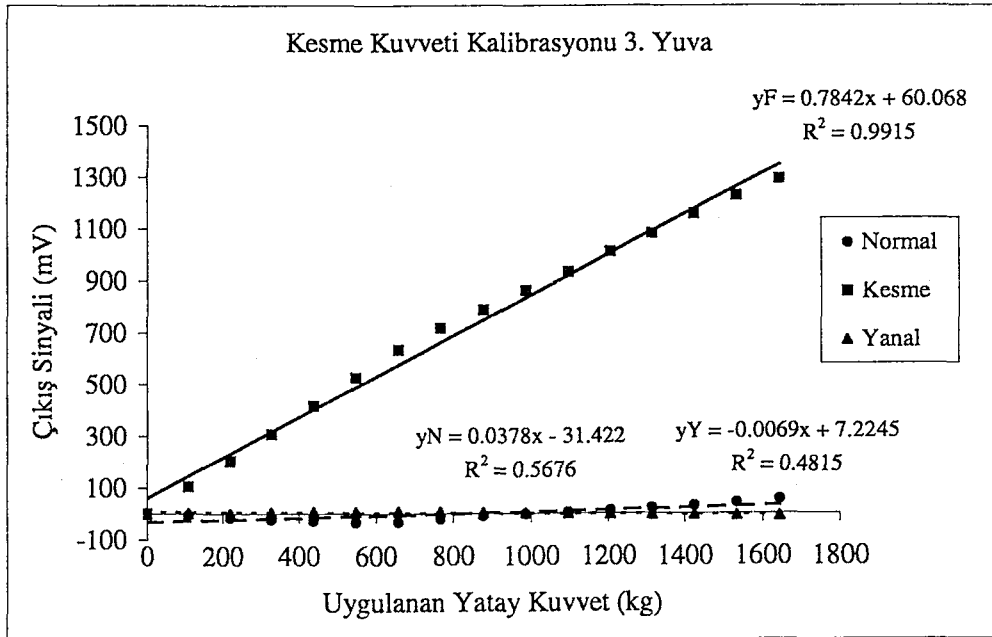
Şekil 3.20 İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

3.3.1.2 Üçüncü yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu

Kesme kuvveti doğrultusunda 3. yuvadan, lineer olarak artan yükler hidrolik pompa vasıtasıyla verilmiş ve üç eksenli dinamometreden çıkan sinyaller her bir yük için kayıt edilmiş ve ikişer kez tekrarlanmıştır. Çıkan sinyaller ve uygulanan yükler Tablo 3.3 ve 3.4’de verilmiştir. Uygulanan yüke karşılık, üç kuvvetin birbirleriyle olan etkileşimi Şekil 3.21 ve 3.22’de görülmektedir.

Tablo 3.3 Üçüncü yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

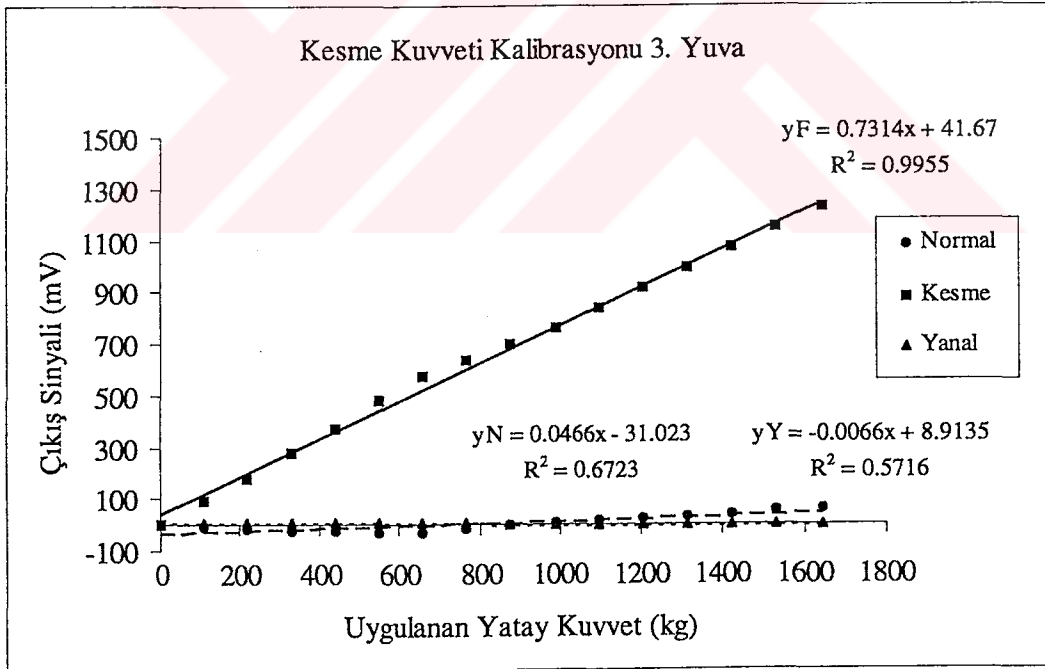
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	2.57	1.27	1.60
109.66	-5.62	105.32	2.36
219.31	-14.73	203.11	1.47
328.97	-22.01	308.61	4.68
438.62	-28.07	416.63	6.79
548.28	-32.39	527.67	8.48
657.93	-33.17	635.28	8.88
767.59	-21.24	718.71	6.81
877.24	-10.49	787.27	4.13
986.90	-2.18	862.44	2.26
1096.55	5.02	933.45	0.60
1206.21	11.31	1011.68	-0.68
1315.86	21.64	1083.14	-3.12
1425.52	29.55	1159.45	-4.21
1535.17	41.28	1230.00	-5.92
1644.83	53.54	1295.72	-8.90



Şekil 3.21 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.4 Üçüncü yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	2.60	1.28	2.6
109.66	-3.86	93.13	6.1
219.31	-12.56	181.40	5.7
328.97	-20.12	281.30	8.1
438.62	-25.41	376.74	10.0
548.28	-29.50	479.74	10.6
657.93	-29.27	578.97	9.2
767.59	-14.47	636.10	6.2
877.24	-1.31	699.34	4.1
986.90	12.09	761.13	0.9
1096.55	19.14	840.35	0.3
1206.21	26.33	917.29	-0.9
1315.86	35.40	993.30	-1.4
1425.52	43.56	1075.66	-1.9
1535.17	52.74	1150.54	-2.0
1644.83	61.08	1224.52	-1.6



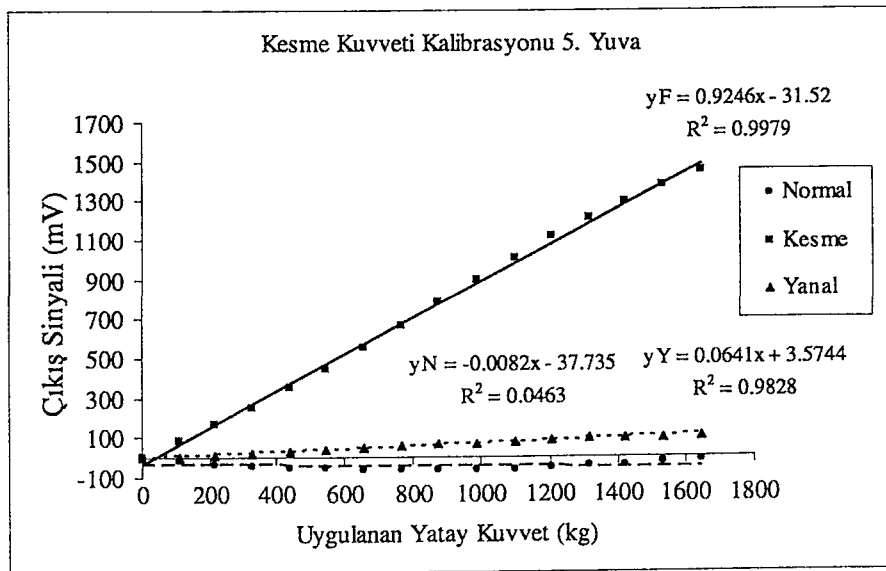
Şekil 3.22 İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

3.3.1.3 Beşinci yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu

Kesme kuvveti doğrultusunda 5. yuvadan, lineer olarak artan yükler hidrolik pompa vasıtasıyla verilmiş ve üç eksenli dinamometreden çıkan sinyaller her bir yük için kayıt edilmiş ve ikişer kez tekrarlanmıştır. Çıkan sinyaller ve uygulanan yükler Tablo 3.5 ve 3.6'da verilmiştir. Uygulanan yüke karşılık, üç kuvvetin birbirleriyle olan etkileşimi Şekil 3.23 ve 3.24'de görülmektedir.

Tablo 3.5 Üçüncü yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

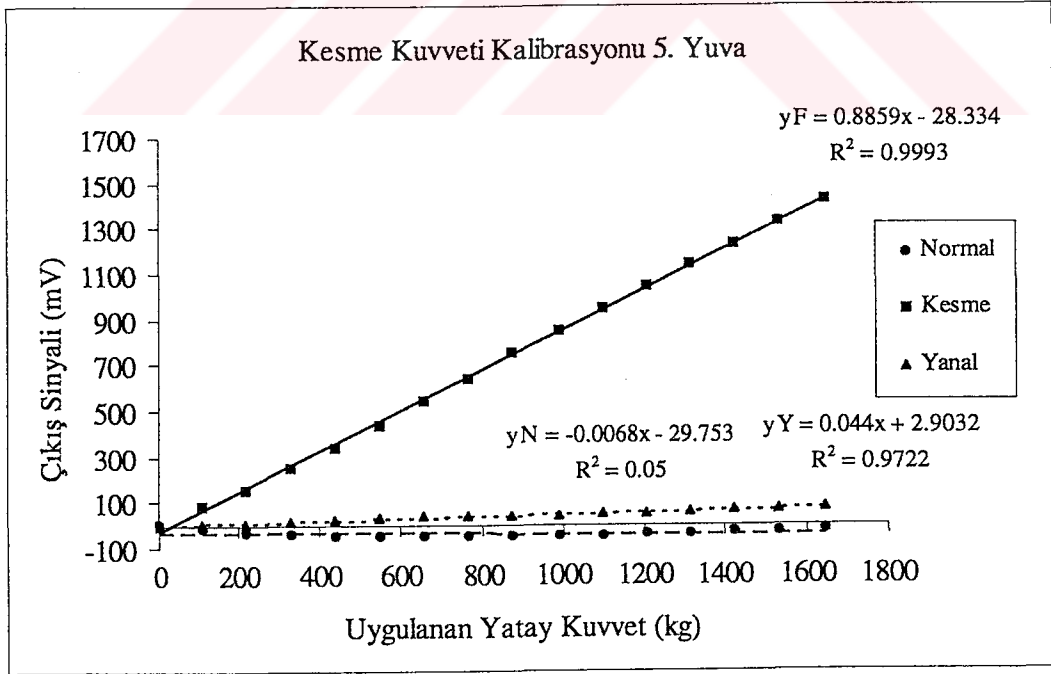
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	0.48	-0.51	1.12
109.66	-19.73	84.03	5.72
219.31	-32.35	165.49	12.32
328.97	-42.65	254.10	22.64
438.62	-50.57	348.76	33.43
548.28	-57.76	445.03	42.18
657.93	-61.78	559.55	49.71
767.59	-64.13	668.41	56.08
877.24	-64.28	782.76	63.05
986.90	-63.33	896.12	70.21
1096.55	-61.56	1010.55	78.37
1206.21	-57.80	1115.86	85.91
1315.86	-48.74	1207.03	90.57
1425.52	-40.81	1293.59	93.31
1535.17	-30.52	1376.45	97.07
1644.83	-16.10	1455.30	99.54



Şekil 3.23 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.6 Üçüncü yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	2.48	0.29	-0.6
109.66	-13.29	80.99	2.0
219.31	-25.01	159.77	8.9
328.97	-35.39	248.68	18.1
438.62	-44.01	345.19	27.7
548.28	-49.86	440.92	34.4
657.93	-51.01	541.27	37.6
767.59	-50.97	643.80	40.3
877.24	-50.97	752.23	42.1
986.90	-48.75	856.72	45.1
1096.55	-45.03	952.90	48.4
1206.21	-41.15	1044.04	52.6
1315.86	-36.71	1140.85	57.8
1425.52	-31.92	1236.12	64.0
1535.17	-25.25	1333.76	70.3
1644.83	-18.38	1426.85	77.0



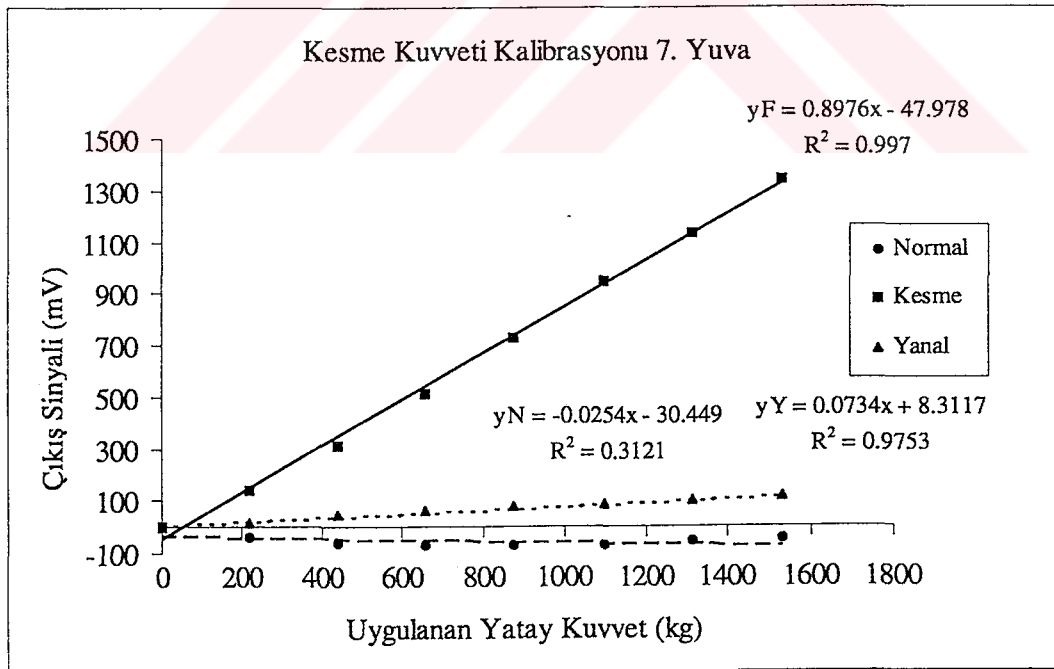
Şekil 3.24 İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

3.3.1.4 Yedinci yuvadan yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu

Kesme kuvveti doğrultusunda 7. yuvadan, lineer olarak artan yükler hidrolik pompa vasıtasıyla verilmiş ve üç eksenli dinamometreden çıkan sinyaller herbir yük için kayıt edilmiş ve ikişer kez tekrarlanmıştır. Çıkan sinyaller ve uygulanan yükler Tablo 3.7 ve 3.8’de verilmiştir. Uygulanan yüke karşılık, üç kuvvetin birbirleriyle olan etkileşimi Şekil 3.25 ve 3.26’da görülmektedir.

Tablo 3.7 Yedinci yuvadan yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

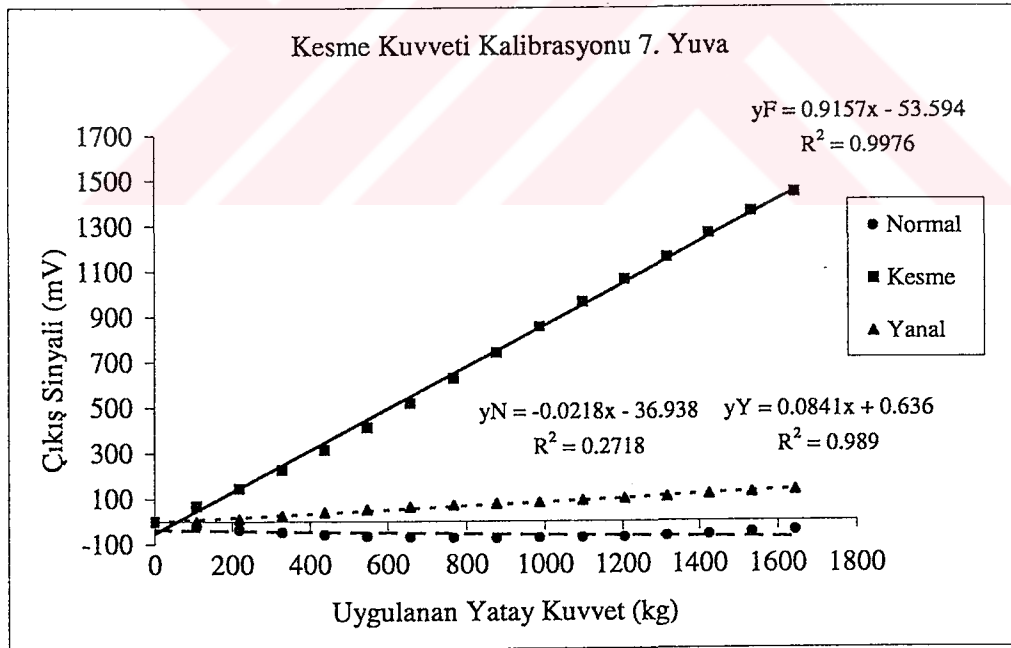
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	2.68	-0.48	1.69
219.31	-35.55	141.22	18.73
438.62	-58.41	311.44	47.30
657.93	-69.08	512.58	66.74
877.24	-71.24	732.31	76.93
1096.55	-65.50	947.00	87.62
1315.86	-57.00	1137.82	100.36
1535.17	-45.52	1346.09	117.79



Şekil 3.25 Kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.8 Yedinci yuvadan 2. kez yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

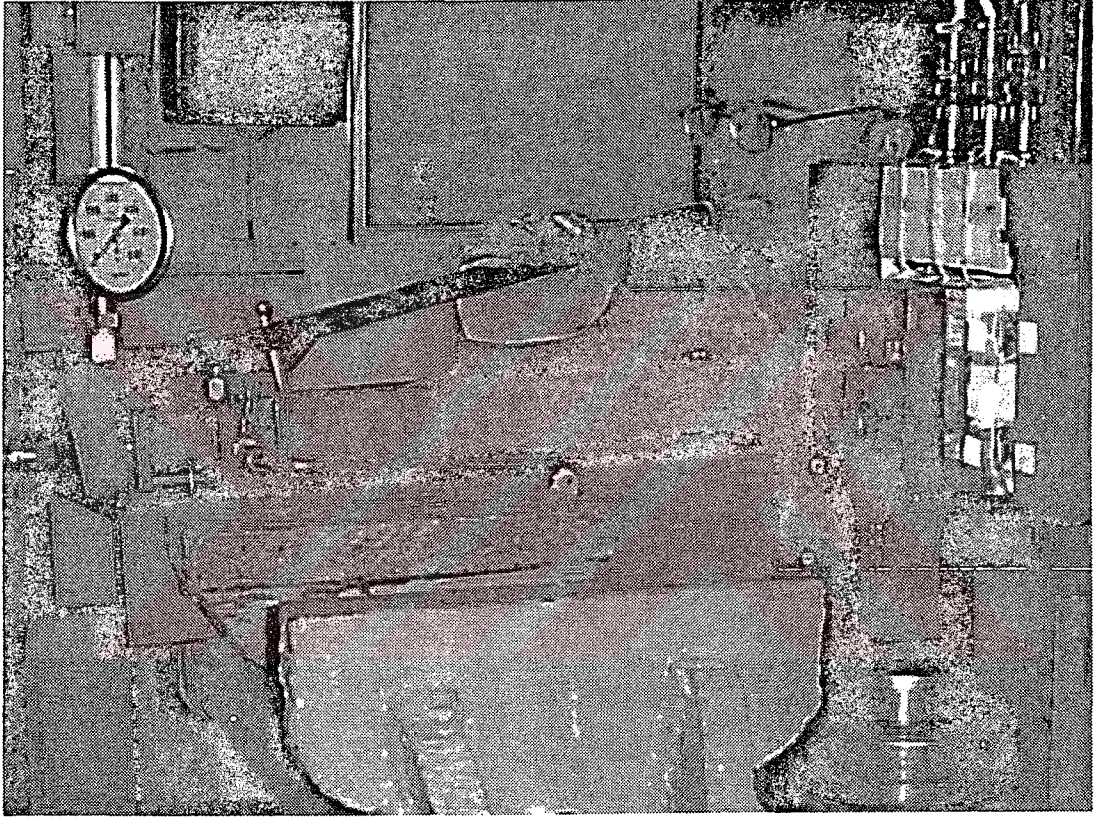
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	1.50	1.08	1.3
109.66	-19.61	69.97	1.1
219.31	-35.73	146.52	11.8
328.97	-47.30	227.95	26.4
438.62	-58.19	317.99	40.9
548.28	-65.91	414.60	53.3
657.93	-70.18	519.66	63.6
767.59	-72.73	629.03	71.0
877.24	-74.21	742.11	77.8
986.90	-73.75	857.23	84.6
1096.55	-72.35	967.09	92.8
1206.21	-69.82	1064.95	101.2
1315.86	-65.66	1160.74	108.5
1425.52	-60.36	1265.32	119.6
1535.17	-50.87	1361.50	126.4
1644.83	-42.08	1445.62	136.2



Şekil 3.26 İkinci kez yapılan kesme kuvvetinin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

3.3.2 Normal kuvvetinin kalibrasyonu

Kaya kesme doğrultusunda dinamometre ucundaki bir keskiye dikey yönde gelen kuvvete kazı mekaniğinde normal kuvveti adı verilmektedir. Dinamometreye kaya kesme esnasında üç bileşkeli kuvvetler gelmektedir. Bunlardan dikey yönde gelen normal kuvvetini bulabilmek için dinamometreye dikey yönde, bilinen kuvvetler hidrolik bir silindir yardımı ile verilmektedir. Normal kuvvetinin kalibrasyonunda kullanılan set Şekil 3.27’de görülmektedir.

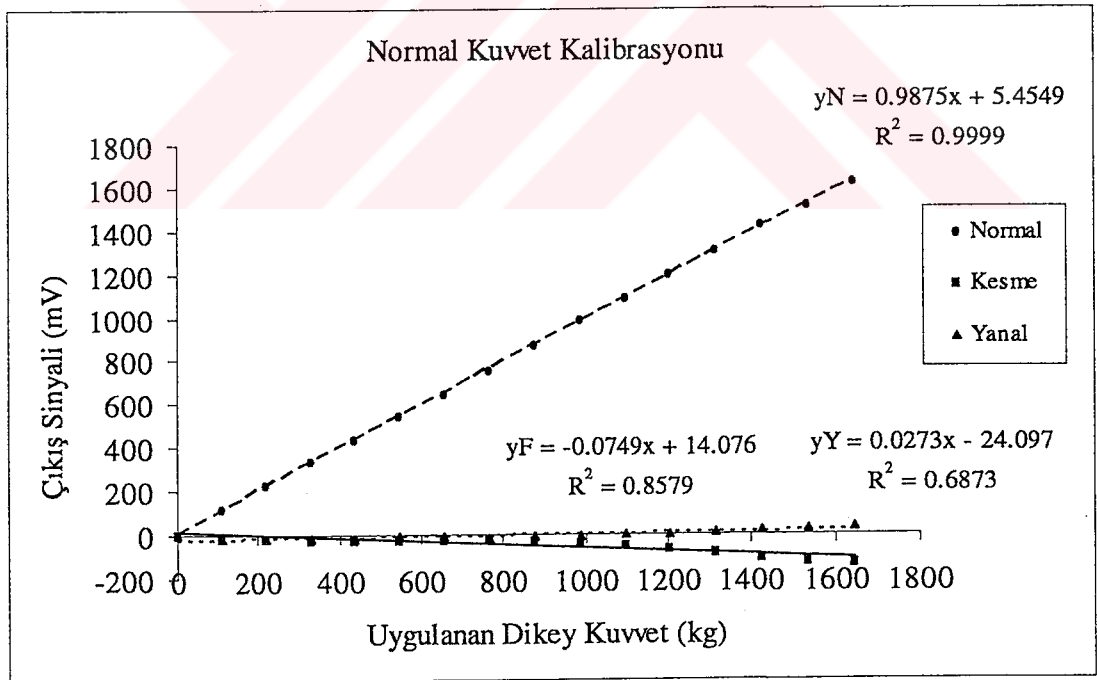


Şekil 3.27 Normal kuvvetinin kalibrasyonu için kullanılan set

Normal kuvvetin kalibrasyon çalışmaları ikişer kez tekrar edilmiştir. Böylece hem deneylerin tekrarlanılabilirliği araştırılmış hem de sonuçların analizleri karşılaştırılmıştır. Tablo 3.9 ve 3.10’da normal kuvvetin kalibrasyon sonuçları verilmiştir. Uygulanan dikey yüklere karşılık üç kuvvetin birbirleriyle olan etkileşimi Şekil 3.28 ve 3.29’da görülmektedir.

Tablo 3.9 Normal kuvvetin kalibrasyonu sonuçları

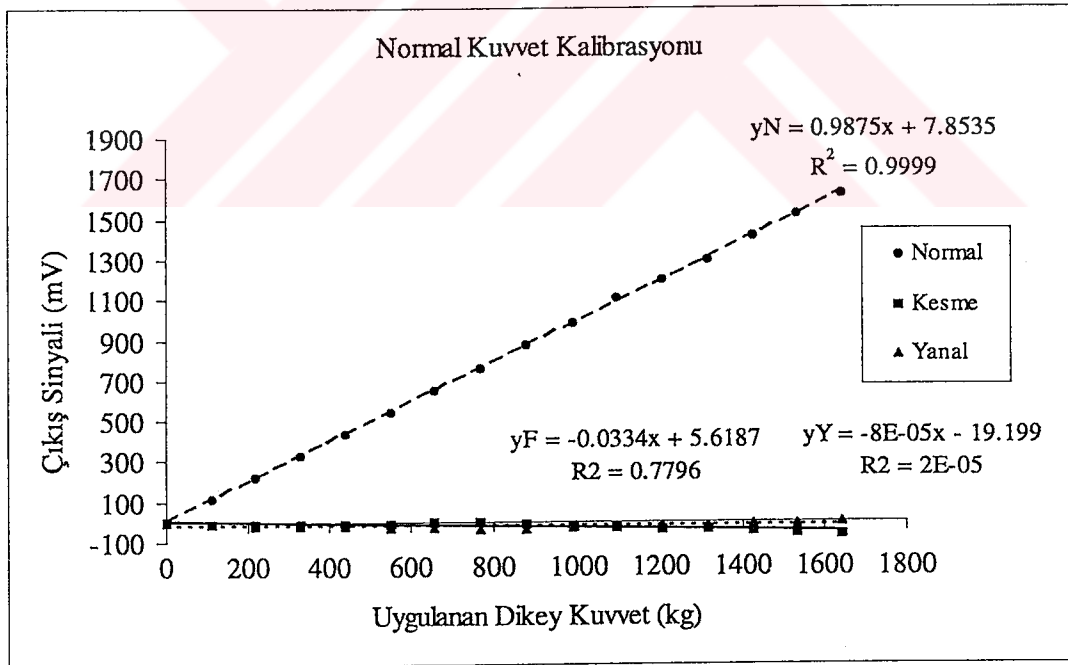
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	1.64	0.49	-0.09
109.66	116.61	-4.95	-16.26
219.31	226.60	-13.72	-19.62
328.97	334.53	-23.03	-19.30
438.62	438.44	-23.17	-17.15
548.28	543.82	-20.74	-11.42
657.93	648.96	-23.35	-10.75
767.59	756.85	-24.16	-11.72
877.24	867.80	-30.72	-11.03
986.90	986.90	-37.26	-8.01
1096.55	1089.17	-49.34	-1.16
1206.21	1199.56	-66.67	4.14
1315.86	1306.89	-83.27	12.71
1425.52	1419.68	-104.24	20.72
1535.17	1518.52	-120.57	26.58
1644.83	1625.13	-136.30	35.58



Şekil 3.28 Normal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.10 Normal kuvvetin 2. kez yapılan kalibrasyon sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	1.45	-0.66	1.2
109.66	118.62	-6.15	-14.0
219.31	224.88	-11.51	-16.4
328.97	334.02	-13.03	-18.6
438.62	438.83	-9.69	-20.7
548.28	549.60	-7.18	-24.1
657.93	654.40	-5.23	-30.1
767.59	765.36	-4.00	-34.1
877.24	876.24	-6.98	-33.5
986.90	982.56	-17.77	-28.8
1096.55	1106.63	-32.08	-18.3
1206.21	1202.25	-33.61	-22.1
1315.86	1301.58	-39.34	-18.9
1425.52	1419.00	-45.69	-13.6
1535.17	1521.00	-54.78	-11.4
1644.83	1624.00	-61.30	-4.9



Şekil 3.29 İkinci kez yapılan normal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

3.3.3 Yanal kuvvetin kalibrasyonu

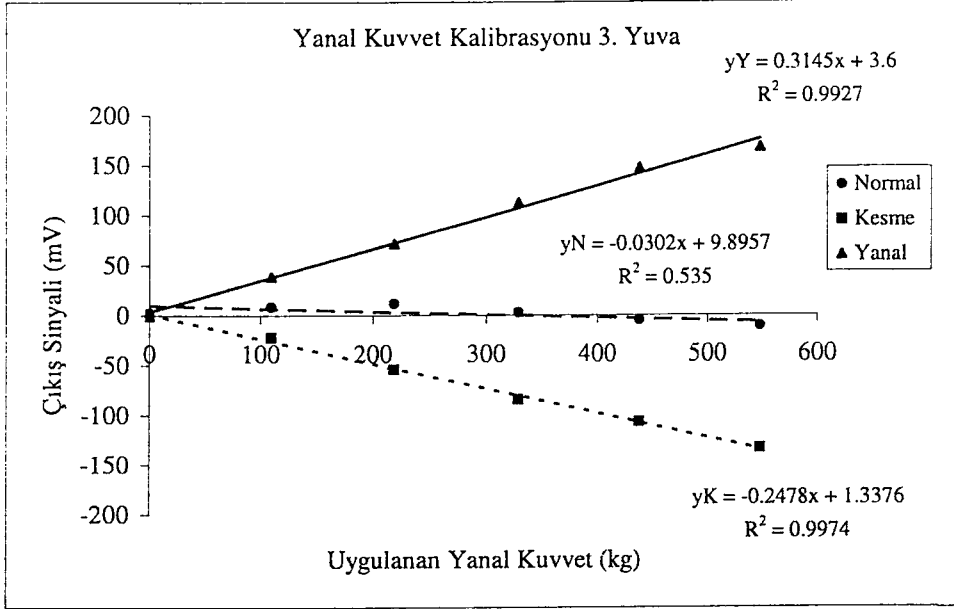
Kaya kesme doğrultusunda dinamometre ucundaki bir keskiye yatay yönde gelen kuvvete kazı mekaniğinde yanal kuvvet adı verilmektedir. Dinamometreye kaya kesme esnasında üç bileşekli kuvvetler gelmektedir. Bunlardan yanal yönde gelen yanal kuvveti bulabilmek için dinamometreye yanal yönde, bilinen kuvvetler hidrolik bir silindir yardımı ile verilmektedir. Yanal kuvvetin kalibrasyonunda kullanılan set Şekil 3.30'da görülmektedir. Tablo 3.11, 3.12 ve 3.13'te yanal kuvvetin kalibrasyon sonuçları verilmektedir. Şekil 3.31, 3.32 ve 3.33'te yanal kuvvetin kalibrasyonu sonucunda elde edilen şekiller görülmektedir.



Şekil 3.30 Yanal kuvvetin kalibrasyonu için kullanılan set

Tablo 3.11 Yanal kuvvetin kalibrasyonu sonuçları

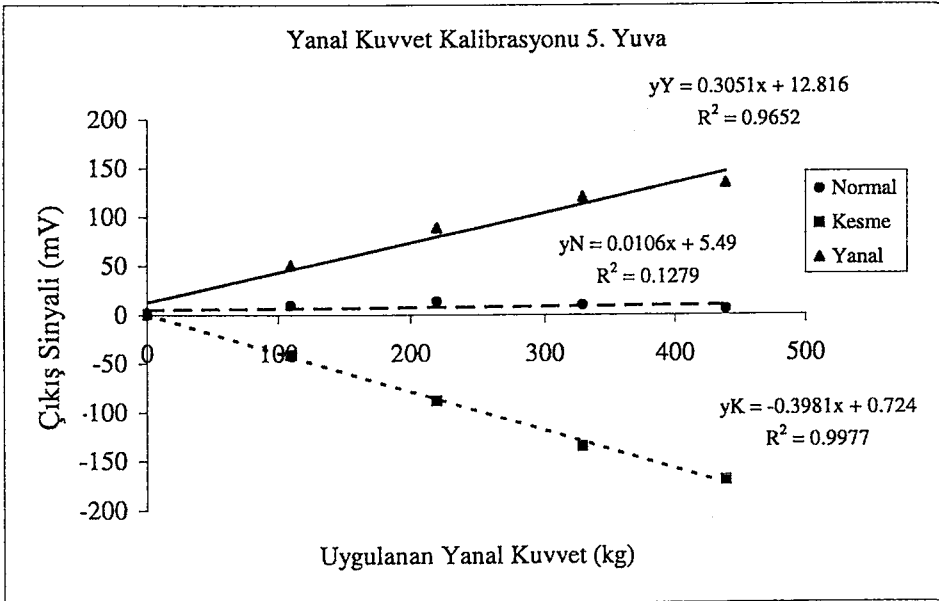
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	2.19	-0.11	-0.16
109.66	8.72	-21.84	39.01
219.31	11.76	-53.70	71.85
328.97	2.95	-83.90	112.57
438.62	-4.82	-106.48	147.87
548.28	-11.11	-133.46	167.81



Şekil 3.31 Yanal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.12 Yanal kuvvetin 2. kez yapılan kalibrasyon sonuçları

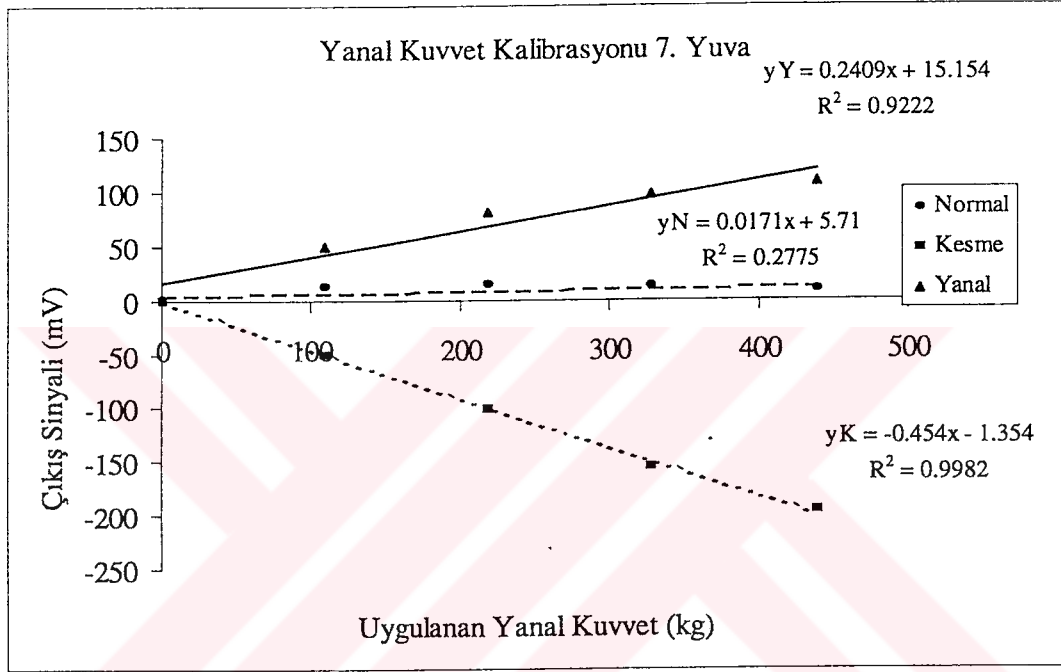
Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	0.1	1.30	2.8
109.66	9.7	-41.06	50.8
219.31	13.5	-88.20	89.1
328.97	10.2	-134.90	120.9
438.62	5.7	-170.04	135.0



Şekil 3.32 İkinci kez yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

Tablo 3.13 Yanal kuvvetin 3. kez yapılan kalibrasyon sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)
0.00	-0.17	-0.19	1.5
109.66	12.25	-50.31	49.3
219.31	13.71	-101.97	81.5
328.97	12.41	-155.72	98.7
438.62	9.15	-196.39	108.9



Şekil 3.33 Üçüncü kez yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu ve diğer kuvvetlerin etkileşimi

3.4 Kalibrasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Kuvvet Etkileşimlerinin Hesaplanması

Üç eksenli kuvvet ölçerin kesme, normal ve yatay yönde uygulanan yüklere karşılık cevap karakteristiği doğrusal çıkmış ve korelasyon katsayıları her bir kalibrasyon için 0.99 bulunmuştur. Kuvvet ölçerlerin kalibrasyon sonuçlarının tekrarlanabilir olması gerekmektedir. Bu amaçla her bir kaya kesme deneyine başlamadan önce kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır. Kuvvetlerin birbirleri üzerindeki etkileşimi ise beklenen sınırlar içerisinde kaldığından ölçme sisteminin kullanılabilirliğine karar verilmiştir.

3.4.1 Kesme kuvvetinin ve etkileşiminin hesaplanması

Kesme kuvvetinin kalibrasyonu çalışmalarında üç eksenli kuvvet ölçerin, merkezine etkiyen yatay yöndeki kesme kuvvetinin diğer yöndeki kuvvetler üzerindeki etkileşimin en az olduğu bölgeyi bulabilmek için üç değişik yuvadan kalibrasyon yapılmıştır. En az etkileşimin olduğu bölge 3. yuvadan yapılan (Şekil 3.22) kalibrasyon çalışmalarında hesaplanmıştır. Kesme kuvvetinin diğer kuvvetlerle olan etkileşimi ve kalibrasyon sonuçları Tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.14 Kesme kuvvetinin kalibrasyon katsayısı ve diğer kuvvetlerle etkileşimi

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	2.57	1.27	1.60	0
109.66	-5.62	105.32	2.36	1.04
219.31	-14.73	203.11	1.47	1.08
328.97	-22.01	308.61	4.68	1.07
438.62	-28.07	416.63	6.79	1.05
548.28	-32.39	527.67	8.48	1.04
657.93	-33.17	635.28	8.88	1.04
767.59	-21.24	718.71	6.81	1.07
877.24	-10.49	787.27	4.13	1.11
986.90	-2.18	862.44	2.26	1.14
1096.55	5.02	933.45	0.60	1.17
1206.21	11.31	1011.68	-0.68	1.19
1315.86	21.64	1083.14	-3.12	1.21
1425.52	29.55	1159.45	-4.21	1.23
1535.17	41.28	1230.00	-5.92	1.25
1644.83	53.54	1295.72	-8.90	1.27
			Ort	1.131

Kaya kesme deneyleri sonucunda, kesme kuvvetini hesaplamak için kullanılacak kalibrasyon katsayısı 1.13 kg/mV bulunmuştur. Kesme kuvveti doğrultusunda yapılan kalibrasyon sonucunda kuvvetlerinin birbirlerini olan etkisinin, normal kuvvet üzerinde % 2 , yanal kuvvet üzerinde % 1 oranında olduğu saptanmıştır.

3.4.2 Normal kuvvetin ve etkileşiminin hesaplanması

Normal kuvvetin kalibrasyonunda uygulanan dikey kuvvetler üç eksenli kuvvet ölçerin merkezine etki edecek şekilde yapılmıştır. Normal kuvvetin, yatay ve kesme kuvvetlerine olan etkileşimi ve kalibrasyon sonuçları Tablo 3.15’de verilmiştir.

Tablo 3.15 Normal kuvvetinin kalibrasyon katsayısı ve diğer kuvvetlerle etkileşimi

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Normal Kuvveti Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	1.45	-0.66	1.2	0
109.66	118.62	-6.15	-14.0	0.92
219.31	224.88	-11.51	-16.4	0.98
328.97	334.02	-13.03	-18.6	0.98
438.62	438.83	-9.69	-20.7	1.00
548.28	549.60	-7.18	-24.1	1.00
657.93	654.40	-5.23	-30.1	1.01
767.59	765.36	-4.00	-34.1	1.00
877.24	876.24	-6.98	-33.5	1.00
986.90	982.56	-17.77	-28.8	1.00
1096.55	1106.63	-32.08	-18.3	0.99
1206.21	1202.25	-33.61	-22.1	1.00
1315.86	1301.58	-39.34	-18.9	1.01
1425.52	1419.00	-45.69	-13.6	1.00
1535.17	1521.00	-54.78	-11.4	1.01
1644.83	1624.00	-61.30	-4.9	1.01
			Ort	0.995

Kaya kesme deneyleri sonucunda, normal kuvveti hesaplamak için kullanılacak kalibrasyon katsayısı 0.99 kg/mV bulunmuştur. Normal kuvvet doğrultusunda yapılan kalibrasyon sonucunda kuvvetlerinin birbirlerini olan etkisinin, kesme kuvveti üzerinde % 3 , yanal kuvvet üzerinde % 4 oranında olduğu saptanmıştır.

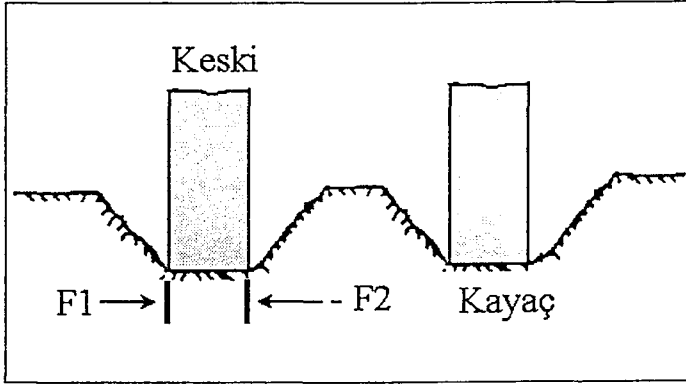
3.4.3 Yanal kuvvetin ve etkileşiminin hesaplanması

Yanal kuvvetin kalibrasyonunda, üç eksenli kuvvet ölçerin merkezine etki eden kuvvetlerin en az etkileşiminin olduğu bölge 3. yuvadan yapılan yanal yöndeki yüklemelerde bulunmuştur ve Tablo 3.16’da verilmiştir.

Tablo 3.16 Yanal kuvvetinin kalibrasyon katsayısı ve diğer kuvvetlerle etkileşimi

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvetin Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	2.19	-0.11	-0.16	0
109.66	8.72	-21.84	39.01	2.81
219.31	11.76	-53.70	71.85	3.05
328.97	2.95	-83.90	112.57	2.92
438.62	-4.82	-106.48	147.87	2.97
548.28	-11.11	-133.46	167.81	3.27
			Ort	3.00

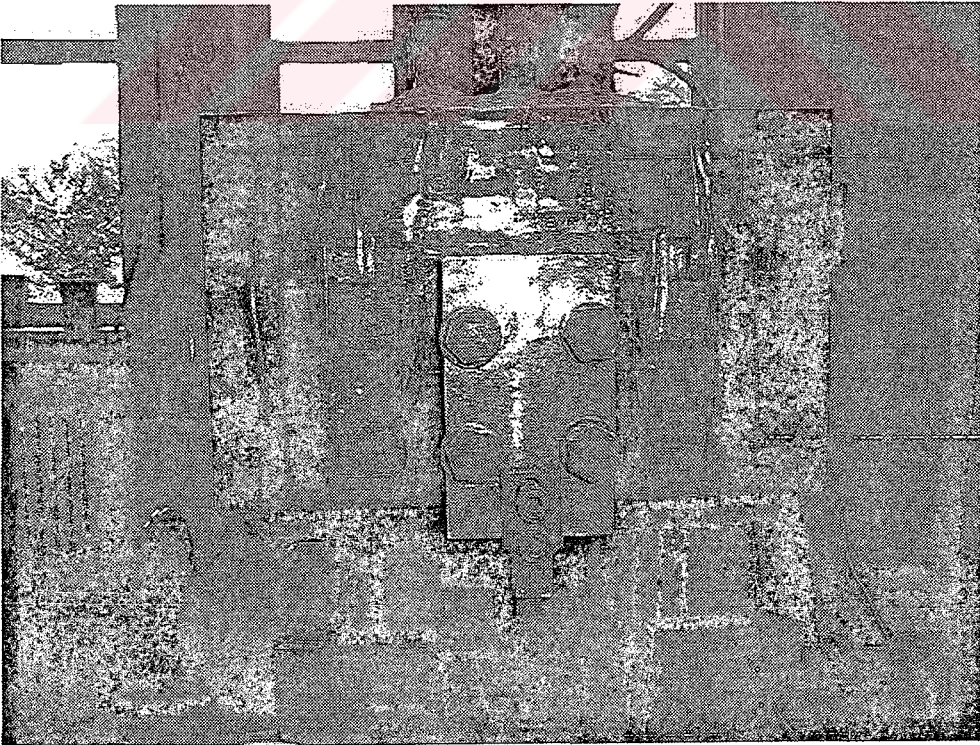
Yanal kuvvetin hesaplanmasında kalibrasyon katsayısı 3 kg/mV bulunmuş ve kesme kuvvetini % 71 , normal kuvveti % 6 oranında etkilemektedir. Yanal kuvvetin kesme üzerindeki etkileşimi beklenilenin üzerinde çıkmıştır. Yeniden yapılan yanal kuvvet kalibrasyonlarında da bu etkileşimin varlığı tespit edilmiş ve sonuçları araştırılmıştır. Normal de yanal kuvvet etkileşiminin %10’u geçmemesi gerekmektedir. Kaya kesme sırasında yanal yöndeki F1 ve ters yöndeki -F2 kuvvetlerin birbirlerini dengelemesi gerekmektedir (Şekil 3.34). Kaya kesme esnasında bu kuvvet dengesi oluşmaz ise kesici kafada kuvvet dengeleri bozulmakta ve titreşimler artmaktadır. Mekanize kazı makinalarına, köşe kesiciler ve asimetrik kaya kesmelerin dışında yanal kuvvet gelmemektedir. Bu nedenle yanal kuvvetlerin diğer kuvvetlere olan etkileşimi önemli olmaktadır. Bu çalışmada köşe kesicileri ile ilgili araştırma yapılmadığından üç eksenli kuvvet ölçerin bu şekilde kullanılmasına karar verilmiştir. Yanal kuvvetin kesme ve normal kuvvetleri beklenilenin üzerinde etkilemesinden dolayı bu etkileşimler kesme ve normal kuvvet üzerine eklenmiş veya çıkarılmıştır.



Şekil 3.34 Kaya kesme işlemi sırasında açığa çıkan yanal kuvvetler

3.5 Kalibrasyon Adaptörünün Kesilmesi ve Yeniden Yapılan Kalibrasyonlar

Kesici ucun kesme adaptörüne takılabilmesi için kesme adaptörü tornada işlenmiş ve yapılan kalibrasyonlarda en az etkileşimin olduğu nokta bulunduktan sonra bütün kalibrasyonlar yeniden yapılmıştır. Şekil 3.35’de görüldüğü gibi, kesici uç kesme adaptörüne takılmıştır.



Şekil 3.35 Kesici ucun üç eksenli kuvvet ölçere yerleştirilmesi

3.5.1 Kesme kuvvetinin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyonu

Kesme kuvvetinin hesaplanabilmesi için daha önceden kalibrasyon adaptörü ile yapılan kalibrasyon sonuçları, ölçme sisteminin kullanılabilirliği hakkında bilgi vermiştir. Kaya kesme işlemine başlamadan önce kesici uç ölçme sistemine yerleştirilmiş ve kalibrasyon işlemi yeniden yapılarak gerçek sonuçlar bulunmuştur. Tablo 3.17 ve 3.18’de kesme kuvvetinin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyon sonuçları ve kuvvet etkileşimleri verilmiştir. Deneyler ikişer defa tekrarlanmıştır.

Tablo 3.17 Kesici uç takıldıktan sonra yapılan kesme kuvveti kalibrasyonu sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	1.68	1.71	0.64	0
109.66	-10.89	106.34	1.76	1.03
219.31	-19.56	203.50	4.28	1.08
328.97	-26.79	306.79	6.72	1.07
438.62	-29.02	421.72	8.63	1.04
548.28	-14.23	513.29	10.48	1.07
657.93	-4.50	577.30	9.43	1.14
767.59	3.33	650.49	8.74	1.18
877.24	14.89	722.78	8.46	1.21
986.90	23.48	804.52	8.92	1.23
1096.55	34.64	882.83	8.44	1.24
			Ort	1.129

Tablo 3.18 Kesici uç takıldıktan sonra yapılan ikinci kesme kuvveti kalibrasyon sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	1.29	1.70	0.1	0
109.66	-0.30	98.95	1.6	1.11
219.31	-6.30	199.29	1.1	1.10
328.97	-12.99	302.99	2.0	1.09
438.62	-17.86	401.35	3.2	1.09
548.28	-16.76	484.03	4.4	1.13
657.93	-7.26	544.91	4.4	1.21
767.59	0.12	615.36	5.1	1.25
877.24	5.27	692.62	5.6	1.27
986.90	11.16	774.14	6.6	1.27
1096.55	16.84	856.92	8.0	1.28
1206.21	25.92	924.51	9.5	1.30
			Ort	1.191

Kesme kuvvetinin hesaplanabilmesi için kalibrasyon katsayısı 1.16 kg/mV, normal ve yanal kuvvete etkisi beklenen sınırlar içerisinde kalmıştır.

3.5.2 Normal kuvvetin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyonu

Kesici uç takıldıktan sonra normal kuvvetin kalibrasyonu tekrar yapılmış ve kalibrasyon sonuçları ile diğer kuvvetlere etkileşimi Tablo 3.19’da verilmiştir.

Tablo 3.19 Kesici uç takıldıktan sonra yapılan normal kuvvet kalibrasyon sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Normal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	0.39	-0.54	1.9	0
109.66	107.37	-6.53	-17.2	1.02
219.31	223.15	-11.50	-34.5	0.98
328.97	335.44	-10.40	-41.0	0.98
438.62	447.52	-7.94	-40.5	0.98
548.28	558.21	-4.17	-31.0	0.98
657.93	669.07	3.92	-13.9	0.98
767.59	781.70	10.46	9.4	0.98
877.24	892.24	12.08	31.9	0.98
986.90	1012.43	12.86	45.9	0.97
1096.55	1129.81	7.33	60.6	0.97
			Ort	0.984

Normal kuvvetin hesaplanabilmesi için kalibrasyon katsayısı 0.984 kg/mV, normal ve yanal kuvvete etkisi beklenen sınırlar içerisinde kalmıştır.

3.5.3 Yanal kuvvetinin kesici uç takıldıktan sonraki kalibrasyonu

Yanal kuvvetin daha önce yapılan kalibrasyonlarında diğer kuvvetlerle etkileşimi yüksek çıkmıştır. Bu nedenle yanal kuvvetin kalibrasyonu Şekil 3.35’de verilen F1 ve -F2 kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için yüklemeler kesici ucun solundan ve sağından yapılmıştır.

3.5.3.1 Sol taraftan yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu

Yanal yöndeki yükler üç eksenli kuvvet ölçerin solundan verilerek üç kez yapılmış ve sonuçları Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.20 Kesici uç takıldıktan sonra yapılan yanal kuvvet kalibrasyon sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	-0.65	1.96	1.39	0
109.66	8.58	-31.22	65.16	1.68
219.31	21.76	-76.20	136.97	1.60
328.97	28.45	-119.12	218.78	1.50
			Ort	1.60

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	-1.56	-1.49	-2.23	0
109.66	12.42	-46.07	71.32	1.54
219.31	23.88	-90.89	143.12	1.53
328.97	28.16	-136.91	222.10	1.48
			Ort	1.52

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	0.65	-0.92	1.07	0
109.66	13.96	-40.12	67.53	1.62
219.31	26.07	-84.31	142.38	1.54
328.97	35.35	-133.51	225.70	1.46
			Ort	1.54

Sol taraftan yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu üç deneyin ortalaması alındığında 1.55 kg/mV, normal kuvvet üzerindeki etkisi %16 ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi %58 bulunmuştur.

3.5.3.2 Sağ taraftan yapılan yanal kuvvetin kalibrasyonu

Yanal yöndeki yükler üç eksenli kuvvet ölçerin sağından verilerek üç kez yapılmış ve sonuçları Tablo 3.21’de verilmiştir.

Tablo 3.21 Kesici uç takıldıktan sonra yapılan yanıl kuvvet kalibrasyon sonuçları

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	-1.60	2.08	-1.43	0
109.66	-15.14	24.80	-65.35	-1.68
219.31	-24.55	43.65	-122.09	-1.80
328.97	-30.19	55.63	-167.31	-1.97
			Ort	-1.81

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	0.18	-0.98	1.18	0
109.66	-7.97	16.77	-65.49	-1.67
219.31	-18.21	40.18	-117.66	-1.86
328.97	-21.92	48.49	-167.59	-1.96
			Ort	-1.83

Yük(kg)	Normal Kuvvet (mV)	Kesme Kuvveti (mV)	Yanal Kuvvet (mV)	Yanal Kuvvet Kalibrasyon Katsayısı (kg/mV)
0.00	2.66	-1.16	-0.28	0
109.66	-9.29	18.44	-68.05	-1.61
219.31	-18.87	37.37	-119.91	-1.83
328.97	-26.58	52.64	-165.19	-1.99
			Ort	-1.81

Sağ taraftan yapılan yanıl kuvvetin kalibrasyonu üç deneyin ortalaması alındığında - 1.82 kg/mV, normal kuvvet üzerindeki etkisi %15 ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi %32 olarak bulunmuştur.

4 KAYALARIN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada kullanılan kayalar sedimentar, metalik cevher ve tüfler olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Sedimentar kayaçları temsilen; Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçlarını en iyi temsil eden 5 farklı kayadan örnekler alınmıştır. Bunlar Kireçtaşı, Kumtaşı 1, Kumtaşı 2, Kumtaşı 4 ve Silttaşı 5 olarak adlandırılmıştır [58]. Metalik cevher ve yan kayaçlarını temsilen; krom cevherlerinden Tüvenan roş 1, roş 2 ve Kavak cevheri, Harsburgit ve Trona U4 kullanılmıştır [59] . Tüf kayalarını temsilen, Aksaray Hasandağı civarındaki, Acıgöl, Gelveri, Göstüğü, Kızılkaya, Kızılkaya pembe ve Selime üst olarak adlandırılan kayalar kullanılmıştır [60] . Kayaların kazılabilirlik tayininde en önemli parametrelerden biri olan kaya özelliklerinin, mümkün olduğu ölçüde iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kesme deneylerine tabi tutulan kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri detaylı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin toplu sonuçları ise Tablo 4.1'de verilmiştir.

4.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi kazılabilirliğin saptanmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Deneylerde kullanılacak numuneler; çapı ~54 mm ve numune boy çap oranı 2.1–2.5 arasında olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan silindirik numuneler Şekil 4.1'de görülen hidrolik basınç deneyi presinde kırılmıştır. Yükleme hızı olarak 0.5 kN/sn alınmıştır. Kayaların tek eksenli basınç dayanımı kırılmadan önceki basma yükünün numunenin ilk kesit alanına bölünmesi şeklinde ve 4.1 eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [61,62].

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

F : Maksimum kırılma yükü, kg

A : Silindirik numunenin kesit alanı, cm²

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kırılan numunelerden bazılarının fotoğrafları Şekil 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan kayaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin toplu sonuçları [60,76, 77, 83]

Kayaç Adı	Yoğunluk (gr/cm^3)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Statik Elast. Mod. (GPa)	Dinamik Elast. Mod. (GPa)	Vp (km/sn)	Vs ₁ (km/sn)	Vs ₂ (km/sn)	Schmit Çekici N-24 Tipi	Schmit Çekici L-9 Tipi
Acıgöl tüfü	1.49	10.3	0.9	1.1	3.8	2.00	1.82	1.83	28	34
Gelveri tüfü	1.70	10.8	1.2	1.4	5.2	2.12	2.00	1.94	42	45
Göstük tüfü	1.80	26.6	2.6	2.4	7.5	2.56	2.15	2.50	31	40
Kızılkaya tüfü	1.71	14.4	1.5	1.6	5.2	-	-	-	39	42
Kızılkaya pembe tüfü	1.71	18.7	2.3	1.3	6.1	2.40	2.22	2.18	38	58
Selime üst tüfü	1.49	5.7	0.2	0.4	2.8	1.73	1.51	1.53	14	13
Sifa Dragos kilitaşı	2.76	57.9	5.6	-	-	-	-	-	52	58
Kumtaşı 1	2.65	113.6	6.6	17.0	36.5	3.74	2.52	2.32	53	60
Kumtaşı 4	2.67	87.4	8.3	33.3	55.0	5.20	2.80	2.73	52	59
Silttaşı 5	2.65	58.0	5.3	30.0	48.8	4.95	2.67	2.45	48	55
Kireçtaşı	2.72	121.0	7.8	57.0	37.9	3.91	3.01	2.85	55	62
Kumtaşı 2	2.67	173.7	11.6	28.0	62.2	5.33	3.04	2.80	57	63
Tüvenan ros1	4.03	32.2	3.7	3.5	31.2	3.48	3.33	3.11	30	39
Tüvenan ros2	3.39	46.9	4.5	2.3	76.4	5.83	3.41	3.37	43	45
Kavak cevheri	2.88	46.5	3.8	2.9	35.2	4.48	3.13	2.54	43	52
Serpantin	2.49	38.1	5.7	2.3	13.9	2.96	2.48	2.42	52	61
Harsburgit	2.65	57.7	5.5	2.1	16.1	3.14	2.64	2.59	50	61
Trona U4	2.13	29.7	2.2	3.4	38.4	4.93	3.82	3.21	39	39



Şekil 4.1 Tek eksenli basınç ve statik elastik deneylerinin yapıldığı pres



Şekil 4.2 Tek eksenli basınç deneyinde kırılan bazı numuneler

4.2 Dolaylı (Brazilian) Çekme Dayanımı Deneyi

Bu deneyde amaç, kaya numunelerinin tek eksenli çekme dayanımlarını dolaylı olarak, brazilian deneyi ile bulmaktır. Deneylerde numune çapı ~54 mm ve numune boy, çap oranı 0.5-0.75 arasında olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan silindirik numuneler Şekil 4.3’de görülen hidrolik presde kırılmıştır. Yükleme hızı olarak 0.2 kN/sn alınmıştır. Kayaların çekme dayanımı değerleri 4.2 eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [61,63].

$$\sigma_t = \frac{2.F}{\pi.L.D} \quad (4.2)$$

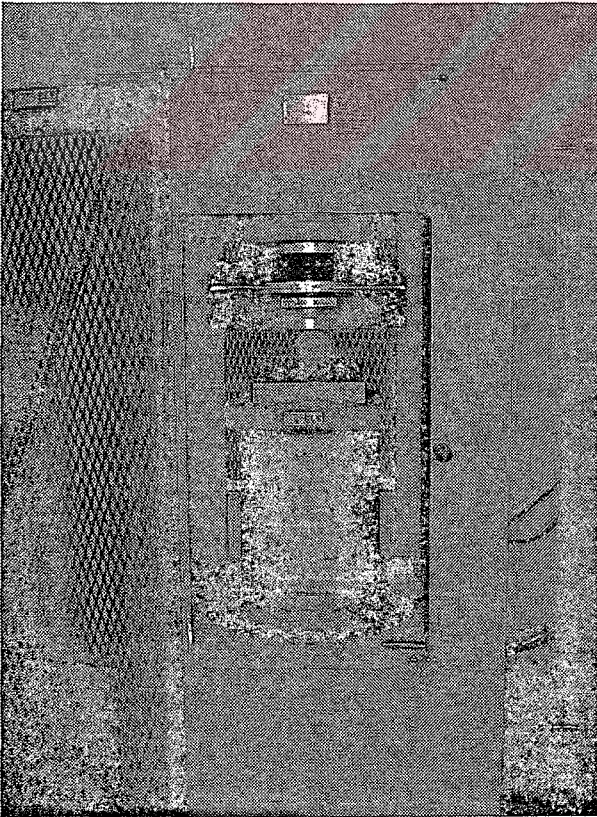
σ_t : Çekme dayanımı, kg/cm²

F : Maksimum kırılma yükü, kg

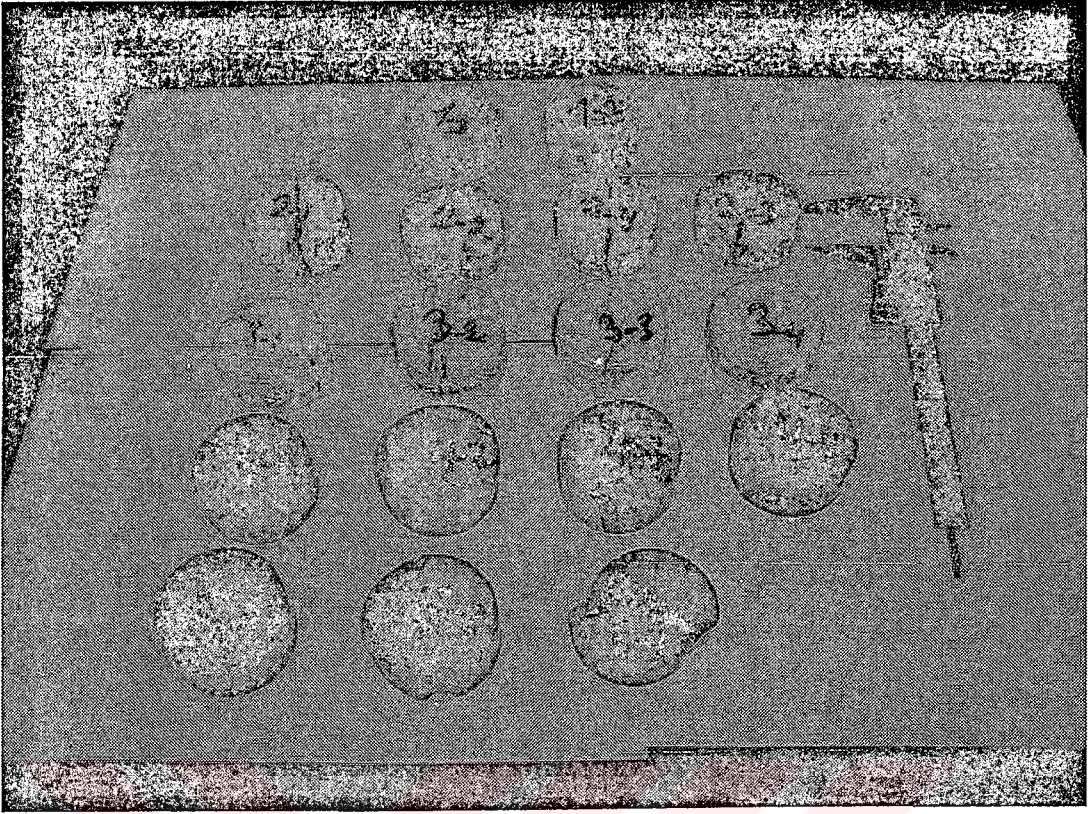
L : Silindirik numunenin boyu, cm

D : Silindirik numunenin çapı, cm

Çekme dayanımı deneyinde kırılan numunelerden bazılarının fotoğrafları Şekil 4.4’de görülmektedir.



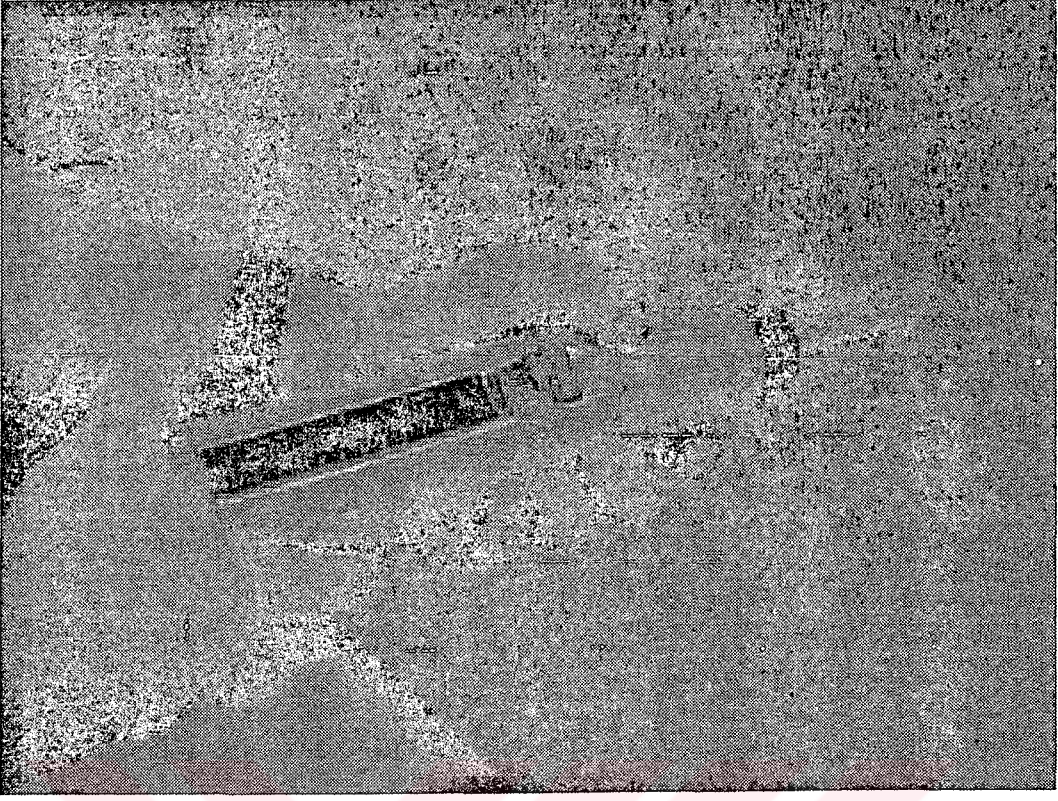
Şekil 4.3 Çekme dayanımı deneylerinin yapıldığı pres



Şekil 4.4 Çekme dayanımı deneyinde kırılan bazı numuneler

4.3 Geri Tepmeli (Schmidt Çekici) Çekiç Deneyi

Betonun basınç dayanımının saptanması için geliştirilmiş; silindirik kapalı bir kutu içinde bulunan, yay, çekiç, ve çekici kurma düzeneğinden oluşan cihaz geri tepmeli (Schmidt Çekici) çekiç olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.5). Kolay sonuç alınabilir oluşundan dolayı araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Ölçme sırasında alet gövdesi dik olarak kaya üzerine bastırılır. Yay vasıtasıyla hareket kazanan çekiç darbeyi kayaca ileten uca çarpar ve geri zıplar. Zıplama mesafesi yüzeyin sertliğine bağlı olarak alet üstünde yer alan ibreden okunur. Ölçmenin yapılacağı yüzey pürüzsüz, kuru ve temiz olmalıdır. Geri tepmeli çekiç ile nasıl ölçüm alınacağına dair birçok araştırmacı tarafından yayımlanmış araştırma mevcuttur [67-69]. Bu çalışmada N-24 ve L-9 tipi iki farklı geri tepmeli çekiç kullanılarak deneyler yapılmıştır. N-24 tipi çekiç 2.207 Nm, L-9 tipi çekiç ise 0.735 Nm geri tepme enerjisine sahiptir. Bu nedenle, iki tip çekikle aynı kaya üzerinde ayrı ayrı deney yapıldığında farklı sonuçlar alınmaktadır. Bu konuda ayrıntılı çalışmalar Ayday ve Gökten tarafından yapılmıştır [70]. Bu çalışmada farklı üç yöntem kullanılarak geri



Şekil 4.5 Schmidt Çekicinin görününü

tepmeli çekiç sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı yöntem aşağıda açıklanmıştır.

- Yöntem I

Bu yöntemde geri tepmeli çekiç ile kaya üzerindeki bir noktaya ardı sıra beş adet vuruş yapılır ve en yüksek değer bulunur. Bu işlem kaya üzerindeki farklı üç noktada tekrarlanır ve bulunan üç yüksek değer aritmetik ortalaması geri tepmeli çekiç sonucunu verir.

- Yöntem II

Bu yöntemde geri tepmeli çekiç ile kaya üzerindeki bir noktaya ardı sıra on adet vuruş yapılır ve en yüksek değer bulunur. Bu işlem kaya üzerindeki farklı üç noktada tekrarlanır ve bulunan üç yüksek değer aritmetik ortalaması geri tepmeli çekiç sonucunu verir.

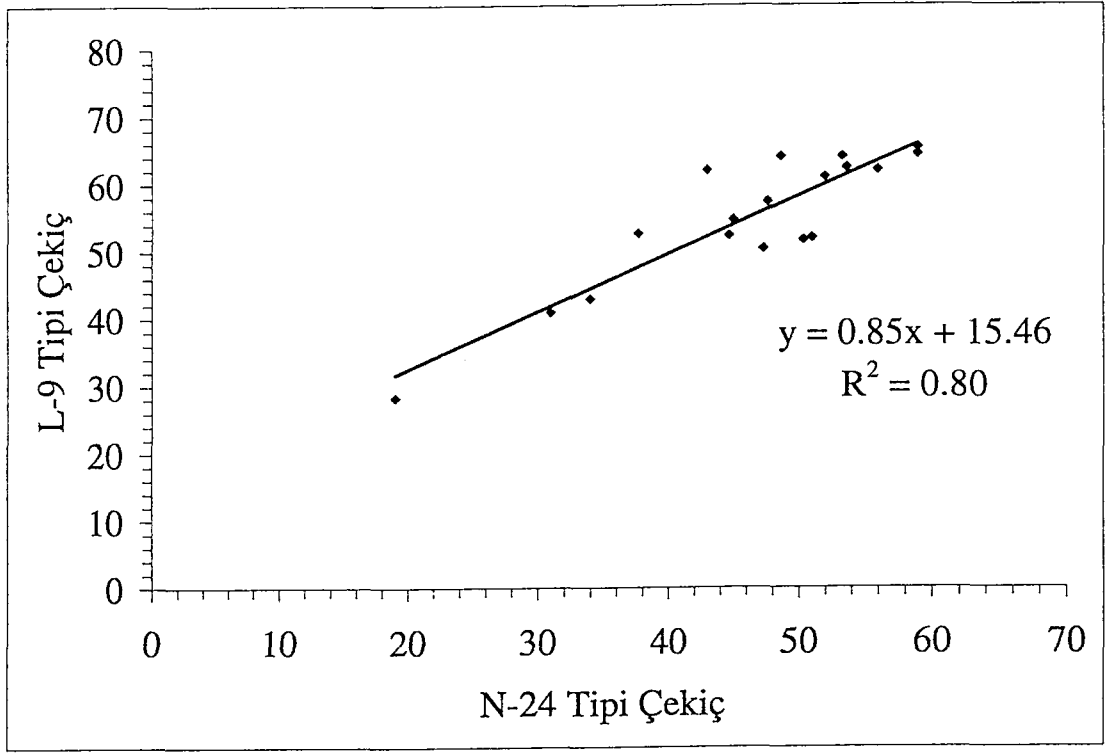
- Yöntem III

Bu yöntemde geri tepmeli çekiç ile kaya üzerindeki farklı noktalara yirmi adet vuruş yapılır ve en yüksek 10 adet okumanın aritmetik ortalaması geri tepmeli çekiç sonucunu verir. Vuruş yapılan noktalar arası uzaklık, geri tepmeli çekiç ucunun en az çapı kadar olmalıdır. Toplu sonuçlar aşağıda Tablo 4.2’de verilmiştir

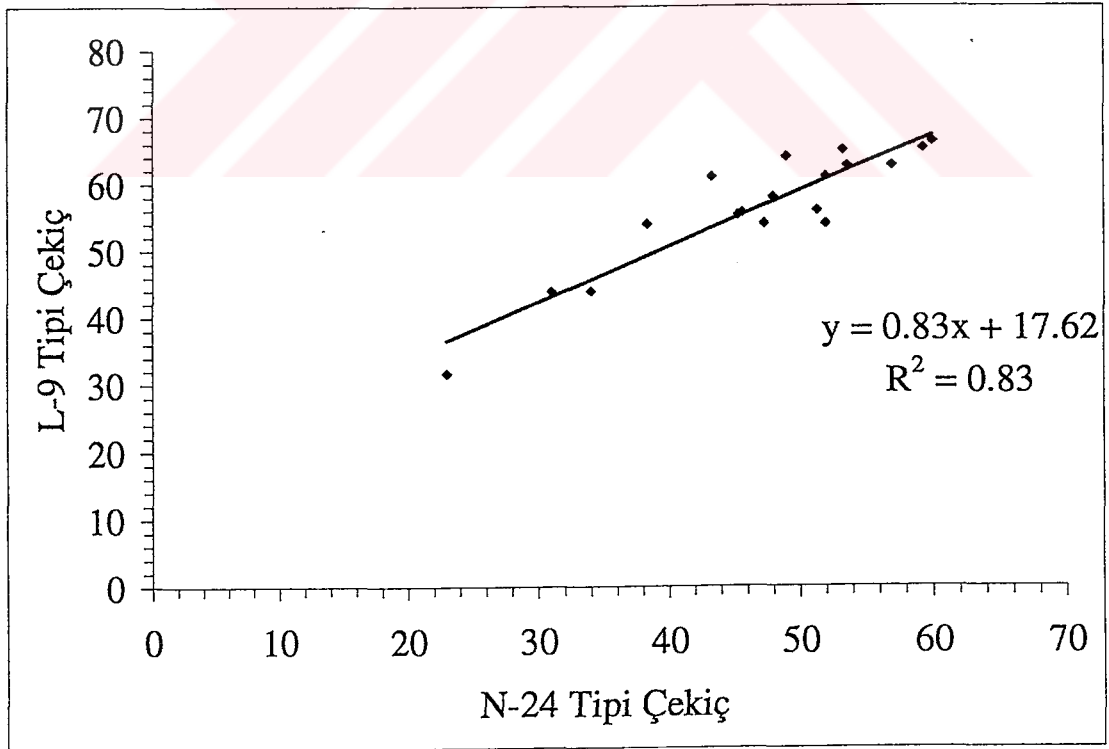
Tablo 4.2 Üç ayrı yöntemden elde edilen N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçları

Kaya Adı	Yöntem I		Yöntem II		Yöntem III	
	N24	L-9	N24	L-9	N24	L-9
Acıgöl tüfü	31	41	31	44	28	34
Gelveri tüfü	50	52	51	56	42	45
Götük tüfü	38	53	38	54	31	40
Kızılkaya tüfü	45	55	46	56	39	42
Kızılkaya pembe tüfü	43	62	43	61	38	58
Selime üst tüfü	19	28	23	32	14	13
Stfa dragos kıltaşı	56	62	57	63	52	58
Kumtaşı 1	54	62	54	63	53	60
Kumtaşı 4	53	64	53	65	52	59
Silttaşı 5	48	57	48	58	48	55
Kireçtaşı	59	64	60	66	55	62
Kumtaşı 2	59	65	59	65	57	63
Tüvenan roş1	34	43	34	44	30	39
Tüvenan roş2	47	50	47	54	43	45
Kavak cevheri	45	52	45	55	43	52
Serpantin	52	61	52	61	52	61
Harsburgit	49	64	49	64	50	61
Trona U4	51	52	52	54	39	39

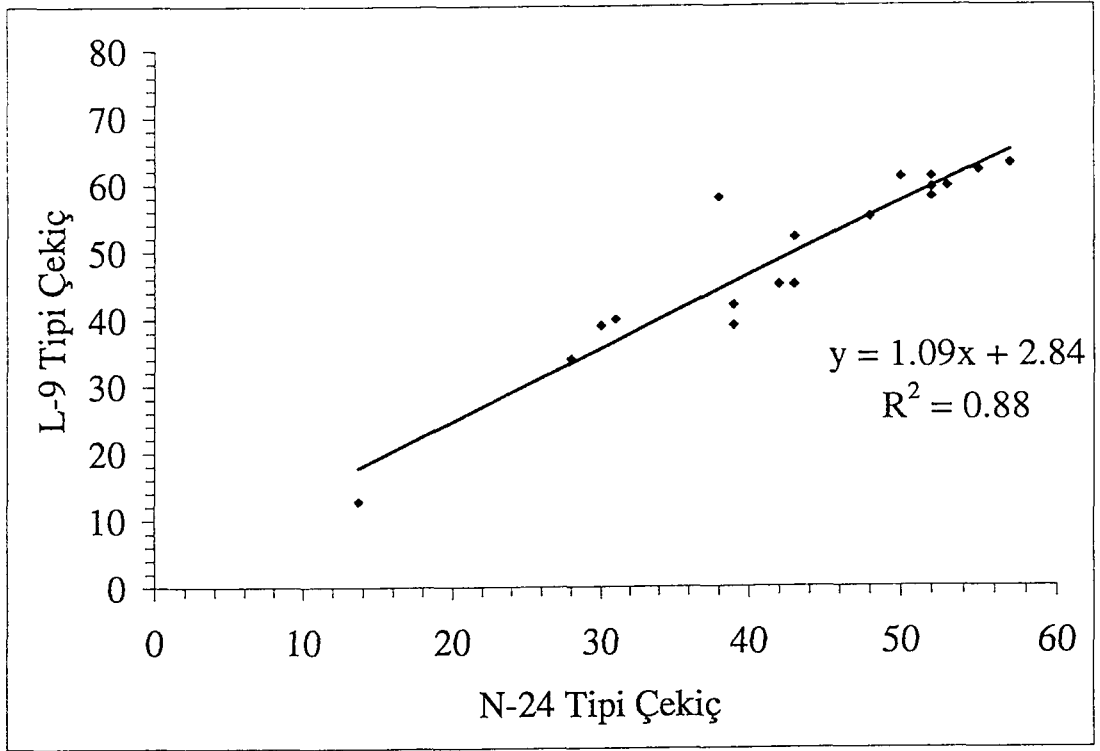
N-24 ve L-9 tipi iki farklı geri tepmeli çekiç kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İstatiksel olarak incelendiğine üç numaralı yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlardan en yüksek korelasyon katsayısı bulunmuştur. İstatistiksel sonuçlar sırası ile Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8’de görülmektedir. N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçları karşılaştırılmış; yöntem I / yöntem II, yöntem I / yöntem III, ve yöntem II / yöntem III oranları sırası ile N-24 tipi için 0.98, 1.11 ve 1.13, L-9 tipi için 0.97, 1.18 ve 1.22 bulunmuştur. Bu çalışmada üç numaralı yöntemden elde edilen geri tepmeli çekiç sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 4.6 Yöntem I ile yapılan N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiş sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.7 Yöntem II ile yapılan N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiş sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.8 Yöntem III ile yapılan N-24 ve L-9 tipi geri tepmeli çekiç sonuçlarının karşılaştırılması

4.4 Sismik Hız Deneyi

Yeriçinde yayılan dalgaları; boyuna ve enine dalgalar olmak üzere iki ana alt başlık altında gruplandırabiliriz. Boyuna dalgalar genellikle P dalgası şeklinde ifade edilirler ve sıkışma ya da ilk dalgalar olarak bilinirler. Bu dalgaların yayılımı sırasında kübik genleşme veya hacim değişikliği (deformasyon) olur. Boyuna dalgalarda sıkışma veya genleşmeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayılımı doğrultusu ile aynıdır. Enine dalgalar S şeklinde ifade edilirler ve enine dalgaların yayılımı sırasında elemanlarda şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni dalga yayılımında parçacıkların titreşim doğrultusunun, dalga yayılımı doğrultusuna dik olmasındandır. S dalgalarının yayılımında enine olan parçacık salınımı yatay düzlem üzerinde ise dalga SH adını alır, eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa SV dalgası olarak adlandırılırlar [71].

P ve S dalgalarının ölçümünde laboratuvar ölçeğinde kayalar için geliştirilmiş dijital göstergeli CNS Elektronik Şirketi (London , U.K.) tarafından üretilen PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) deney aleti kullanılmıştır [72]. Standartlara uygun olarak çapı 54 mm, boy/çap oranı 2 olan

numuneler hazırlanmış ve her iki yüzeyi paralel olacak şekilde elmas uçlu testere ile düzeltilmiştir. Bu numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları laboratuvarında ölçülmüştür.

Deneylerde P ve S dalgalarını ölçmek için kullanılabilecek sistemin blok diyagramı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Yukarıda belirtilen özelliklere sahip numuneler sinyal üreten alıcı ve vericinin arasına konulur. Kaya ile sinyal üreticisinin arasına 0.0038 cm kalınlığında kurşun folyo koyularak temas yüzeyinin daha sağlam olması sağlanır. BNC soketlere şekilde gösterilen kablolar bağlanır. Hazırlanan bu set eksenel yükü sabit verebilen tek eksenli basınç deneylerinin de yapıldığı presin arasına konularak 200 kg'lık sabit yükü yüklenir. Çıkan sinyaller iki kanallı osiloskop yardımı ile görülebilmektedir. Hangi tip dalga hızı ölçülecekse anahtar yardımı ile bu seçilir ve dalganın geçiş zamanı aralığı ile ayar yapılarak seçilen dalga hızının başlama noktasındaki geçiş zamanı dijital göstergeden okunur. Numunenin içerisinden geçen hız, 4.3 ve 4.4 eşitlikleri ile hesaplanır [73,74].

$$V_p = d \cdot t_p^{-1} \quad (4.3)$$

$$V_{s1,s2} = d \cdot t_s^{-1} \quad (4.4)$$

Burada d numunenin boyu (km), t ise sinyalin geçiş hızını (sn) göstermektedir. Ölçüm sonuçlarından yararlanılarak 4.5 eşitliği yardımı ile dinamik elastik modül değerine geçilmektedir. Yapılan deneylerin dinamik elastik modül değerlerinin hesaplanmasında bu formül kullanılmıştır.

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (4.5)$$

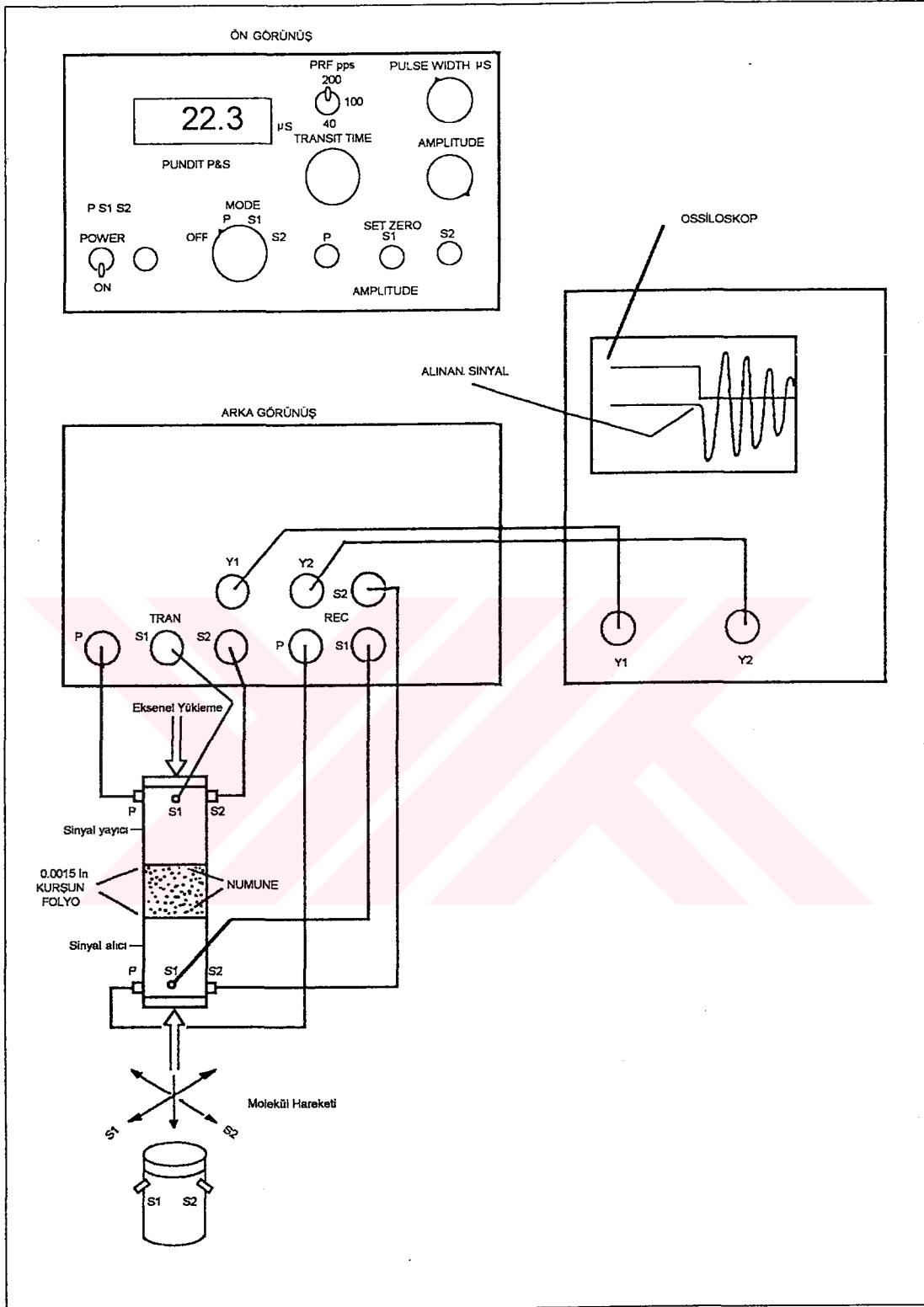
burada;

E_d : Dinamik elastik modül, MN/m²

ν : Poisson oranı

ρ : Yoğunluk, kg/m³

V : P dalgası hızı, km/sn



Şekil 4.9 Deney setinin tanıtılması ve bağlantı düzeneği

4.5 Elastik Modül Deneyi

Statik elastik modül değerlerinin hesaplanabilmesi için tek eksenli deneylerin yapıldığı pres kullanılmıştır. Boy değişimlerinin belirlenmesi milimetrik kağıda çıktı alınmış ve bunlar yardımı ile gerilme-birim deformasyon eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler yardımı ile tanjant elastik modül değerleri hesaplanmıştır [61,75].

4.6 Yoğunluk Deneyi

Tek eksenli basınç deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan kaya numuneleri hassas terazide tartılarak numunelerin ağırlıkları bulunmuştur. Numunelerin hacimleri hesaplanmış ve buradan kayaların yoğunlukları hesaplanmıştır.



5 SPESİFİK ENERJİNİN TAYİNİ VE KAYA KESME DENEYLERİNİN YAPILMASI

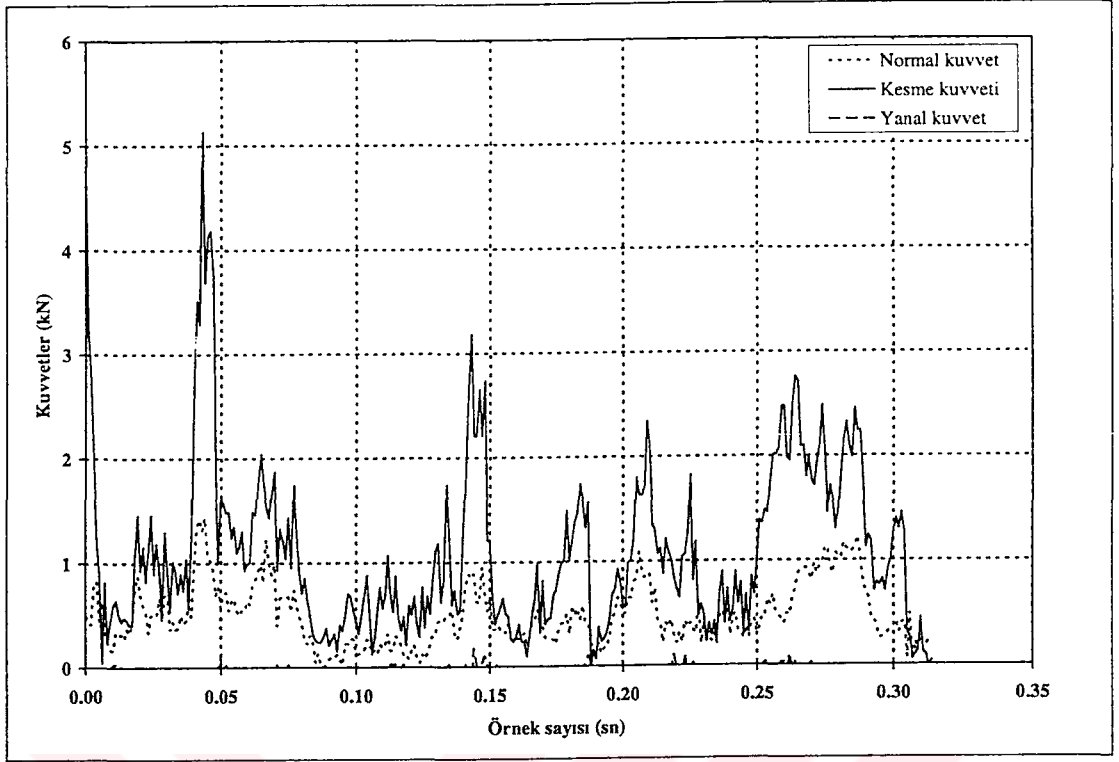
Kollu galeri açma, tam cepheli kazı makinalarının, ve sürekli yüzey kazıyıcıların üretim kapasitesi ve performanslarının kestirilmesinde en çok kullanılan ve kabul gören yöntemlerden biri laboratuvar spesifik enerji değeridir [76,77]. Spesifik enerji birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan enerji olarak tanımlanmakta ve kWh/m³ veya MJ/m³ birimleriyle ifade edilmektedir. Laboratuvar spesifik enerji değeri, küçük boyutlu ve tam boyutlu doğrusal kazı seti olmak üzere, iki farklı kaya kesme deney seti kullanılarak elde edilebilmektedir. Her iki yöntemde de kazı yapılacak formasyonlardan numuneler alınmakta, bu numuneler laboratuvar da elektronik ölçme sistemleri ile donatılmış deney setlerinde kazı mekaniği prensiplerine uygun olarak kesilmektedir. Burada amaç bir keskiye gelen kuvvetlerin ölçülmesi ve birim spesifik enerjinin bulunmasıdır. Küçük boyutlu ve tam boyutlu doğrusal kazı setinde yapılan kaya kesme deneylerinden yararlanılarak spesifik enerji 5.1 eşitliği yardımı ile hesaplanmıştır [78].

$$SE = \frac{FC_{ort}}{Q} \quad (5.1)$$

Burada

FC_{ort} (kN); Ortalama kesme kuvveti; kesme doğrultusunda keskiye gelen tüm kuvvetlerin ortalamasıdır. Kaya kesme deneyleri sırasında keskiye gelen kuvvetler Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Kesme esnasında kayacı bir parça kopana kadar keski kuvveti artmakta, kayacı koptuktan sonra kuvvet azalmakta ve tekrar artmaktadır. Maksimum kuvvetlerin ortalaması maksimum pik kuvvetleri, eğrinin altında kalan kuvvetlerin ortalaması ise ortalama kuvvetleri vermektedir.

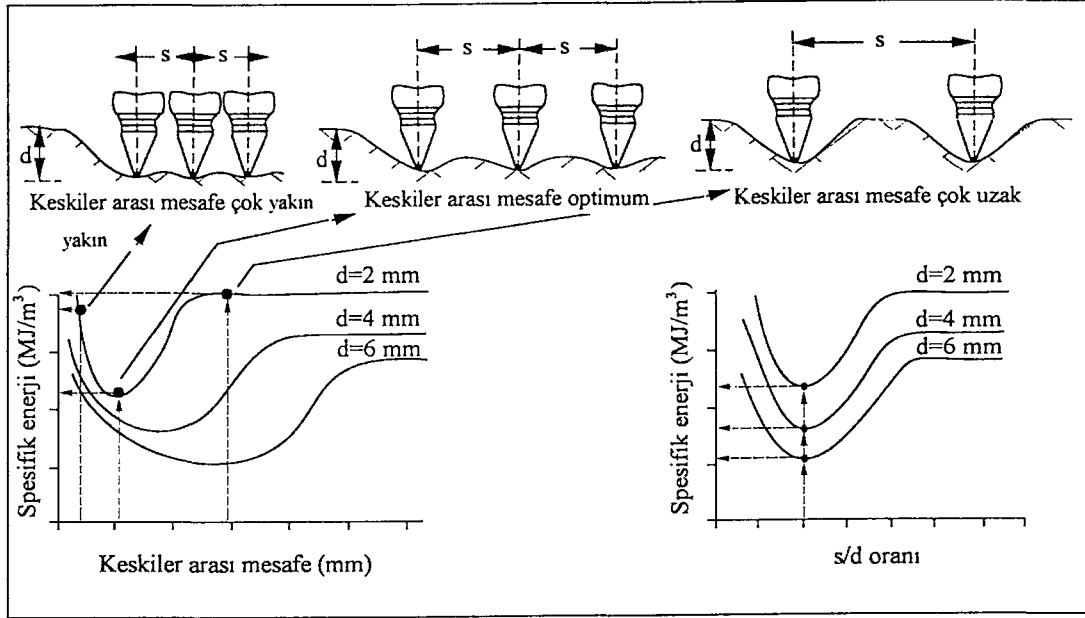
Q (m³/km) Birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa hacmidir. Kaya kesme deneyleri esnasında her bir kesme için ortaya çıkan pasa hassas terazide tartılmaktadır. Kayacın yoğunluğu bilindiğine göre pasa hacmi hesaplanabilmektedir.



Şekil 5.1 Kaya kesme deneyleri sırasında keskiye gelen kuvvetlerin görünümü

SE (MJ/m^3) Spesifik enerji; birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan enerjidir. Spesifik enerji değerleri küçük ve tam boyutlu olmak üzere her iki deney setinde de kesme derinliği (d) ve keskiiler arası mesafeye bağlı olarak hesaplanmıştır. Kazı makinalarının kesici kafasındaki keskiiler, kayaç kesme esnasında birbirlerini etkileyerek kazı işlemini yapmaktadırlar. İki keski arasında öyle optimum bir mesafe vardır ki (s) bu mesafede keskiiler arasında kalan kayaç kırılmaktadır. Burada kesme derinliğine bağlı olarak optimum bir keskiiler arası mesafe vardır ve s/d oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değerde spesifik enerji değeri minimum olmaktadır. Belli bir s/d oranından sonra keskiiler birbirlerini etkilememekte (yardımsız) ve spesifik enerji değeri maksimum olmaktadır (Şekil 5.2).

Bu iki yöntemin de kendi aralarında avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Tam boyutlu kesme deneyinde kullanılan keskiiler, kazı yapan makinalarda kullanılan gerçek boyutlu keskiiler ile aynıdır. Kesme işlemine tabi tutulacak numuneler en az 1 m x 1 m x 0.6 m boyutlarında olması gerekmektedir. Küçük boyutlu kesme setinde silindirik karot veya 30 cm x 40 cm x 50 cm'lik küçük blok numuneler kullanılmakta ve bu numuneler endüstriyel boyutlu keskiilerle değil, indeks özellikleri olan keskiilerle laboratuvarında kesilmektedir.



Şekil 5.2 Keskiler arası mesafe ile optimum spesifik enerji s/d arasındaki hipotetik eğri [79]

Bu yöntemin en büyük avantajı, deneyin karot numuneler üzerinde yapılabilmesi ucuz ve jeoteknik raporlarda standart deney olarak yer almasıdır. Ancak, kullanılan keskinin gerçek boyutlu keskin olmayışı, kayaç kütlesi özelliklerini ve aynaya aktarılabilecek kesme gücünü tam yansıtmadığı için bu yöntem eleştirilmektedir.

Formasyonu temsil edecek olan numunenin bulunması, yerinden çıkartılması ve laboratuara taşınması bazen mümkün olmamaktadır. Özellikle mostra vermeyen cevherlerde ve derin yeraltı yapılarında açılacak olan tünellerde bu tür numuneleri sağlamak bazen de olanaksızlaşmaktadır. Böyle durumlarda sondaj numunelerinin kullanılabildiği küçük boyutlu kazı deney setleri ile kesme deneyleri yapılmaktadır. Her iki kazı deney setinden de aşağıdaki deney sonuçlarını elde etmek mümkündür. Bunlar;

Ortalama pik kesme kuvveti ($F'C$): kesme doğrultusunda keskiye gelen maksimum kuvvetlerin ortalamasıdır.

Ortalama pik normal kuvveti ($F'N$): kesme doğrultusunda keskiye gelen maksimum kuvvetlerin ortalamasıdır.

Ortalama normal kuvvet (FN): kesme doğrultusunda keskiye gelen tüm kuvvetlerin ortalamasıdır.

Her iki deney setinden de spesifik enerjiye bağlı olarak makina performansını önceden kestirmek mümkündür. Tam boyutlu kesme setinde kullanılan keskinin

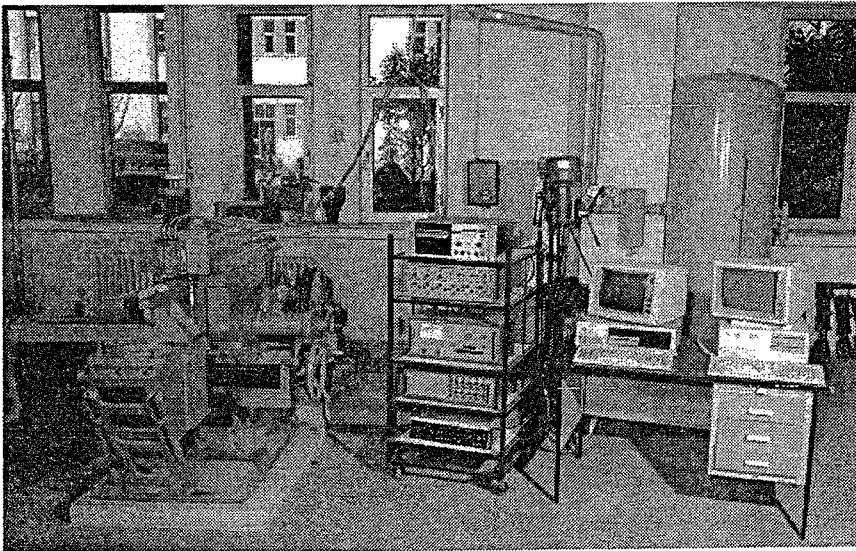
gerçek boyutlu keskiler olması performans tahminini daha güvenilir bir hale getirmektedir. Ancak tam boyutlu kesme deney seti için numune bulmanın zorluğu, deney sisteminin karmaşık ve pahalı oluşu bu sistemin başlıca dezavantajı olmaktadır.

Spesifik enerjinin tespiti her iki kazı setinden de elde edilebildiğine göre, tam boyutta yapılan deneyler ile küçük boyutlu deneyden elde edilen spesifik enerji değerleri karşılaştırılıp, sonuçları incelenmiştir.

5.1 Küçük Boyutlu Kazı Deneyleri

Küçük boyutlu kesme deneylerinin yapılabileceği deney setinin bir benzeri İTÜ Maden Fakültesi Maden Kazı ve Teknolojisi Laboratuvarında mevcuttur. Bu deney seti 18 kW'lık bir elektrik motoru ile tahrik edilen bir planya makinesidir. Planyanın kayaç numunesini alacak sehpa boyutları 30x40x50 cm boyutlarındadır. Kaya kesme esnasında keskiye gelen kuvvetleri ölçmek için Bölüm 3'de özellikleri anlatılan dinamometre kullanılmıştır ve bu sistem 10 tonluk kesme kuvvetinin ölçülmesine olanak tanımaktadır (Şekil 5.3).

Deney esnasında, kayaç numunesi planyanın sehpasına sabitleştirilmekte ve aşağı-yukarı, sola-sağa hareket ettirilerek, kesme derinliği, keskiler arası mesafe gibi parametrelerin etkileri incelenmektedir.



Şekil 5.3 Küçük boyutlu kazı deney seti

Küçük boyutlu kazı setinde yapılan kaya kesme deneylerinden, ortalama normal kuvvet (FN), pik normal kuvvet($F'N$), ortalama kesme kuvveti (FC), pik kesme kuvveti ($F'C$), birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa hacmi(Q) ve spesifik enerji (SE) değerleri bulunmuştur. Küçük boyutlu kazı setinde yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu sonuçları EK A'da verilmiştir.

5.1.1 Küçük boyutlu kazı deneylerinde kullanılacak numunelerin hazırlanması

Kesme deneyine tabi tutulacak her bir numune için, ayrı ayrı numunelerin hazırlanması gerekmektedir. Şekil 5.4'de görülen numune hazırlama makinası kullanılarak küçük boyutlu kazı deneylerine tabi tutulan kayaç numuneleri 25x30x40 cm boyutlarında hazırlanmıştır.

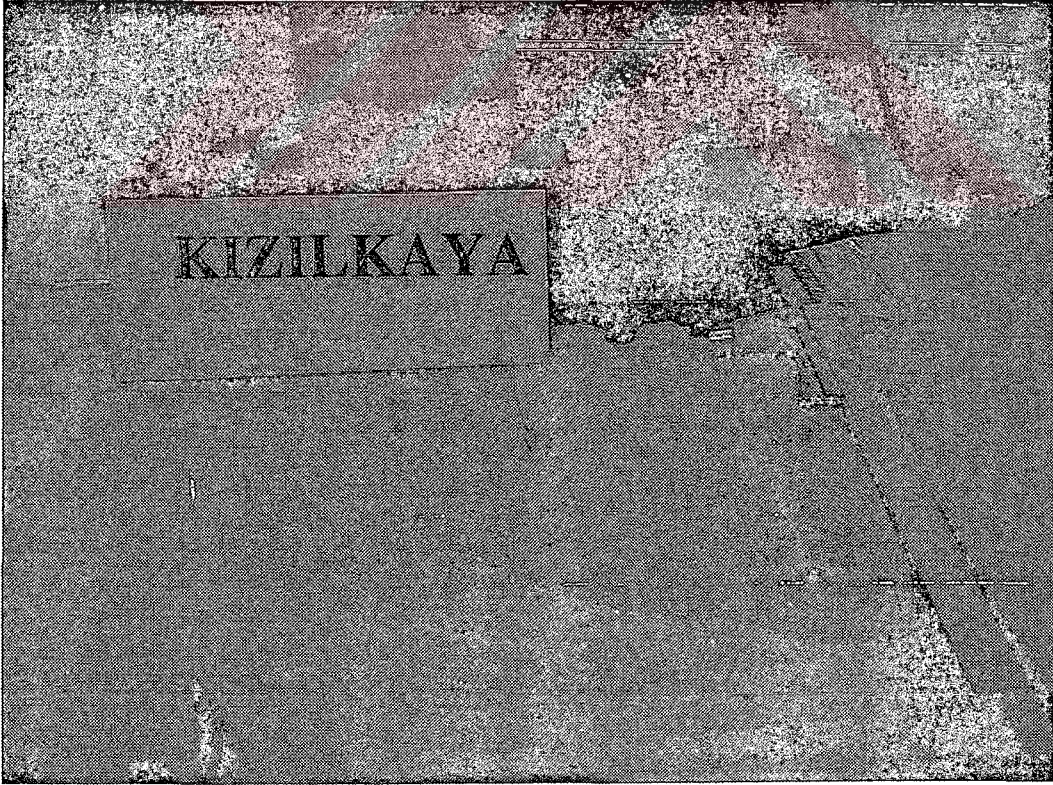


Şekil 5.4 Numune hazırlama makinası

Kaya kesme deneylerinde kullanılan kayaç örneklerinden bazıları Şekil 5.5'de görülmektedir. Ayrıca küçük boyutlu kazı setinde kesme deneyine tabi tutulan Kızılkaya kayacının görünümü Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5 Küçük boyutlu kaya kesme deneylerinde kullanılan numunelerin görünümü

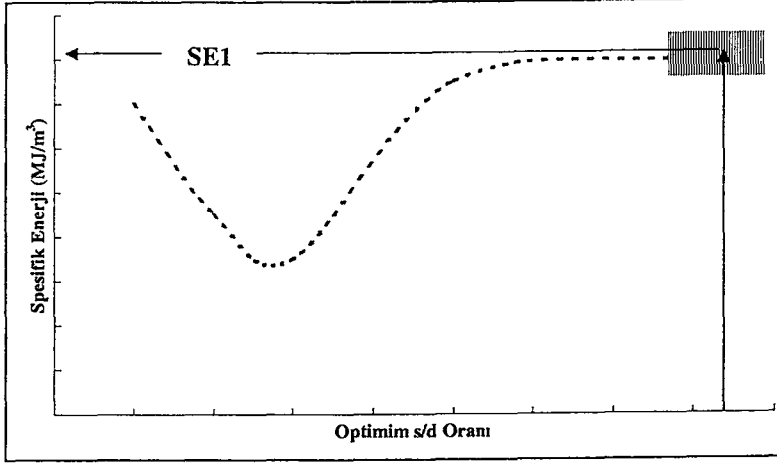


Şekil 5.6 Küçük boyutlu kaya kesme deneyine tabi tutulan kızilkaya kayacı görünümü

5.1.2 Küçük boyutlu kazı deneylerinde kullanılan değişkenlerin tanımı

- Laboratuvar Spesifik Enerji 1 (SE1)

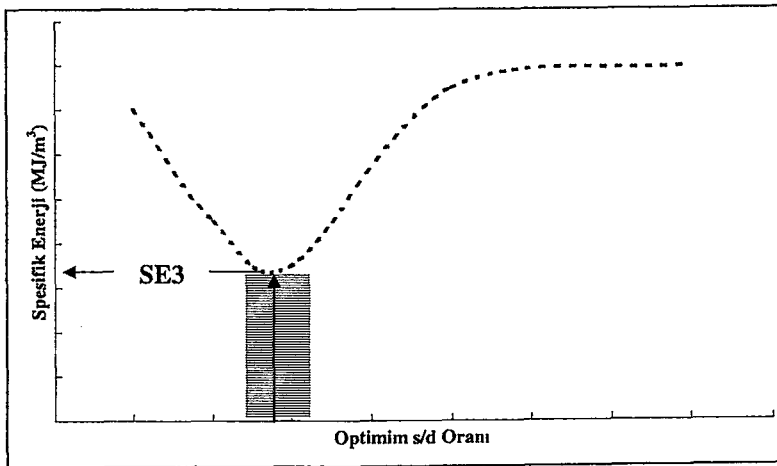
Küçük boyutlu kazı setinde yapılan, $d= 5\text{mm}$ ve $d= 9\text{mm}$ kesme derinliğindeki yardımsız spesifik enerji değerleridir ve SE1 olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride yardımsız spesifik enerjinin tanımı

- Laboratuvar Spesifik Enerji 3 (SE3)

Küçük boyutlu kazı setinde $d= 5\text{mm}$ ve $d= 9\text{mm}$ kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d'deki spesifik enerji değerleridir ve SE3 olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride optimum spesifik enerjinin tanımı

Küçük boyutlu kazı setinde kaya kesme deneylerinden elde edilen SE1 ve SE3 değerlerinin sonuçları Tablo 5.1 de verilmiştir. Tablo 5.1’den görüldüğü gibi 8’den 17’ye kadar sıralanan bazı kayaçların 9 mm kesme derinliğindeki kesme deneyleri yapılamamıştır. Kaya kesme işlemine tutulacak numuneler çok sert ise, 9 mm. kesme derinliğinde yapılacak kaya kesme deneylerinde küçük boyutlu kazı setinin gücü yetmemektedir.

Tablo 5.1 Küçük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin toplu sonuçları

Kayaç Adı		SE1 (MJ/m ³)		SE3 (MJ/m ³)	
		Yardımsız kesme		Yardımlı kesme	
		d= 5 mm	d= 9 mm	d= 5 mm	d= 9 mm
1	Acıgöl tüfü	10.48	9.51	7.23	7.1
2	Gelveri tüfü	15.14	14.37	10.2	8.83
3	Göstük tüfü	26.57	24.25	18.45	17.6
4	Kızılkaya tüfü	15.35	13.8	12.24	7.38
5	Kızılkaya pembe tüfü	28.52	24.82	17.28	15.67
6	Selime üst tüfü	5.48	6.49	4.87	4.11
7	Stfa Dragos kıltaşı	49.72	43.07	32.25	29.54
8	Kumtaşı 1	82.08	-	46.18	-
9	Kumtaşı 4	86.43	-	39.66	-
10	Silttaşı 5	59.10	-	43.87	-
11	Kireçtaşı	70.50	-	50.61	-
12	Kumtaşı 2	67.22	-	63.56	-
13	Tüvenan ros1	7.18	-	5.24	-
14	Tüvenan ros2	27.22	-	23.93	-
15	Kavak cevheri	32.38	-	25.86	-
16	Serpantin	38.69	-	22.74	-
17	Harsburgit	49.20	-	27.43	-
18	Trona U4	19.88	12.93	14.02	9.21

Tablo 5.1’de verilen SE1 ve SE3 spesifik enerji değerlerinin hesaplandığı grafiklerin toplu halde gösterimi EK B’de verilmiştir.

5.1.3 Küçük boyutlu kesme deneylerinden elde edilen pasanın elek analizi

Kazı makinalarının verimliliğini belirleyen etkenlerden biri de kazı sırasında açığa çıkan pasanın irilik boyutuna bağlıdır. Pasa boyutuna bakılarak mekanize kazı makinalarının optimum koşullarda çalışıp çalışmadığına karar verilebilir. Optimum koşullarda spesifik enerji değerinin düşük olması beklenir ki bunun göstergelerinden birisi pasa boyutudur. Kazı sırasında çıkan pasanın boyutu çok düşük ve yüksek miktarda tozdan oluşuyorsa mekanize kazı makinaları kayacı kesmeden çok öğütmeye çalışmaktadır. Bu durumda mekanize kazı makinaları yüksek enerji tüketmektedir.

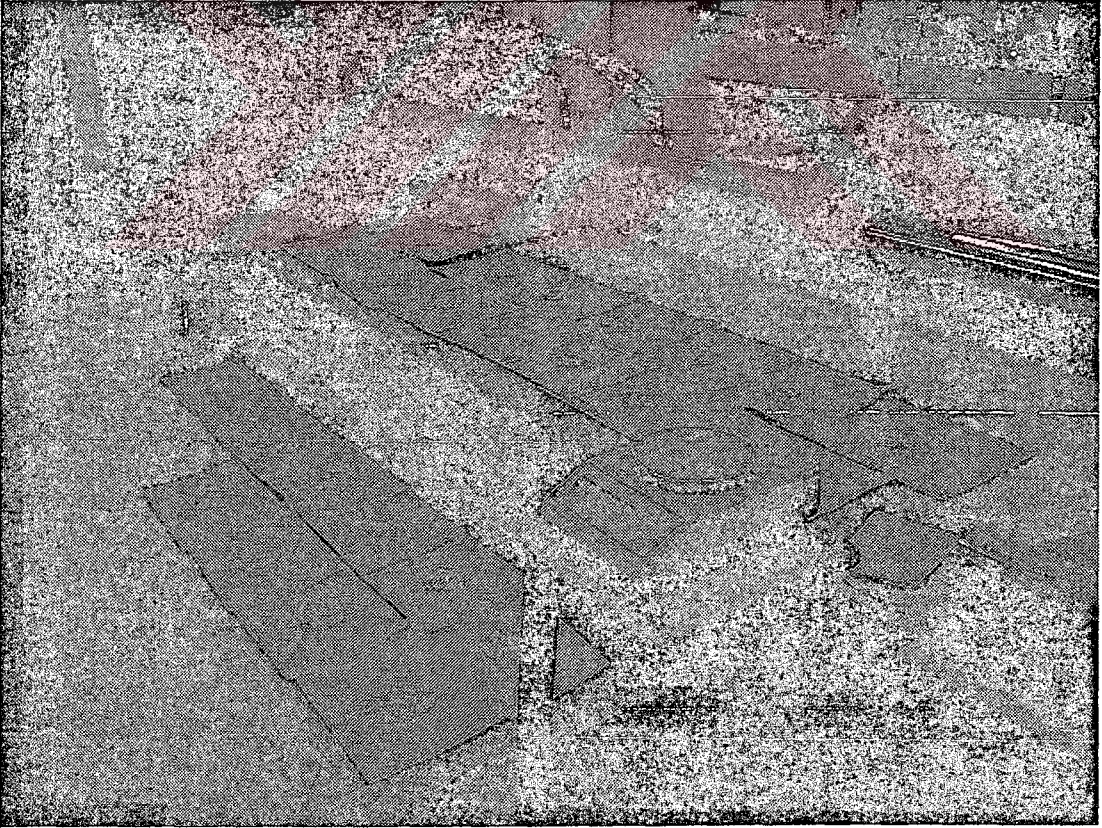
Küçük boyutlu kaya kesme deneylerinden elde edilen pasanın elek analizleri kesme derinliği 5 ve 9 mm.'de yapılarak pasa irilik katsayıları bulunmuştur [10]. Elek analizinde kullanılan eleklerin elek açıklıkları sırası ile 25 mm, 8 mm, 2 mm, 32 meşh ve 120 meşh olarak seçilmiştir. Elek analizi sonucunda elenen pasanın kümülatif ağırlıklarının toplamına pasa irilik katsayısı adı verilmiş ve aşağıda bir örnekle açıklanmıştır. Örnekte kesme derinliği 5mm ve keskilerin birbirlerini etkilemeği s/d oranındaki, gelveri cevherinden alınan pasanın analizi yapılmıştır. Tablo 5.2'de elek altı ve üstü pasanın ağırlıkları ve yüzdeleri görülmektedir.

Tablo 5.2 Gelveri cevherinden elde edilen pasanın analizi ve pasa irilik katsayısı

Elek Açıklığı	Ağırlık	Ağırlık	Kümülatif
(mm)	(gr)	(%)	(%)
+25 mm	0	0	0
-25 mm +8 mm	9.56	17.04	17.04
-8 mm +2 mm	22.7	40.46	57.49
-2 mm +32 mesh	11.52	20.53	78.03
-32 mesh +120 mesh	7.56	13.47	91.50
-120 mesh	4.77	8.50	100.00
Toplam	56.11	100.00	344

Tablo 5.2'den görüldüğü gibi kümülatif yüzde ağırlıkların toplamı, pasa irilik katsayısı 344 olarak hesaplanmıştır. Pasa irilik katsayıları ve grafikleri EK C'de detaylı olarak verilmiştir.

Pasa irilik katsayısı ne kadar yüksek ise kazının verimliliğide o kadar artmaktadır. Kazı makinalarının optimum keskiler arası mesafesinin belirlenmesinde laboratuvar kaya kesme deneylerinin önemi gittikçe artmaktadır. Optimum bölgede spesifik enerji değeri düşük, buna nazaran pasa irilik katsayısı yüksektir. Mekanize kazı sistemlerinde pasanın iriliği kontrol edilerek sistemin verimliliği hakkında fikir yürütülebilmektedir. Laboratuvar kaya kesme deneylerinden pasa irilik katsayısına da bakılarak optimum keskiler arası mesafe ve spesifik enerji değerleri tahmin edilebilir [80,81]. Küçük boyutlu kazı setinde yapılan herbir kaya kesme deneyinden sonra, kazı sonucu ortaya çıkan pasa toplanmış pasa irilik katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 5.9). Toplu sonuçlar Tablo 5.3'de görülmektedir. Pasa irilik katsayıları ve grafikleri EK C'de verilmiştir.

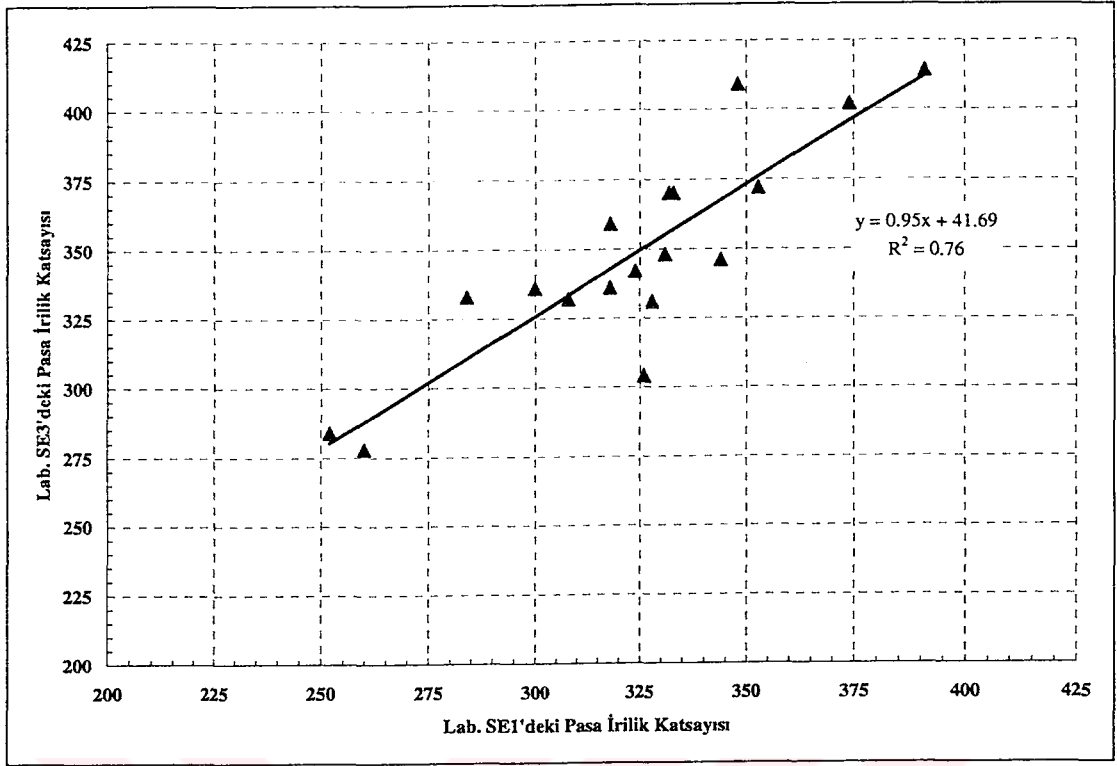


Şekil 5.9 Küçük boyutlu kazı setinden elde edilen pasanın elek analizinin görünümü

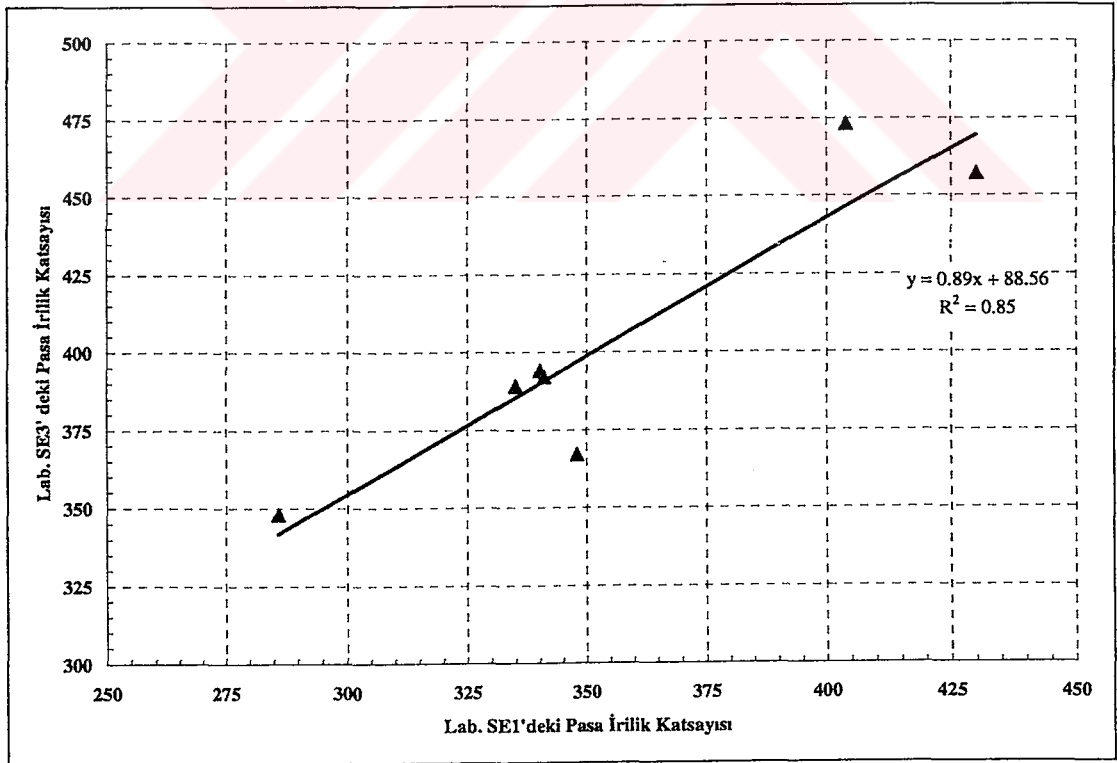
Kesme derinliği 5 ve 9 mm’de yardımcı ve yardımcı sız kaya kesme koşullarında elde edilen pasa irilik katsayıları arasındaki ilişkiler regresyon analizi ile bulunmuştur. şekil 5.10 ve 5.11’de görüldüğü gibi pasa irilik katsayıları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Küçük boyutlu kazı setinde yapılan, 5 mm ve 9 mm kesme derinliğindeki, yardımcı sız kesmeden elde edilen pasa irilik katsayıları biliniyorsa, optimum s/d’deki spesifik enerji pasa irilik katsayıları regresyon analizinden elde edilen eşitlikler yardımcı ile tahmin edilebilmektedir.

Tablo 5.3 Küçük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinin elek analizi toplu sonuçları

Kayaç Adı	SE1 (MJ/m ³)		SE3 (MJ/m ³)	
	P.İ.K. d= 5 mm	P.İ.K. d= 9 mm	P.İ.K. d= 5 mm	P.İ.K. d= 9 mm
Acıgöl tüfü	324	-	342	-
Gelveri tüfü	344	348	346	367
Göstük tüfü	318	335	336	389
Kızılkaya tüfü	308	340	332	394
Kızılkaya pembe tüfü	300	341	336	392
Selime üst tüfü	260	286	278	348
Stfa Dragos kıltaşı	374	404	402	473
Kumtaşı 1	328	-	331	-
Kumtaşı 4	318	-	359	-
Silttaşı 5	332	-	370	-
Kireçtaşı	333	-	370	-
Kumtaşı 2	326	-	304	-
Tüvenan ros1	252	-	284	-
Tüvenan ros2	284	-	333	-
Kavak cevheri	331	-	348	-
Serpantin	391	-	414	-
Harsburgit	348	-	409	-
Trona U4	353	430	372	457

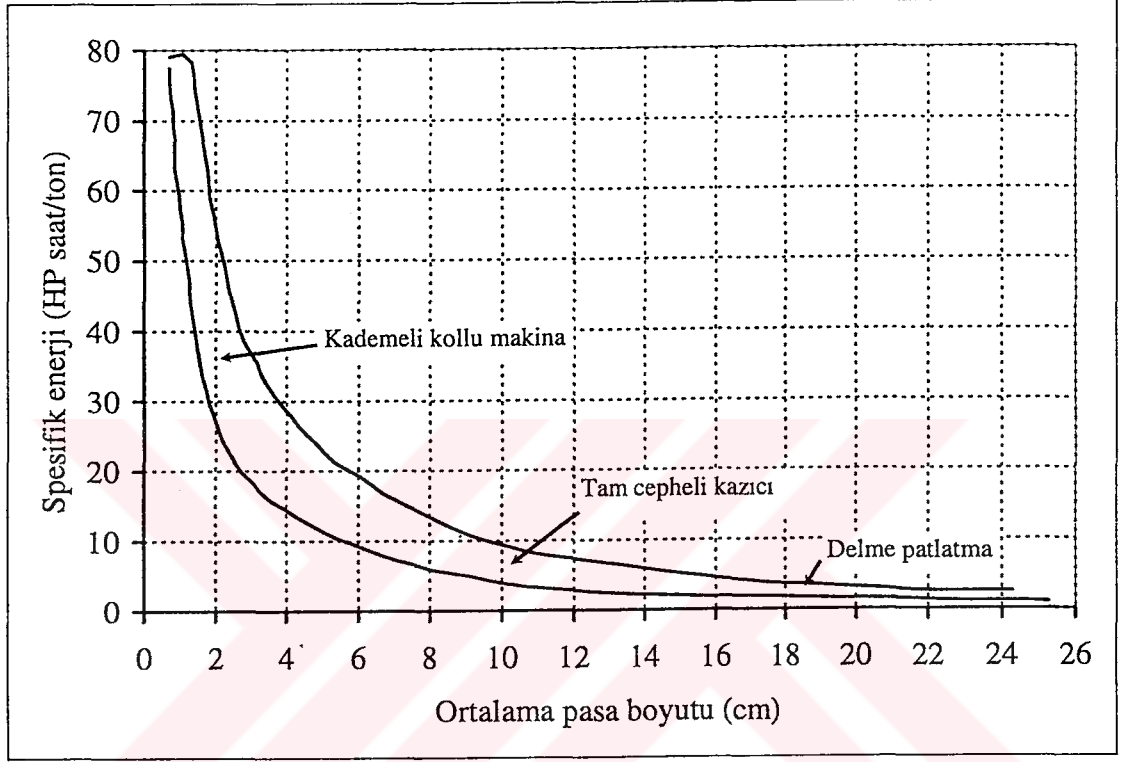


Şekil 5.10 $d=5\text{ mm}$ 'de yardımcı ve yardımcı kesme koşullarındaki pasa irilik katsayıları arasındaki ilişki



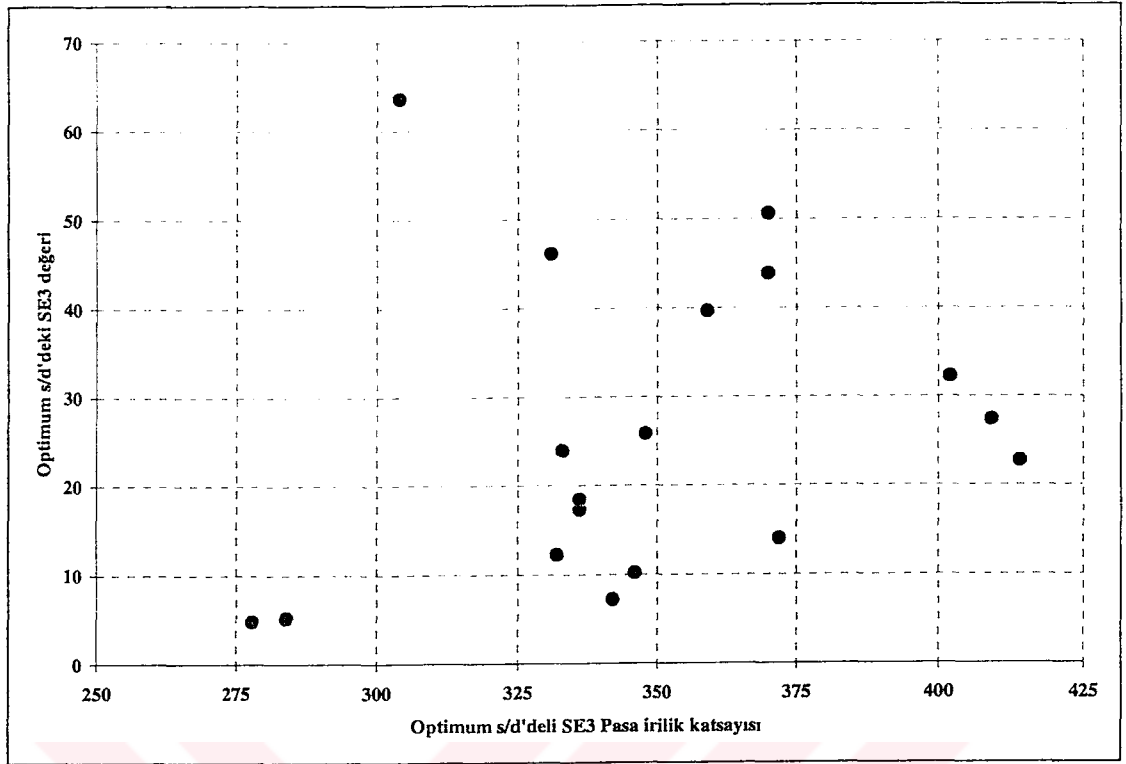
Şekil 5.11 $d=9\text{ mm}$ 'de yardımcı ve yardımcı kesme koşullarındaki pasa irilik katsayıları arasındaki ilişki

Uzun süren çalışmalar sonucunda, değişik kayaçlarda kazı yapan mekanize kazı makinelerinden veri toplanarak, spesifik enerji değeri ile pasa büyüklüğü arasında Şekil 5.12'deki ilişki bulunmuştur. Pasa boyutu büyüdükçe spesifik enerjinin azaldığı ve böylece verimli kazının yapıldığı görülmektedir. Burada farklı mekanize kazı makinaları için farklı pasa boyutu verilmektedir [82].

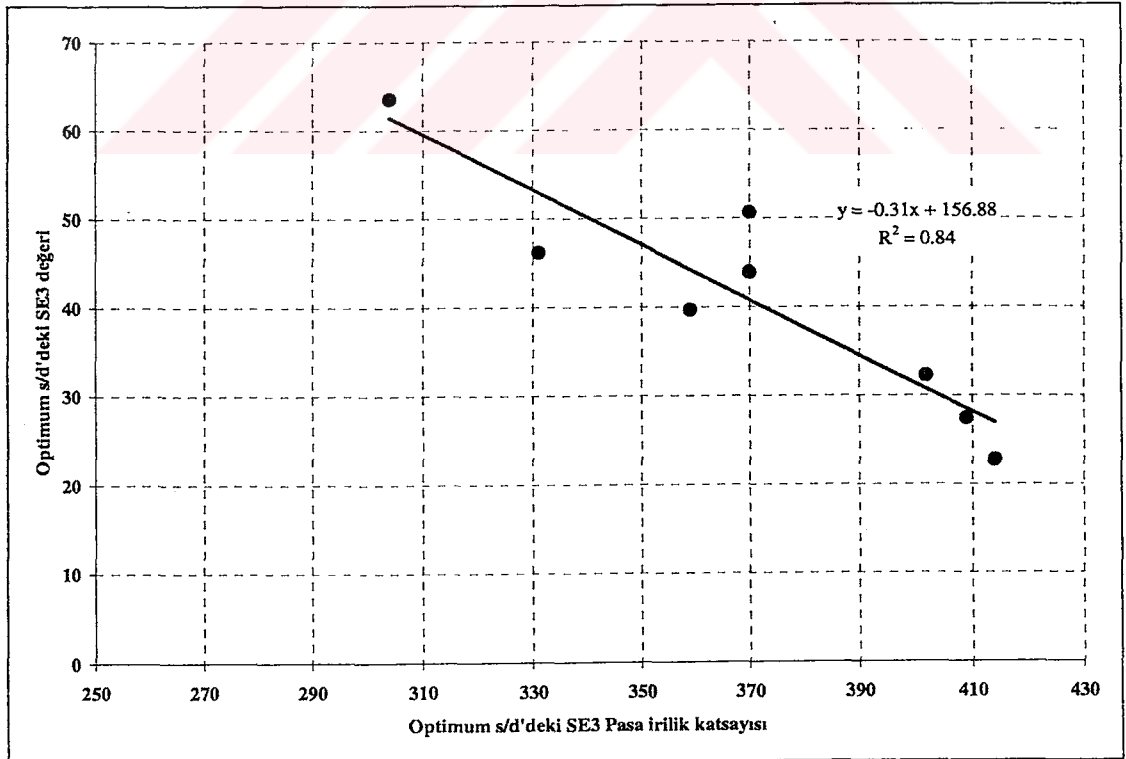


Şekil 5.12 Spesifik enerji değeri ile pasa büyüklüğü arasındaki ilişki [82]

Küçük boyutlu kazı seti kaya kesme deneylerinden elde edilen optimum s/d deki pasa irilik katsayıları ile optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.13'de verilmiştir. Kaya kesme deneylerinde kullanılan bütün kayaçlar birarada analize tabi tutulduğunda Şekil 5.13'den görüldüğü gibi anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. Bu amaçla sedimanter kayaçlara ait veriler kendi aralarında tekrar istatistiki analize tabi tutulmuştur. Şekil 5.14'den görüldüğü gibi pasa irilik katsayısı azaldıkça spesifik enerji değerleri azalmakta ve ters orantı vermektedir. Bu da mekanize kazı yapan makinaların kazı esnasında ürettikleri pasanın boyutuna bakılarak verimli bir kazı yapıp yapmadığı hakkında ipucu vermektedir.



Şekil 5.13 Bütün kayaçlar için optimum s/d deki pasa irilik katsayıları ile optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki

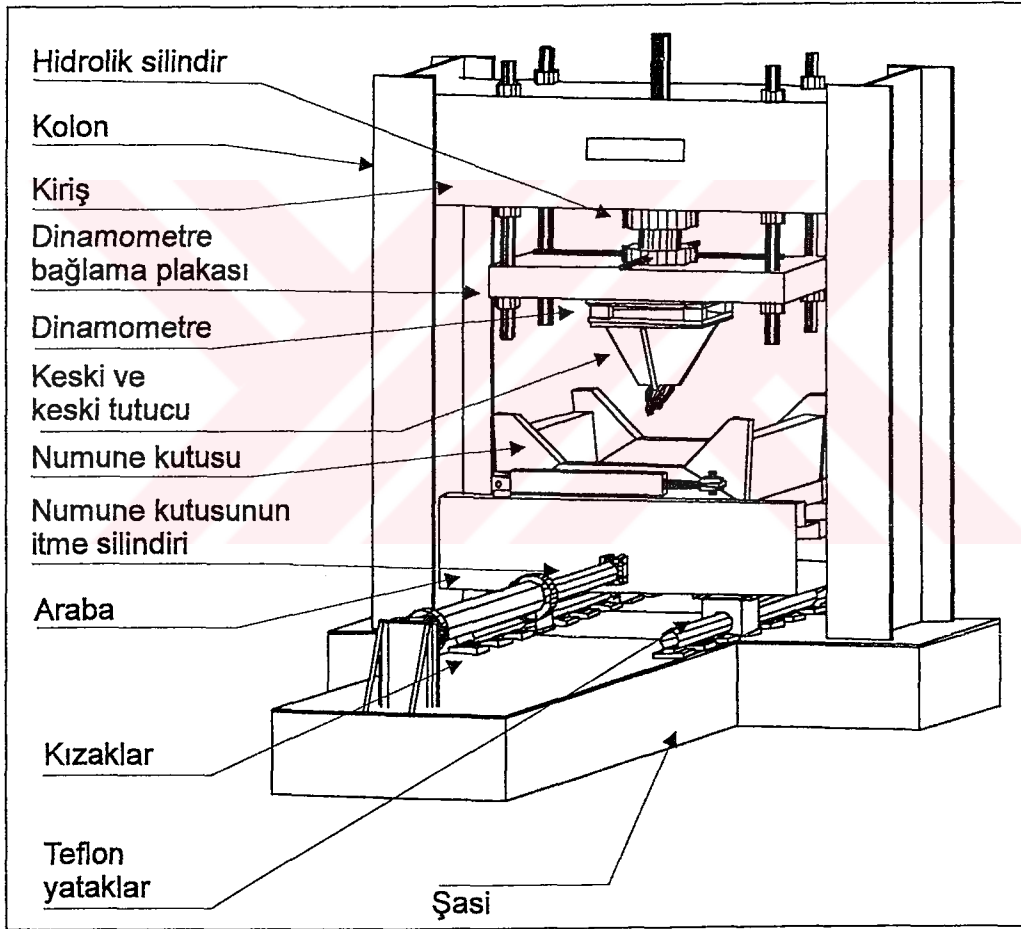


Şekil 5.14 Sedimanter kayaçlar için optimum s/d deki pasa irilik katsayıları ile optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki

5.2 Tam Boyutlu Doğrusal Kazı Seti Deneyleri

Bu tür deneylerin yapılabilirdiği tam boyutlu bir kazı seti NATO-TU Excavation projesi kapsamında İTÜ Maden Fakültesi Maden Kazı ve Teknolojisi Laboratuvarlarında kurulmuştur (Şekil 5.15).

Doğrusal kazı seti ana gövde, numune kutuları, keski tutucuları, dinamometre ve çeşitli elektronik aygıtlardan oluşmuş ve yaklaşık 12 ton ağırlığındadır. Ana gövde, kolonlar, kiriş, keski tutucusu bağlama sistemi, kızaklar üzerinde hareketli araba, numune kutusunu hareket ettiren iki küçük hidrolik silindir ve arabayı iten büyük hidrolik silindirden oluşur. Aletin boyutları 6500 x 3000 x 3400 mm'dir.



Şekil 5.15 Tam boyutlu doğrusal kazı seti

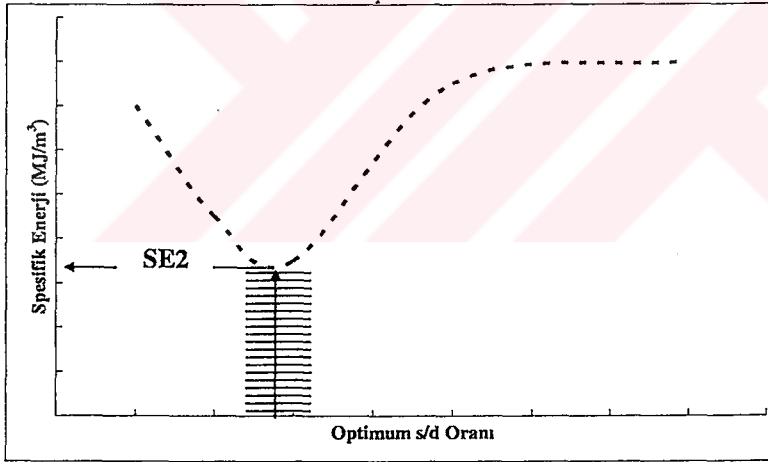
Kazı seti üç kademede 127, 254 ve 381 mm/sn hızlarda kesme yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kesme derinliği dinamometre bağlama plakasının hidrolik silindiri ile değiştirilebilmektedir. Kaya numunesi her deneyden sonra küçük yanal itme silindirleri vasıtasıyla sağa sola keskinin yeni bir yüzey üzerine getirilebilmesi için hareket ettirilmektedir. Böylece 1000 mm kesme boyunda, 5 mm kesme derinliği ve

20 mm kesme aralığı ile bir numune üzerinde konik uçlu keskinlerle yaklaşık 400 adete kadar deney yapılabilir. Kesme esnasında oluşacak kuvvetleri ölçmek için üç eksenli dinamometre yurtdışında yaptırılmıştır. Dinamometrede birim deformasyonları ölçmek için gerilim ölçer (strain gauge) rozetleri kullanılmıştır. Veri erişim sistemi olarak, kesme esnasında ortaya çıkan milivolt (mV) seviyesindeki sinyaller bir anaalog-dijital I/O karta beslenmekte ve bir bilgisayar aracılığı ile toplanmaktadır. Bilgisayardan alınan bu sinyaller kazı mekaniği prensipleri doğrultusunda değerlendirilmekte ve kuvvetler hesaplanmaktadır [14].

Tam boyutlu kazı setinde yapılan deneylerde bu değerlendirmede kullanılan değişkenler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- Laboratuvar Spesifik Enerji 2 (SE2)

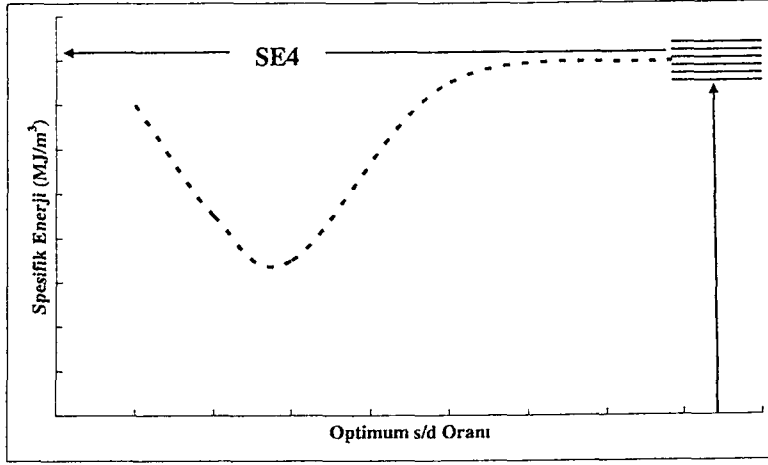
Tam boyutlu kazı setinde $d= 5\text{mm}$ ve $d= 9\text{mm}$ kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d 'deki spesifik enerji değerleridir ve SE2 olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride optimum spesifik enerjinin tanımı

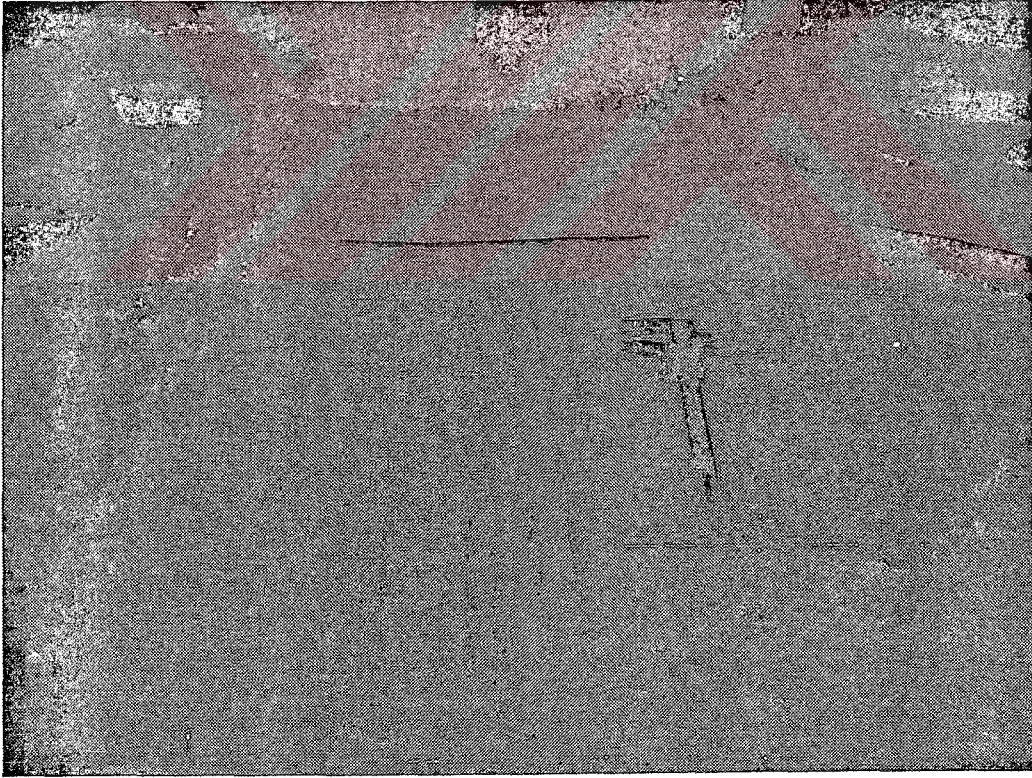
- Laboratuvar Spesifik Enerji 4 (SE4)

Tam boyutlu kazı setinde yapılan, $d= 5\text{mm}$ ve $d= 9\text{mm}$ kesme derinliğindeki deneylerden elde edilen yardımsız spesifik enerji değerleridir ve SE4 olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğride yarımsız spesifik enerjinin tanımı

Tam boyutlu kazı setinde kesme deneyine tabi tutulan Kızılkaya kayacı Şekil 5.18 de görülmektedir. Büyük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin toplu sonuçları Tablo 5.4' de verilmiştir.



Şekil 5.18 Tam boyutlu doğrusal kazı setinde kesme deneyine tabi tutulan Kızılkaya kayacının görünümü

Tablo 5.4 Büyük boyutlu kazı setinde yapılan kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin toplu sonuçları [60,76, 77, 83]

Kayaç No ve Adı		SE2 (MJ/m ³)		SE4 (MJ/m ³)	
		d= 5 mm	d= 9 mm	d= 5 mm	d= 9 mm
1	Acıgöl tüfü	8.14	6.45	12.13	8.12
2	Gelveri tüfü	17.00	11.49	31.66	22.03
3	Göstük tüfü	15.92	9.28	18.86	11.13
4	Kızılkaya tüfü	15.38	9.79	22.21	10.45
5	Kızılkaya pembe tüfü	16.08	10.27	18.89	10.96
6	Selime üst tüfü	4.81	4.72	7.82	5.78
7	Stfa Dragos kıltaşı	10.24	16.71	11.81	28.39
8	Kumtaşı 1	63.45	45.4	84.25	46.00
9	Kumtaşı 4	-	19.67	-	26.87
10	Silttaşı 5	-	35.10	-	44.85
11	Kireçtaşı	-	42.75	-	62.77
12	Kumtaşı 2	-	55.55	-	93.64
13	Tüvenan ros1	33.46	13.87	40.02	20.78
14	Tüvenan ros2	45.94	22.86	53.17	31.10
15	Kavak cevheri	37.44	17.82	43.71	39.69
16	Serpantin	25.28	21.82	34.21	30.80
17	Harsburgit	52.5	39.73	66.83	32.10
18	Trona U4	21.53	9.62	31.88	24.04

6 SPESİFİK ENERJİ DEĞERLERİNİN ÖNCEDEN TAHMİNİ İÇİN REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi, bir değişken ile bir yada birden çok değişken arasında bağlantı kurma şekli olarak tanımlanabilir. Biri bağımlı, diğeri bağımsız iki değişkenin arasındaki ilişkiyi matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz yöntemidir. Üzerinde durulan değişkenlerden bağımlı değişken y , bağımsız değişken x ise, $y=f(x)$ şeklindeki fonksiyona regresyon denir ve $f(x)$ fonksiyonu eşitlik 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 gibi farklı şekiller alabilir:

$$\text{Doğrusal: } y = ax + b \quad (6.1)$$

$$\text{Parabolik: } y = ax^2 + b \quad (6.2)$$

$$\text{Üstsel: } y = ab^x, y = ae^x \quad (6.3)$$

$$\text{Geometrik: } y = ax^b \Rightarrow \log y = b \log(ax) \quad (6.4)$$

$$\text{Hiperbolik: } y=(ax+b)^{-1} \quad (6.5)$$

Doğrusal Regresyon Modeli:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon, \quad (6.6)$$

β_0 : Doğrunun y -eksenini kestiği yer

β_1 : Doğrunun eğimi veya regresyon katsayısı

ε : Şansa bağlı hata değeri

Gerçek hayat uygulamalarında β_0 ve β_1 değerleri bilinmiyorsa, popülasyondan örnekler alınarak bunların tahmini değerleri olan b_0 ve b_1 eşitlik 6.7'deki gibi kullanılır.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (6.7)$$

$\hat{y}$: y 'nin tahmini değeri.

Parametre tahmini en küçük kareler metodu (Least Squares Method) kullanılarak yapılır. Burada esas, dağılım diyagramında görülen tüm noktalar için doğruya uzaklıklarının bulunması ve bunların toplamının minimize edilmesidir. Ancak regresyon analizinde bu toplam fonksiyonu daima sıfır olacağından b_0 ve b_1 değerlerini bulmada eşitlik 6.8'de görüldüğü gibi kullanılamaz.

$$\sum (y_i - \hat{y}_i) = 0 \quad (6.8)$$

Bu durumda hataların (regresyon denkleminde sapmaların) karelerinin toplamı bulunarak 6.9'daki yeni bir fonksiyon oluşturulur.

$$\min \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min \sum (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2 \quad (6.9)$$

Bu yeni fonksiyonu minimize eden optimum b_0 ve b_1 , β_0 ve β_1 'in tahmini değerleri olacaktır. Yukarıdaki fonksiyon içbükey (convex) olduğundan, fonksiyonu minimize eden optimum değerleri bulmak için fonksiyonun b_0 ve b_1 'e göre kısmi türevlerini sıfır yapan eşitlik 6.10 ve 6.11'deki değerleri almak yeterli olacaktır.

$$\frac{\partial}{\partial b_1} \sum (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2 = 0 \Rightarrow b_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (6.10)$$

$$\frac{\partial}{\partial b_0} \sum (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2 = 0 \Rightarrow b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}. \quad (6.11)$$

x_i : Bağımsız değişkenin i . gözlemi, $i=1,2,...,n$.

y_i : Bağımlı değişkenin i . gözlemi, $i=1,2,...,n$.

$\bar{x}$: Bağımsız değişkenin örnek ortalaması

$\bar{y}$: Bağımlı değişkenin örnek ortalaması

n : toplam gözlem sayısı

Günümüzde bilgisayar birçok çalışma alanında olduğu gibi özellikle araştırma sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi aşamasında vazgeçilmez bir araçtır. Bu amaçla bir çok istatistik paket programı geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde SPSS , SAS, MINITAB, SYSTAT gibi istatistik paket programları ve EXCEL en fazla kullanılanlardan bir kaçıdır . Bu çalışmada basit istatistiksel araştırmalar için Excel çok katlı regresyon analizi için MINITAB paket programı kullanılmıştır.

6.1 İstatistik Kullanarak Spesifik Enerjinin Tahmini

Bölüm 5’de açıklanan, küçük ve büyük boyutlu kazı seti kaya kesme deneylerinden elde edilen SE1, SE2, SE3 ve SE4 spesifik enerji değerlerinin kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleriyle olan ilişkisi istatistik kullanılarak araştırılmıştır. Ek D’den elde edilen bilgilerin özeti Tablo 6.1’de verilmiştir.

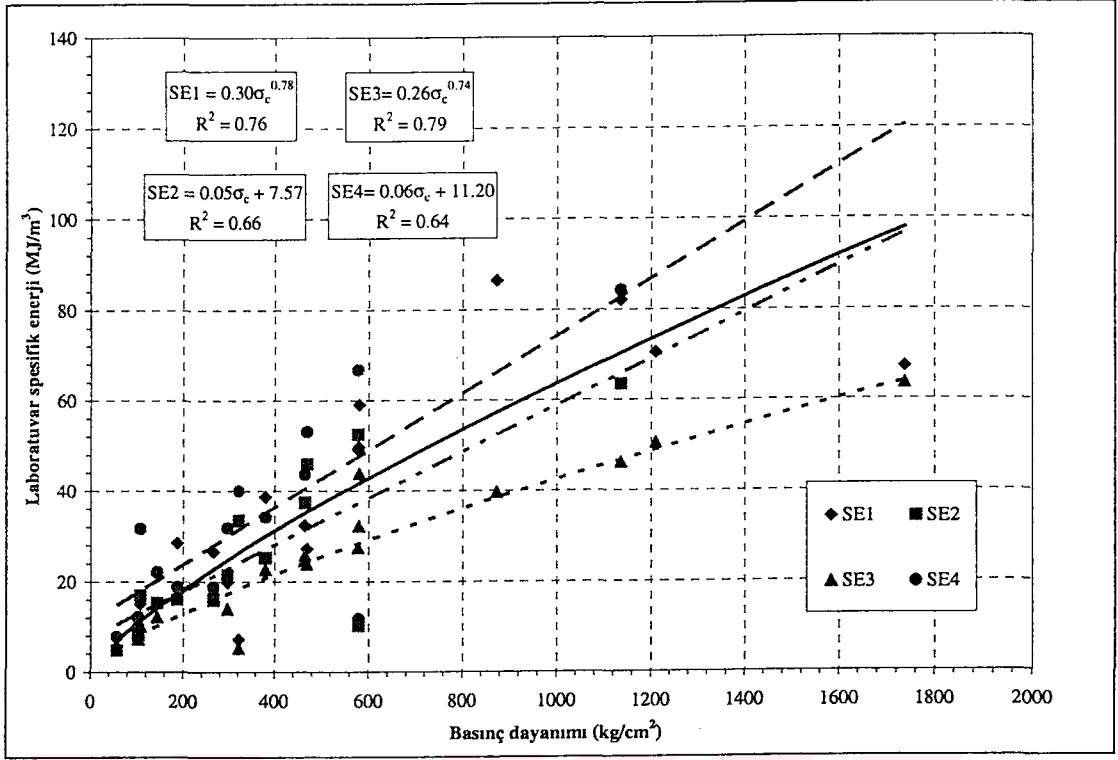
Tablo 6.1 Küçük ve büyük boyutlu kazı seti laboratuvar spesifik enerji değerlerinin, değişik kesme koşullarında kayaç özelliklerine bağlı, basit istatistik kullanarak tahmini

Kesme Derinliği d = 5 mm	R ²	Kesme Derinliği d = 9 mm	R ²
SE1 = 0.30 x $\sigma_c^{0.78}$	0.76	SE1 = 0.40 x $\sigma_c^{0.72}$	0.75
SE1 = 2.14 x $\sigma_t^{0.75}$	0.73	SE1 = 0.70 x $\sigma_t + 4.09$	0.93
SE1 = 1.75 x $e^{0.07 \times N-24}$	0.82	SE1 = 0.29 x $N-24^{1.14}$	0.57
SE1 = 1.86 x $e^{0.06 \times L-9}$	0.79	SE1 = 3.51 x $e^{0.04 \times L-9}$	0.77
SE1 = 5.42 x $V_p^{1.37}$	0.38	SE1 = 24.69 x $V_p - 37.50$	0.93
SE1 = 7.77 x $V_{s1}^{1.40}$	0.17	SE1 = 27.57 x $V_{s1} - 37.60$	0.88
SE1 = 6.46 x $V_{s2}^{1.67}$	0.17	SE1 = 21.24 x $V_{s2} - 26.52$	0.86
SE2 = 0.05 x $\sigma_c + 7.57$	0.66	SE2 = 0.28 x $\sigma_c^{0.70}$	0.83
SE2 = 2.60 x $\sigma_t^{0.64}$	0.63	SE2 = 1.74 x $\sigma_t^{0.66}$	0.76
SE2 = 0.12 x $N-24^{1.43}$	0.46	SE2 = 0.69 x $e^{0.05 \times N-24}$	0.75
SE2 = 0.20 x $e^{1.23 \times L-9}$	0.44	SE2 = 1.94 x $e^{0.04 \times L-9}$	0.68
SE2 = 3.91 x $V_p^{1.56}$	0.60	SE2 = 3.75 x $V_p^{1.27}$	0.43
SE2 = 3.50 x $V_{s1}^{2.04}$	0.55	SE2 = 3.91 x $V_{s1}^{1.60}$	0.29
SE2 = 2.85 x $V_{s2}^{2.36}$	0.53	SE2 = 3.44 x $V_{s2}^{1.82} - 26.52$	0.27
SE3 = 0.26 x $\sigma_c^{0.74}$	0.79	SE3 = 0.20 x $\sigma_c^{0.76}$	0.80
SE3 = 0.53 x $\sigma_t + 2.59$	0.84	SE3 = 0.49 x $\sigma_t + 2.19$	0.94
SE3 = 1.53 x $e^{0.06 \times N-24}$	0.80	SE3 = 0.20 x $N-24^{1.12}$	0.52
SE3 = 1.76 x $e^{0.05 \times L-9}$	0.72	SE3 = 0.24 x $L-9^{1.03}$	0.62
SE3 = 3.59 x $V_p^{1.40}$	0.47	SE3 = 0.19 x $e^{1.81 \times V_p}$	0.99
SE3 = 5.15 x $V_{s1}^{1.44}$	0.20	SE3 = 0.83 x $V_{s1}^{3.71}$	0.93
SE3 = 4.41 x $V_{s2}^{1.69}$	0.20	SE3 = 15.24 x $V_{s2} - 19.76$	0.94
SE4 = 0.06 x $\sigma_c + 11.20$	0.64	SE4 = 0.35 x $\sigma_c^{0.71}$	0.81
SE4 = 0.75 x $\sigma_t + 9.17$	0.47	SE4 = 0.64 x $\sigma_t + 2.40$	0.75
SE4 = 0.26 x $N-24^{1.28}$	0.43	SE4 = 0.21 x $e^{0.06 \times N-24}$	0.75
SE4 = 0.52 x $L-9^{1.05}$	0.37	SE4 = 2.92 x $e^{0.04 \times L-9}$	0.59
SE4 = 9.72 x $V_p + 5.08$	0.30	SE4 = 3.94 x $V_p^{1.50}$	0.60
SE4 = 6.08 x $V_{s1}^{1.76}$	0.49	SE4 = 3.43 x $V_{s1}^{2.09}$	0.48
SE4 = 5.41 x $V_{s2}^{1.97}$	0.44	SE4 = 3.44 x $V_{s1}^{2.19}$	0.38

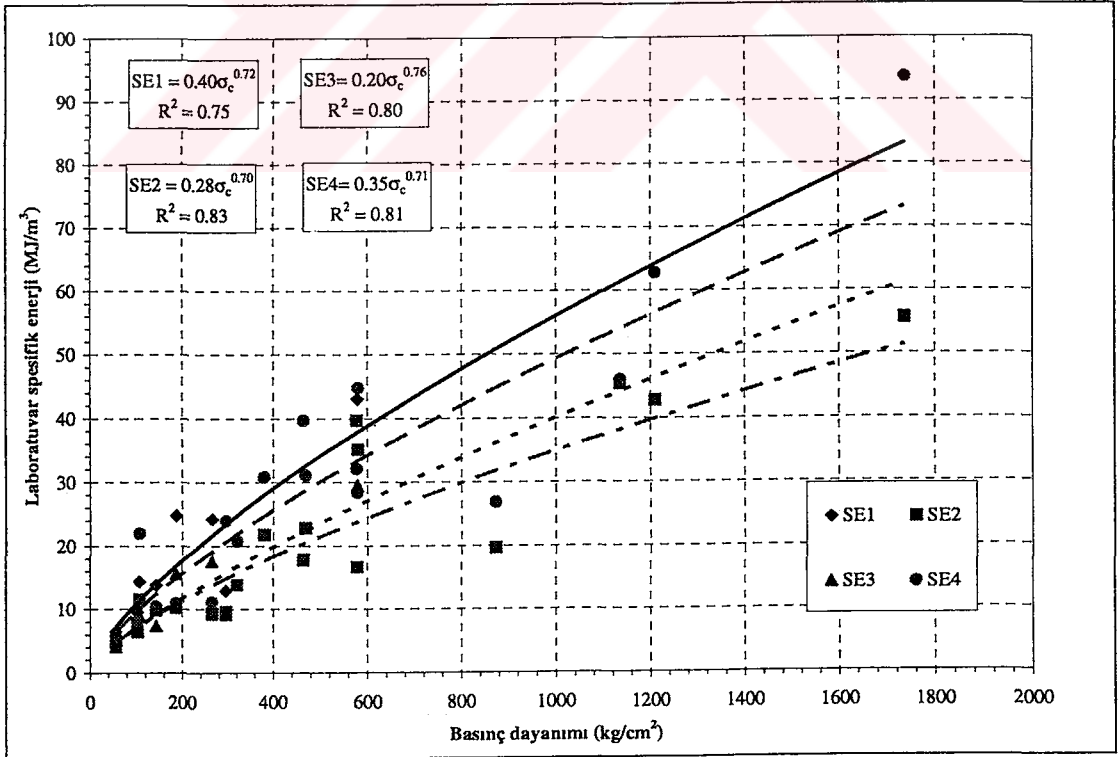
SE1, SE2, SE3 ve SE4 ile kayaçların fiziksel özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6’dan görülmektedir. Özellikle kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve N-24 tipi geri tepmeli (Schmidt) çekiç

değeri spesifik enerjinin tahmininde önemli olmaktadır. Mekanize kazı makinalarının performansını önceden kestirebilmek için, spesifik enerji değerlerinin basit ve ucuz yöntemlerle tahmin edilebilmesi, kazı mekaniği bilimi açısından oldukça yeni ve önemlidir. Kademeli kollu makinaları ile kazıda ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle bu tür mekanize kazı sistemlerinin kullanılacağı formasyonların ve kayaç özelliklerinin detaylı araştırılması ve performanslarının önceden kestirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen yaklaşımlarla bu tür makinaların performanslarını önceden güvenli bir şekilde kestirilebileceği ortaya çıkmıştır. Tam boyutlu doğrusal kazı seti deneyi kullanılarak yapılan kayaç kesme deneylerinde, spesifik enerji değeri gerçeğe yakın bir şekilde bulunabilmektedir. Mekanize kazı sistemlerinin seçimi ve tasarımı aşamasında, kullanılacak olan formasyonlardan kaya blokları alınmakta ve laboratuvarında bu tür tam boyutlu kazı setinde kaya kesme deneylerine tabi tutulmaktadır. Ancak bu tür laboratuvar olanaklarının her yerde olmaması ve tecrübeli kişilere ihtiyaç duyulması bu tür sistemlerin pahalı olmasına neden olmaktadır. Özellikle, tam boyutlu kazı setinin kullanılmadığı durumlarda, optimum ve yardımsız spesifik enerji değerlerinin tahmin edilebilmesi kazı mekaniği bilimi için önemli bir yer tutmaktadır. Daha önce yapılan araştırmalar küçük boyutlu kazı seti kullanılarak kademeli kollu makinaların kazı hızlarının önceden kestirilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada mekanize kazı sistemlerinin kazı hızını tahmin etmekte kullanılan spesifik enerji değerleri, hem tam boyutlu hem de küçük boyutlu kazı setleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu amaçla küçük boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değerleri ile, tam boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değerleri arasında istatistiksel araştırma yapılmıştır. İstatistiksel araştırma sonucunda bulunan eşitlikler Tablo 6.2’de topluca verilmiştir. Eğer tam boyutlu kazı setinde yardımsız koşulda bir deney yapılmış ise aynı kazı setinden elde edilebilecek optimum spesifik enerji değeri Tablo 6.2’deki eşitlikler yardımı ile tahmin edilebilmektedir.

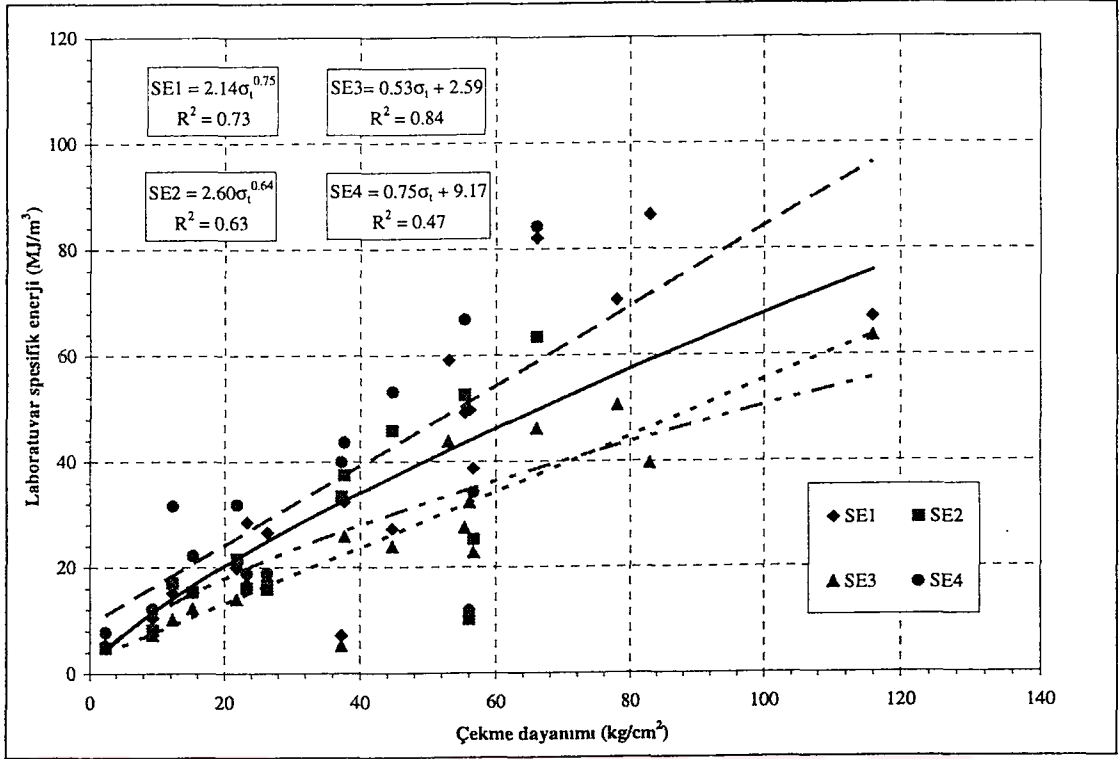
Bazı durumlarda tam boyutlu doğrusal kazı seti için gerekli olan kaya bloğu temin edilememektedir. Bu bazen büyük bloklar halinde numune almanın zorluğundan bazen da arazinin yapısının buna müsait olmamasından kaynaklanmaktadır. Küçük



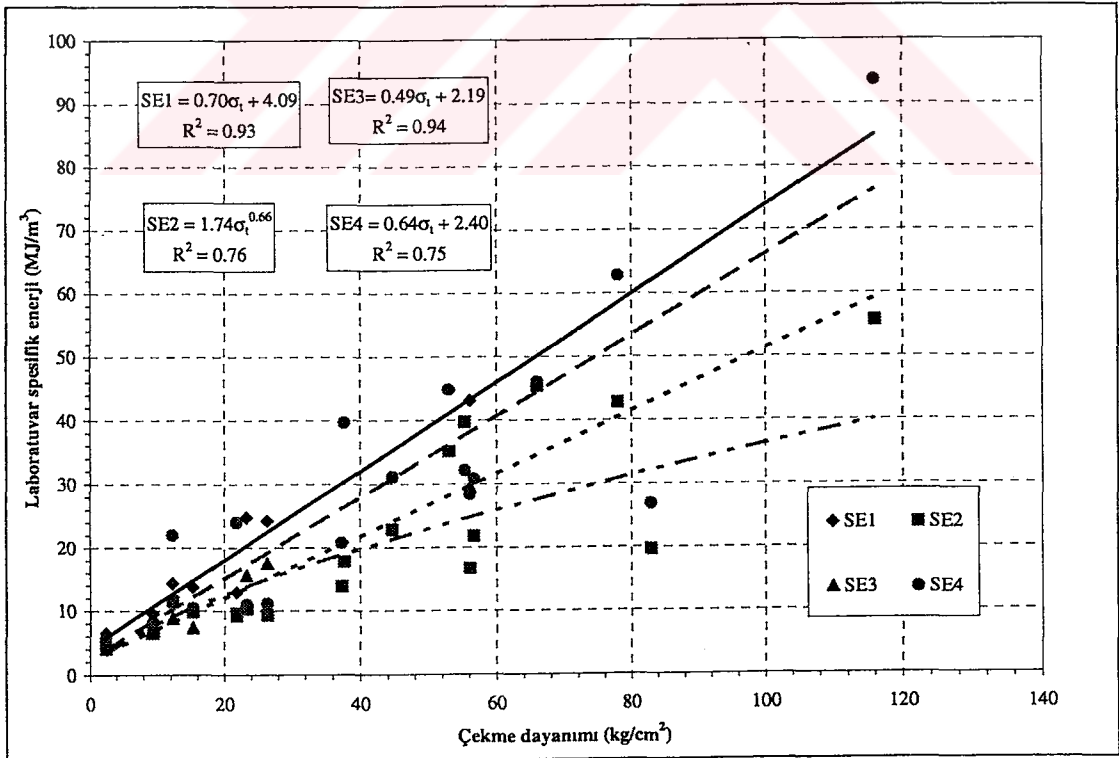
Şekil 6.1 Kesme derinliği 5 mm’de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



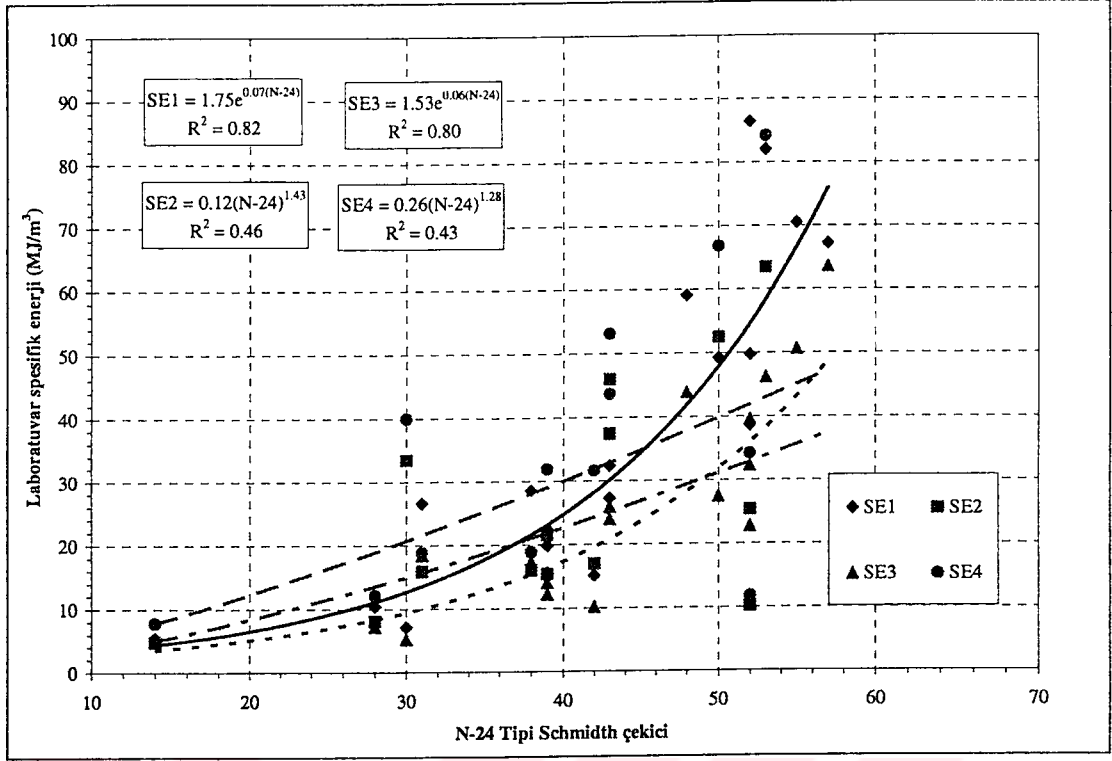
Şekil 6.2 Kesme derinliği 9 mm’de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



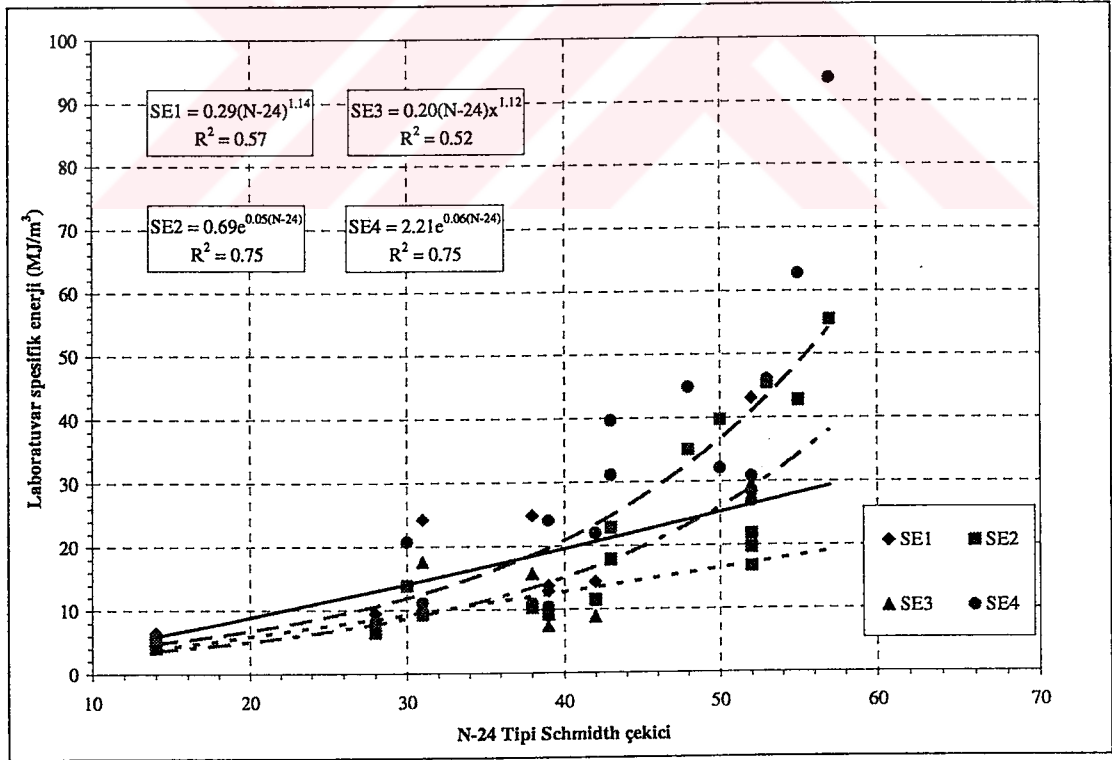
Şekil 6.3 Kesme derinliği 5 mm’de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile çekme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 6.4 Kesme derinliği 9 mm’de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile çekme dayanımı arasındaki ilişki

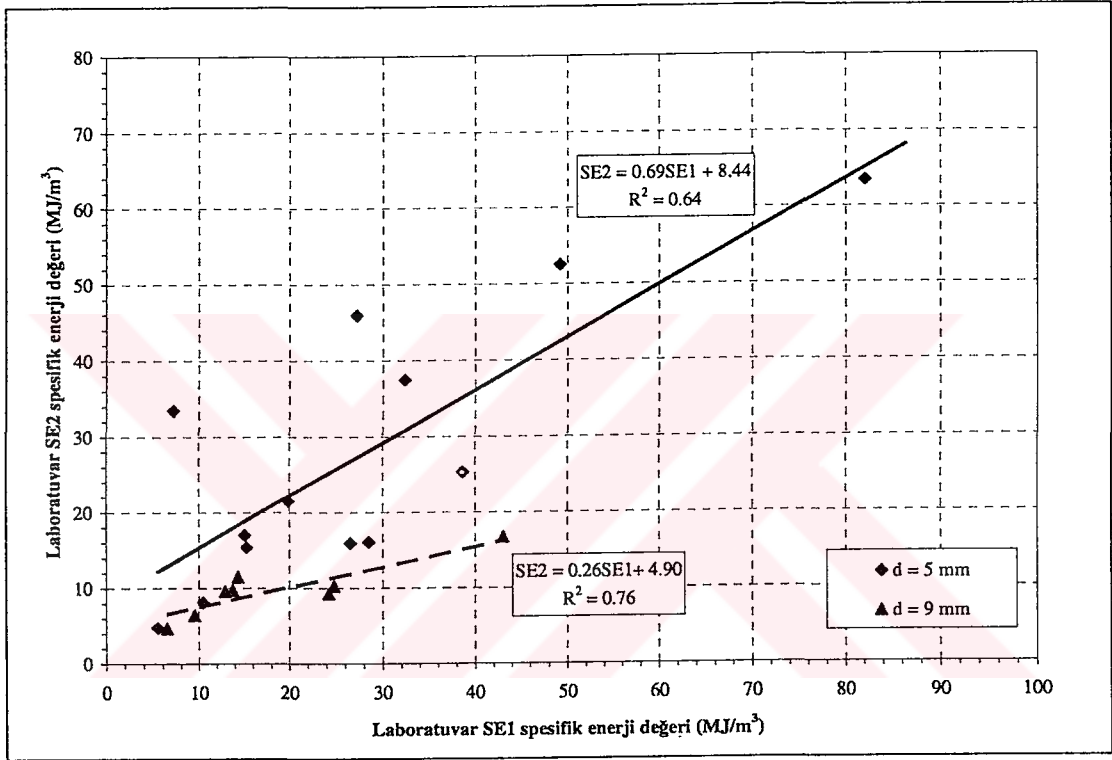


Şekil 6.5 Kesme derinliği 5 mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile N-24 tipi geri tepmeli (Schmidt) çekiç değeri arasındaki ilişki



Şekil 6.6 Kesme derinliği 9 mm'de yapılan, SE1,SE2,SE3 ve SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri ile N-24 tipi geri tepmeli (Schmidt) çekiç değeri arasındaki ilişki

boyutlu kazı seti için gerekli numune, tam boyutlu kazı setine göre daha küçük olmakta ve hatta karot numuneler üzerinde bile kesme deneyleri yapılabilmektedir. Bu durum küçük boyutlu kazı setinin avantajıdır. Bu amaçla, küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen optimum spesifik enerjinin tahmini istatistiksel olarak araştırılmış ve sonuçlar Şekil 6.7’de verilmiştir. Kesme derinliği 9 mm’de SE1 değeri yardımı ile tam boyutlu kazı setinde elde edilebilecek optimum spesifik enerji değeri 0.76 gibi yüksek bir korelasyon katsayısı ile tahmin edilebilmektedir.

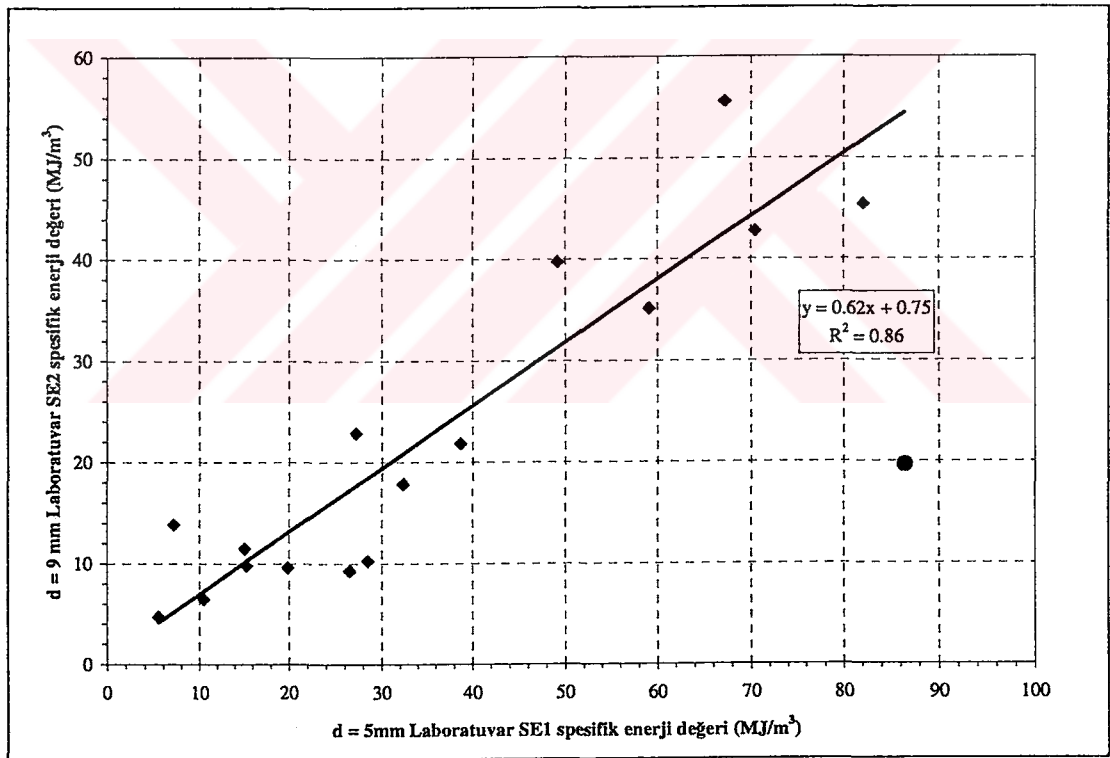


Şekil 6.7 Kesme derinliği 5 ve 9 mm’de küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen optimum spesifik enerjinin tahmini

Tablo 6.2 Küçük ve büyük boyutlu kazı seti laboratuvar spesifik enerji değerlerinin, değişik kesme koşullarında, birbirlerine etkisinin istatistik kullanarak tahmini

Kesme Derinliği d = 5 mm	R ²	Kesme Derinliği d = 9 mm	R ²
SE3 = 0.44 x SE2 + 7.62	0.45	SE3 = 1.95 x SE2 – 6.64	0.70
SE4 = 1.26 x SE3 + 10.04	0.43	SE4 = 3.55 x SE3 ^{0.56}	0.38
SE2 = 0.69 x SE1 + 8.44	0.64	SE2 = 2 x SE1 ^{0.55}	0.75
SE4 = 1.22 x SE2 + 1.99	0.97	SE4 = 1.58 x SE2 ^{0.96}	0.86
SE3 = 0.44 x SE1 + 7.62	0.45	SE3 = 1.95 x SE1 – 6.64	0.70
SE3 = 0.95 x SE1 ^{0.91}	0.95	SE3 = 0.69 x SE1 – 0.53	0.98
SE4 = 0.72 x SE1 + 13.21	0.45	SE4 = 0.64 x SE1 ^{0.58}	0.38

Ayrıca, yardımsız koşulda 5 mm kesme derinliğindeki küçük boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değeri ile optimum koşulda 9 mm kesme derinliğindeki tam boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değerleri istatistiksel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.8’den görüldüğü gibi (Kumtaşı 4 ve STFA numuneleri regresyona dahil edilmediğinde), her iki deney setinde farklı kesme koşullarında elde edilen spesifik enerji değerlerin arasında 0.86 gibi yüksek korelasyon katsayılı doğrusal lineer bir ilişki mevcuttur. Küçük boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değeri, uluslararası kaya mekaniği kuruluşunun standart koşullarda öngördüğü şekilde elde edilmiştir. Bu sonuçlar, mekanize kazı makinalarının kazı performansının önceden kestirilmesinde, tam boyutlu kazı setinden elde edilen optimum spesifik enerji değerinin küçük boyutlu kazı seti deneyleri yapılarak tahmin edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 6.8 Kesme derinliği 5 mm kesme derinliğindeki küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen 9 mm kesme derinliğindeki optimum spesifik enerjinin tahmini

6.2 Çok Katlı Regresyon

Birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan spesifik enerji değeri kayaçların basınç dayanımı, çekme dayanımı, dinamik ve statik elastik modül değerleri, kayacın sismik hız özellikleri ve geri tepmeli (Schmidt) çekiç (N-24 ve L-9 tipi) değerleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Spesifik enerji değeri birden fazla bağımsız değişkene bağlı olduğundan istatistiksel analiz olarak çok değişkenli regresyon yapılmıştır. Çok katlı regresyon analizi doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olmak üzere iki farklı gruba ayrılabilir. Bu çalışmada her iki yöntemde kullanılmış, doğrusal yöntemlerden verilere en iyi uyan bir düz çizgiyi hesaplamak için "en küçük kareler" yöntemi, doğrusal olmayan yöntemlerden çift logaritmik model kullanılmıştır.

Çok katlı regresyon denklemi eşitlik 6.12'deki gibidir.

$$Y = m_1X_1 + m_2X_2 + m_3X_3 + \dots + m_nX_n + b \quad (6.12)$$

Burada,

Y : Bağımlı değişken

X_1, X_2, X_3, X_n : Bağımsız değişkenler

m_1, m_2, m_3, m_n : X_1, X_2, X_3, X_n bağımsız değişkenlerin katsayıları

b : Sabit

Doğrusal yöntemle yapılan regresyon analizinde Excel kullanılmış ve sonuçlar Ek E'de verilmiştir.

Çift logaritmik model ile hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerin logaritmik olduğu yöntem eşitlik 6.13'deki gibi ifade edilmektedir [88].

$$Y = a.X_1^{b_1}.X_2^{b_2}...., X_n^{b_n} \quad (6.13)$$

Burada,

Y: Bağımlı değişken

$X_1, X_2, ..., X_n$: Bağımsız değişkenler

$b_1, b_2, ..., b_n$; $X_1, X_2, ..., X_n$ bağımsız değişkenlerin katsayıları

a : Sabit

6.13 eşitliğinde her iki tarafın logaritması alınırsa,

$$\log Y = \log a + b_1 \log X_1 + b_2 \log X_2 + \dots + b_n \log X_n \quad (6.14)$$

eşitlik 6.14 gibi olur. Bu eşitliği aşağıdaki gibi lineer regresyon fonksiyonu olarak yazabiliriz ve eşitlik 6.15'i elde edebiliriz.

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (6.15)$$

Burada hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerin logaritması alınarak MINITAB paket programında regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bu paket programında regresyon analizi ile tahmin edilecek modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin seçiminde önemli derecede katkisi olanlar, uygun değişken seçimi yöntemlerinden, adım adım ileri, kullanılarak seçilmiştir. Çünkü; regresyon modelinin mümkün olan en az bağımsız değişken ile en iyi tahmini yapabilecek şekilde tahmini esas olmaktadır [88].

6.3 Çok Katlı Regresyonda Kullanılan Terimler

Çok katlı regresyon analizinde birçok terim kullanılmaktadır. Determinasyon katsayısı, korelasyon katsayısı, düzeltilmiş determinasyon katsayısı, standart hata, regresyon katsayısının standart hatası, güven düzeyi, güven aralıkları ve güven sınırları, anlamlılık düzeyi, t dağılımı ve F dağılımı bunlardan önemlileri olup aşağıda özetlenmişlerdir [88].

Determinasyon katsayısı (R^2), bağımlı değişkenin (Y) varyansının toplam varyansa oranıdır. Regresyon analizinin doğruluğunun göstergelerinden biri R^2 'nin yüksek olmasıdır. Ancak R^2 'yi tek belirleyici olarak kullanmak hatalıdır. Korelasyon katsayısı ise determinasyon katsayısının kareköküdür ve negatif ise iki değişkenin arasında doğrusal negatif ise iki değişkenin arasındaki ilişki ters orantılıdır. Düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R^2_{adj}), serbestlik derecesine göre R^2 'nin düzeltilmiş değeridir.

Standart hata veya standart sapma, gözlenen değerlerin tahmin edilen regresyon doğrusundan farkların genel ve ortalama ölçüsüdür. Regresyon katsayılarının standart hatası ise örneklerin regresyon katsayılarının tahmininin regresyon katsayısı etrafındaki değişimleri gösteren bir ölçüdür.

Hatanın veya bir tahminin isabet derecesinin belirlenmesine güven düzeyi denilmektedir. Tahminlerde genellikle %90, %95 ve %99 güven düzeyleri kullanılır. Güven aralıkları tahminin hangi değer aralığında olduğunu gösterirler. Güven aralıklarının alt ve üst limitleri ise güven sınırları olarak tanımlanır.

Anlamlılık düzeyi belli bir limitin altında kalması gereken ve sıfır hipotezini doğrulayan bir değerdir.

Student dağılımı olarak da adlandırılan t dağılımında serbestlik derecesi (N-k) ve güven düzeyi parametre olarak kullanılmaktadır. Burada N örnek sayısını k ise modeldeki bağımsız değişken sayıdır. Her istatistik kitabı sonunda t dağılımını veren tablolar verilmektedir.

F dağılımında payın serbestlik derecesi (k-1) ve paydanın serbestlik derecesi (N-k) olmak üzere iki parametre kullanılmaktadır. F dağılımı tablosu da istatistik kitaplarında bulunmaktadır.

Rezidü gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farktır. Eğer regresyon modeli doğru ise rezidüler sıfır doğrusu etrafında rastgele dağılırlar.

6.4 Çok Katlı Doğrusal Regresyon Analizi ve Geliştirilen Modeller

Tam boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerjiyi, kayaç özelliklerinden ve küçük boyutlu kazı deneylerinden tahmin etmek için çok katlı regresyon analizi yapılmıştır. Laboratuvarında belirlenen kayaç özellikleri ve spesifik enerji değerleri daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Çok katlı regresyon analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler toplu olarak Tablo 6.3'de verilmiştir. Bağımsız değişkenler olarak kayaçların, yoğunluğu, basınç ve çekme dayanımı, statik ve dinamik elastik modül değerleri, dalga hızları, Schmidt çekici değerleri ile küçük kazı setinden elde edilen spesifik değerleri, (çok katlı regresyon analizi için kesme derinliği 9 mm değerlerinin yeterli olmaması nedeniyle, 5 mm de yapılan değerler) kullanılmıştır. Bağımlı değişkenler olarak tam boyutlu kazı setinden elde edilebilecek spesifik enerji değerleri SE2 ve SE4 alınmıştır.

Tablo 6.3 Çok katlı regresyon analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler [60, 76, 77,83]

Kayaç Adı	Yoğ. (gr/cm ³)	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	E_s (GPa)	E_d (GPa)	V_p (km/sn)	V_{s1} (km/sn)	V_{s2} (km/sn)	SÇ N-24	SÇ L-9	SE1 (MJ/m ³)		SE2 (MJ/m ³)		SE3 (MJ/m ³)		SE4 (MJ/m ³)	
											5 mm	9 mm	5 mm	9 mm	5 mm	9 mm	5 mm	9 mm
Acıgöl tüfü	1.49	10.35	0.94	1.1	3.8	2.00	1.82	1.83	28	34	10.48	9.51	8.14	6.45	7.23	7.1	12.13	8.12
Gelveri tüfü	1.70	10.82	1.23	1.4	5.2	2.12	2.00	1.94	42	45	15.14	14.37	17.00	11.49	10.2	8.83	31.66	22.03
Göstük tüfü	1.80	26.57	2.64	2.4	7.5	2.56	2.15	2.50	31	40	26.57	24.25	15.92	9.28	18.45	17.6	18.86	11.13
Kızalkaya tüfü	1.71	14.42	1.53	1.6	5.2	-	-	-	39	42	15.35	13.8	15.38	9.79	12.24	7.38	22.21	10.45
Kızalkaya pembe tüfü	1.71	18.74	2.33	1.3	6.1	2.40	2.22	2.18	38	58	28.52	24.82	16.08	10.27	17.28	15.67	18.89	10.96
Selime üst tüfü	1.49	5.71	0.24	0.4	2.8	1.73	1.51	1.53	14	13	5.48	6.49	4.81	4.72	4.87	4.11	7.82	5.78
Sıfı Dragos kilaşı	2.76	57.88	5.61	-	-	-	-	-	52	58	49.72	43.07	10.24	16.71	32.25	29.54	11.81	28.39
Kumtaşı 1	2.65	113.6	6.6	17.0	36.5	3.74	2.52	2.32	53	60	82.08	-	63.45	45.4	46.18	-	84.25	46.00
Kumtaşı 4	2.67	87.37	8.3	33.3	55.0	5.20	2.80	2.73	52	59	86.43	-	-	19.67	39.66	-	-	26.87
Silttaşı 5	2.65	58.0	5.3	30.0	48.8	4.95	2.67	2.45	48	55	59.10	-	-	35.10	43.87	-	-	44.85
Kireçtaşı	2.72	121.0	7.8	57.0	37.9	3.91	3.01	2.85	55	62	70.50	-	-	42.75	50.61	-	-	62.77
Kumtaşı 2	2.67	173.7	11.6	28.0	62.2	5.33	3.04	2.80	57	63	67.22	-	-	55.55	63.56	-	-	93.64
Tüvenan ros1	4.03	32.2	3.73	3.5	31.2	3.48	3.33	3.11	30	39	7.18	-	33.46	13.87	5.24	-	40.02	20.78
Tüvenan ros2	3.39	46.92	4.47	2.3	76.4	5.83	3.41	3.37	43	45	27.22	-	45.94	22.86	23.93	-	53.17	31.10
Kavak cevheri	2.88	46.46	3.77	2.9	35.2	4.48	3.13	2.54	43	52	32.38	-	37.44	17.82	25.86	-	43.71	39.69
Serpantin	2.49	38.05	5.67	2.3	13.9	2.96	2.48	2.42	52	61	38.69	-	25.28	21.82	22.74	-	34.21	30.80
Harsburgit	2.65	57.71	5.53	2.1	16.1	3.14	2.64	2.59	50	61	49.20	-	52.5	39.73	27.43	-	66.83	32.10
Trona U4	2.13	29.65	2.18	3.4	38.4	4.93	3.82	3.21	39	39	19.88	12.93	21.53	9.62	14.02	9.21	31.88	24.04

Çok katlı doğrusal regresyon analizi Excel programı kullanılarak yapılmıştır. Bütün parametreler programa girilmiş ve hangi değişkenlerin modele katılıp katılmayacağına student T veya F dağılımı kullanılarak karar verilmiştir.

6.4.1 Spesifik enerji SE2'nin kaya özellikleri ve spesifik enerji SE1 ve SE3'den yararlanılarak belirlenmesi

Tam boyutlu kazı setinde, d= 5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d'deki spesifik enerji değerleri (SE2), kayaç özellikleri ve küçük boyutlu kazı setinde yapılan d= 5 mm kesme derinliğindeki yardımsız spesifik (SE1) ve optimum s/d'deki spesifik (SE3) enerji değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir. 6.16 ve 6.17'deki eşitliklerde geliştirilen tahmin yöntemleri, çok katlı doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak verilmiştir. Geliştirilen modellerin regresyon katsayıları yüksek çıkmasına rağmen, T dağılımı ile modeller test edildiğinde, bazı bağımsız değişkenlerin gözlenen t-değeri, kritik t-değerinden küçük çıkmıştır. Bu nedenle bazı bağımsız değişkenlerin katsayıları anlamlı değildir ve regresyona katılmamalıdır.

$$SE2 = 0.150\sigma_c - 0.544\sigma_t - 0.004 E_s + 0.001 E_d - 18.624 V_p + 10.911 V_{s1} + 3.581 V_{s2} + 0.482 N-24 + 0.069 L-9 - 0.285 SE1 \quad R^2=0.99 \quad (6.16)$$

$$SE2 = 0.13\sigma_c - 0.572\sigma_t - 0.004 E_s + 0.0001 E_d - 25.975 V_p + 19.708 V_{s1} + 3.041 V_{s2} + 0.506 N-24 - 0.092 L-9 + 0.218 SE3 \quad R^2=0.99 \quad (6.17)$$

Bağımsız değişkenlerin hangilerinin tahmin yöntemlerine katılıp katılamayacağına karar vermek için adım adım regresyon metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde bağımlı ve bağımsız değişkenler kendi aralarında tekrar tekrar analiz edilir ve en uygun olanları otomatik olarak bulunur. Bu metot için MINITAB paket programı kullanılmıştır. Adım adım regresyon metodu uygulanarak en iyi regresyonu veren tahmin yöntemleri 6,18 ve 6,19'daki eşitliklerde verilmiştir. Çok katlı doğrusal regresyon analizinden elde edilen sonuçların toplu istatistik analiz sonuçları EK E'de verilmiştir.

$$SE2 = 0.119 \sigma_c - 0.003 E_s - 0.374 SE1 + 4.902 \quad R^2=0.96 \quad (6.18)$$

$$SE2 = 0.125\sigma_c - 0.003 E_s - 0.704 SE3 + 6.357 \quad R^2=0.95 \quad (6.19)$$

6.4.2 Spesifik enerji SE4'ün kaya özellikleri ve spesifik enerji SE1 ve SE3'den yararlanılarak belirlenmesi

Tam boyutlu kazı setinde, d= 5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d'deki spesifik enerji değerleri (SE4), kayaç özellikleri ve küçük boyutlu kazı setinde yapılan d= 5mm kesme derinliğindeki yardımsız spesifik (SE1) ve optimum s/d'deki spesifik (SE3) enerji değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir. 6.20 ve 6.21'deki eşitliklerde geliştirilen tahmin yöntemleri, çok katlı doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak verilmiştir. Geliştirilen modellerin regresyon katsayıları yüksek çıkmasına rağmen, T dağılımı ile modeller test edildiğinde, bazı bağımsız değişkenlerin gözlenen t-değeri, kritik t-değerinden küçük çıkmıştır. Bu nedenle bazı bağımsız değişkenlerin katsayıları anlamlı değildir ve regresyona katılmamalıdır.

$$SE4 = 0.173\sigma_c - 0.855\sigma_t - 0.005 E_s + 0.001 E_d - 33.224 V_p + 23.919 V_{s1} + 2.929 V_{s2} + 1.506 N-24 - 0.496 L-9 - 0.087 SE1 \quad R^2=0.99 \quad (6.20)$$

$$SE4 = 0.144\sigma_c - 0.898\sigma_t - 0.005 E_s + 0.002 E_d - 48.782 V_p + 41.356 V_{s1} + 1.789 V_{s2} + 1.638 N-24 - 0.818 L-9 + 0.997 SE3 \quad R^2=0.99 \quad (6.21)$$

Bağımsız değişkenlerin hangilerinin tahmin yöntemlerine katılıp katılamayacağına karar vermek için adım adım regresyon metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde bağımlı ve bağımsız değişkenler kendi aralarında tekrar tekrar analiz edilir ve en uygun olanları otomatik olarak bulunur. Bu metot için MINITAB paket programı kullanılmıştır. Adım adım regresyon metodu uygulanarak en iyi regresyonu veren tahmin yöntemleri 6,22 ve 6,23'deki eşitliklerde verilmiştir. Çok katlı doğrusal regresyon analizinden elde edilen sonuçların toplu istatistik analiz sonuçları EK E'de verilmiştir.

$$SE4 = 0.093 \sigma_c + 0.793 N-24 - 0.63 SE1 - 9.363 \quad R^2=0.93 \quad (6.22)$$

$$SE4 = 0.091 \sigma_c + 0.8 N-24 - 1.107 SE3 - 6.54 \quad R^2=0.92 \quad (6.23)$$

6.5 Çok Katlı Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi ve Geliştirilen Modeller

Tam boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerjiyi, kayaç özelliklerinden ve küçük boyutlu kazı deneylerinden tahmin etmek için çok katlı doğrusal olmayan çift logaritmik model regresyon analizi yapılmıştır. Çok katlı regresyon analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler toplu olarak Tablo 6.3'de verilmiştir. Bağımsız değişkenler olarak kayaçların, yoğunluğu, basınç ve çekme dayanımı, statik ve dinamik elastik modül değerleri, dalga hızları, Schmidt çekici değerleri ile küçük kazı setinden elde edilen spesifik değerleri, (çok katlı regresyon analizi için kesme derinliği 9 mm değerlerinin yeterli olmaması nedeniyle, 5 mm'de yapılan değerler) kullanılmıştır. Bağımlı değişkenler olarak tam boyutlu kazı setinden elde edilebilecek spesifik enerji değeri SE2 alınmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin logaritmaları alınarak regresyon analizine tabi tutulmuştur.

6.5.1 Spesifik enerji SE2'nin kaya özellikleri ve spesifik enerji SE1'den yararlanılarak belirlenmesi

Tam boyutlu kazı setinde $d=5$ mm kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d 'deki spesifik enerji değerleri (SE2), kayaç özellikleri ve küçük boyutlu kazı setinde yapılan $d=5$ mm kesme derinliğindeki yardımsız spesifik (SE1) enerji değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu tahmin için geliştirilen model eşitlik 5'de verilmiştir. Adım adım ileri seçim (stepwise), kullanılarak model test edildiğinde, SE2 spesifik enerji değerinin kayaçların basınç, ve N-24 Schmidt çekici değeri ile tahmin edilebileceği 6,24 ve 6.25'deki eşitliklerden bulunmuştur. Çok katlı regresyon analiz sonuçları EK E'de verilmiştir.

$$SE2 = -1.597 + 0.845\sigma_c + 0.891 N-24 - 0.371 SE1 \quad R^2=0.95 \quad (6.24)$$

$$SE2 = -0.946 + 0.815 \rho + 0.398\sigma_c + 0.668 N-24 \quad R^2=0.95 \quad (6.25)$$

Burada,

SE2 : Laboratuvar spesifik enerji değeri, MJ/m³

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, kg/cm²

N-24 : N-24 tipi Schmidt çekici değeri

SE1 : Laboratuvar spesifik enerji değeri, MJ/m³

ρ : Yoğunluk, gr/cm³

Regresyon modelinde bağımlı ve bağımsız değişkenler logaritmik olduğu için 6.24 ve 6.25 eşitliği logaritmik dönüşümle yeni 6.26 ve 6.27 eşitlikleri gibi yazılabilir.

$$SE2 = 0.03 \times \frac{\sigma_c^{0.845} \times (N - 24)^{0.891}}{SE1^{0.371}} \quad (6.26)$$

$$SE2 = 0.11 \times \rho^{0.815} \times \sigma_c^{0.398} \times (N - 24)^{0.668} \quad (6.27)$$

6.6 Geliştirilen Modellerin Doğruluk Testleri

Spesifik enerjinin tahmininin seçiminde aşağıdaki kriterler kullanılmıştır.

- Belirtme katsayısı (R^2) ve düzeltilmiş belirtme (R_d^2) katsayısı
- T-testini hesaplama
- F testini hesaplama

Belirtme katsayısı, kullanılan X değişkenlerinin Y 'deki toplam varyasyonu açıklayabilme oranını verir ve $0 < R^2 < 1$ arasındadır [51]. Bu katsayı; $R^2 = \text{Reg.K.T.} / \text{G.K.T.} = 1 - (\text{H.K.T.} / \text{G.K.T.})$ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada; Reg.K.T. : varyans analiz tablosundaki regresyon kareler toplamını, H.K.T. : hata kareler toplamını, G.K.T. : genel kareler toplamını göstermektedir. R^2 'nin büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu sonucunu göstermez. Çünkü, modele konu ile ilgili veya ilgisiz bir değişkenin eklenmesi R^2 'nin değerini artıracaktır. Dolayısıyla da büyük R^2 'si olan modeller her zaman tahmin yapmada en iyi model olmayabilir [87]. Ancak modele giren değişkenler yönünden bir problem yoksa pratikte iyi bir ölçüdür. R^2 'nin karekökü Y ile X değişkenleri arasındaki çoklu korelasyon katsayısını vermektedir.

Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R_d^2):

Bu katsayı, belirtme katsayısının (R^2) serbestlik derecesine göre düzeltilmiş şekli olup $R_d^2 = 1 - \{[(\text{H.K.T.} / (n-p)) / ((\text{G.K.T.} / (n-1)))]\} = 1 - [(n-1) / (n-p)](1 - R^2)$ formülü ile hesaplanır. Burada G.K.T. : varyans analiz tablosundaki genel kareler toplamını , H.K.T. : hata kareler toplamını göstermektedir. Yukarıdaki bilgilere ek olarak pratikte, modele giren bağımsız değişkenler ve gözlem sayısının (n) yeterliliği konusunda ön bilgiler verebilir [86,87]. Eğer R^2 ile R_d^2 değerleri çok farklı değilse

basit olarak kullanılan gözlem sayısının yeterli olduğu, aksi durumda ise anlamlı katkıları olmayan değişkenlerin modele dahil edildiği anlamını taşır. Modelin yeterliliği konusunda bilgi vermez.

6.16'dan 6.27'ye kadar olan eşitliklerinin belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.99, ve 0.99 gibi değişmektedir. Buradan görüldüğü gibi modellerin belirtme katsayıları oldukça yüksektir. Fakat bu modelin anlamlı olup olmadığını anlamak için yeterli şart değildir. Bu nedenle modellerin geçerlilikleri T-testi, F testleri ile sınanmıştır.

6.6.1 T-testi

Bu test yardımıyla çok katlı regresyon analizinde kullanılan tüm bağımsız değişkenlerin katsayılarının istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığı test edilebilmektedir. Örneğin, istatistik anlamlılık açısından 6.16 denkleminde basınç dayanımı katsayısını test etmek için, 0.150'yi (basınç dayanımı eğim katsayısı) 0.0214 e (basınç dayanımı tahmini standart hatası) bölündüğünde t gözlenen 6.98 değeri elde edilir. Modelin geçerli olup olmadığına istatistik kitabındaki bir tabloya bakılarak elde edilen kritik t değerinin mukayesesi yapılarak anlaşılır. Buradaki hipotez aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır ve sıfır hipotezi olarak adlandırılabilir.

H_0 hipotezi : $b = 0$ ise sıfır hipotezi kabul edilir, bu modelin geçersiz olduğu anlamına gelir.

H_1 hipotezi : $b \neq 0$ ise sıfır hipotezi reddedilir, bu modelin geçerli olduğu anlamına gelir.

Sonuç olarak hesaplanan yani gözlenen t değeri ile tablodan bulunan yani kritik t değeri birbirlerine eşitse veya küçükse sıfır hipotezi kabul edilir aksi takdirde reddedilir.

Spesifik Enerji (SE2)'nin kayaç özellikleri ve spesifik enerji (SE1)'den tahmini için geliştirilen modelde t gözlenen değeri 6.98 olarak elde edilmiştir. İstatistik tablosundan kritik t değeri aşağıdaki gibi bulunmaktadır. Modele giren veri sayısı 12 olduğundan serbestlik derecesi ($v_1 = k$ regresyon analizindeki değişkenlerin sayısı $= 10$ ve $v_2 = n - k = 12 - 10 = 2$ olarak bulunur. Serbestlik derecesi 2, alfa ise 0.05 olduğunda, t kritik tek uçlunun 1.94 olduğu görülmektedir. T'nin mutlak değeri

(17,7) 1.94'ten büyük olduğu için, spesifik enerjinin tahmin edilmesinde basınç dayanımı önemli bir değişkendir. Diğer bağımsız değişkenlerin her biri aynı şekilde istatistik anlamlılık açısından test edilebilir.

6.6.2 F-testi

F testi yardımıyla çok katlı regresyon analizi sonucunda elde edilen determinasyon katsayısının istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığı test edilebilmektedir. R^2 determinasyon katsayısı oluşturulan modellerde 0.99 olarak hesaplanmıştır. Bu sayı bağımsız değişkenler ile spesifik enerji değerleri arasında güçlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir. Böyle yüksek bir R^2 değeriyle, bu sonuçların rastlantısal olup olmadığını belirlemek için F istatistiği kullanılmaktadır.

Modelin geçerli olup olmadığına istatistik kitabındaki bir tabloya bakılarak elde edilen kritik F değerinin mukayesesi yapılarak anlaşılr. Buradaki hipotez aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır ve sıfır hipotezi olarak adlandırılabilir.

H_0 hipotezi : $b = 0$ ise sıfır hipotezi kabul edilir, bu modelin geçersiz olduğu anlamına gelir.

H_1 hipotezi : $b \neq 0$ ise sıfır hipotezi reddedilir, bu modelin geçerli olduğu anlamına gelir.

Sonuç olarak hesaplanan yani gözlenen F değeri ile tablodan bulunan yani kritik F değeri birbirlerine eşitse veya küçükse sıfır hipotezi kabul edilir aksi taktirde reddedilir.

Kısacası F gözlenen istatistiği, F kritik değerinden büyükse, değişkenler arasında bir ilişki vardır. F kritik değeri, birçok istatistik ders kitabında bulunan F kritik değerleri tablosuna bakılarak elde edilebilir. Örneğin, istatistik anlamlılık açısından 6.1 denkleminde R^2 determinasyon katsayısını test etmek için, tek uçlu bir test varsayılmıştır, 0.05'lik bir Alfa değeri kullanılmış ve serbestlik dereceleri için (çoğu tablo da v_1 ve v_2 olarak kısaltılmıştır), $v_1 = k = 10$ ve $v_2 = n - (k) = 12 - (10) = 2$ kullanılmıştır. Burada k regresyon analizindeki değişkenlerin sayısı, n ise veri noktaları sayısıdır. F kritik değeri 4.1'dir.

F gözlenen değeri 62.75, F kritik değeri ise 4.1 bulunmuştur. Sonuç olarak F gözlenen istatistiği, F kritik değerinden büyüktür ve değişkenler arasında önemli bir ilişki vardır. Bu nedenle, regresyon denklemi, spesifik enerjinin tahmininde yararlıdır.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüze kadar yapılan bilimsel çalışmalar göstermektedir ki spesifik enerjinin tahmininde kolay, uygulanabilir ve pratik yöntemlere gereksinim vardır. Mekanize kazı makinalarının verimliliğinin tahmininde spesifik enerji önemli yer tutmaktadır. Spesifik enerji değeri ne kadar düşüğe mekanize kazı makinalarının üretim kapasitesi o kadar yüksek ve verimlidir. Bu amaçla kaya kesme deneyleri spesifik enerjinin hesaplanmasına ağırlık verilerek planlanmıştır. Geliştirilen modeller tam boyutlu kazı deneylerinden elde edilen deneysel verilerle doğrulanmıştır.

Kayaçların kazılabilirlik tayininde, küçük boyutlu kazı deneyleri ile tam boyutlu kazı deneylerinin karşılaştırılması adlı bu çalışmada, 18 farklı özelliklere sahip kayaçlar üzerinde kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kaya kesme deneylerinde tam boyutlu ve küçük boyutlu doğrusal iki farklı kazı seti kullanılmıştır. Kayaçların fiziksel özelliklerini belirleyebilmek için; tek eksenli basınç ve çekme dayanımı, Schmidt çekici deneyi, dinamik ve statik elastik modül değerleri, sismik hız deneyi ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen veriler yardımıyla mekanize kazı makinalarının verimliliğini önceden kestirebilmek için modeller geliştirilmiştir. Bu modeller özellikle birim hacimdeki kayacı kesebilmek için gerekli spesifik enerjinin kayaçların fiziksel özelliklerinden ve küçük boyutlu kazı setinde yapılan kaya kesme deneylerinden tahmininde kullanılabilmektedir.

Her iki deney setinde de bağımlı değişkenler (kesme derinliği, keski arası mesafenin kesme derinliğine oranı, ve keski açısı) sabit tutularak bağımsız değişkenler (kesme kuvveti, normal kuvvet ve spesifik enerji değerleri) hesaplanmıştır. Kaya kesme deneylerinden edilen sonuçlar kayaçların farklı fiziksel özellikleri ile birlikte çok katlı regresyon analizine tabi tutularak modeller oluşturulmuştur. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile spesifik enerji değerleri arasında yüksek korelasyonlu ilişkiler bulunmuştur. Blok numune yerine temin edilmesi daha kolay olan karot numuneler kullanılarak performans tahmininin güvenilir bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. Küçük boyutlu kaya kesme

deneyleri ve fiziksel ve mekanik özellikler kullanılarak kazı makinalarının performansı daha pratik ve ucuz olarak tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Modeller, spesifik enerjinin tahmininde kayaçların fiziksel özellikleri ile kaya kesme deneyleri arasında istatistiksel anlamlı bir ilişkinin varlığını göstermektedir. Ayrıca modellerin geçerlilikleri çeşitli istatistik test yöntemleri ile ispatlanmıştır.

Bu çalışmada laboratuvar spesifik enerji değerleri dört gruba ayrılarak tanımlanmıştır ve aşağıdaki gibidir,

- SE1 Küçük boyutlu kazı setinde yapılan, $d= 5$ mm ve $d= 9$ mm kesme derinliğindeki yardımsız spesifik enerji değerleridir.
- SE3 Küçük boyutlu kazı setinde $d= 5$ mm ve $d= 9$ mm kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d 'deki spesifik enerji değerleridir.
- SE2 Tam boyutlu kazı setinde $d= 5$ mm ve $d= 9$ mm kesme derinliğindeki yapılan deneylerden elde edilen optimum s/d 'deki spesifik enerji değerleridir.
- SE4 Tam boyutlu kazı setinde yapılan, $d= 5$ mm ve $d= 9$ mm kesme derinliğindeki deneylerden elde edilen yardımsız spesifik enerji değerleridir.

Küçük ve büyük boyutlu kazı seti kaya kesme deneylerinden elde edilen SE1, SE2, SE3 ve SE4 spesifik enerji değerleri ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin varlığı istatistiksel olarak ortaya çıkarılmıştır. Özellikle mekanize kazı makinalarının kazı hızının tahmininde kullanılan optimum s/d (keskiler arası mesafenin kesme derinliğine oranı)'deki tam boyutlu kazı setinden elde edilen spesifik enerji değerinin, kayaç özelliklerinden ve küçük boyutlu kazı setinden tahmin edilebilmesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bölüm 6 da anlatılan ve istatistik kullanılarak elde edilen sonuçlar, spesifik enerji değerlerinin özellikle kayaçların basınç, çekme dayanımı ve Schmidt çekici değerlerinden yüksek korelasyon katsayısı ile hesaplanabileceğini göstermektedir. $d= 5$ mm kesme derinliğindeki küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen 9 mm kesme derinliğindeki optimum spesifik enerji 0.86 korelasyon katsayısı ile tahmin edilebilmektedir.

Spesifik enerji değeri birden fazla bağımsız değişkene bağlı olduğundan çok katlı doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleri yapılmıştır. Böylece kayaçların basınç dayanımı, çekme dayanımı, dinamik ve statik elastik modül değerleri, kayacın

sismik hız özellikleri ve Schmidt çekici (N24 ve L9 tipi) değerleri gibi birçok faktörün etkisi araştırılmıştır. SE2 ve SE4 spesifik enerji değerleri kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, küçük boyutlu kazı setinden elde edilen SE1 ve SE3 spesifik enerji değerleri ile yüksek regresyon katsayısı ile tahmin edilebilmektedir.

Ayrıca kesme derinliği 5 ve 9mm’de yapılan küçük boyutlu kaya kesme deneylerden elde edilen pasa irilik katsayıları SE1 ve SE3 spesifik enerji değerleri arasında regresyon analizine tabi tutulmuştur. Küçük boyutlu kazı setinde yapılan, d= 5 mm ve d= 9 mm kesme derinliğindeki, yardımsız spesifik enerji pasa irilik katsayıları (SE1) biliniyorsa, optimum s/d’deki spesifik enerji ve pasa irilik katsayıları (SE3) regresyon analizinden elde edilen eşitlikler yardımı ile tahmin edilebilmektedir. Bu da mekanize kazı yapan makinaların kazı esnasında ürettikleri pasanın boyutuna bakılarak verimli bir kazı yapıp yapmadığı hakkında ipucu vermektedir.

Günümüzde kademeli kollu galeri açma makinalarının üretim hızlarının kestirilmesinde en çok kullanılan yöntemler Tablo 7.1’de özetlenmiştir. Bu eşitlikler de ortak olarak kullanılan değişken kayaların tek eksenli basınç dayanımı değeridir. Bu çalışmada kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen optimum spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkiler Bölüm 6’da verilmiştir. Şekil 6.1 ve 6.2’den, kesme derinliği 5 mm ve 9 mm için tam boyutlu kazı setinden elde edilen optimum spesifik enerji değeri Eşitlik 7.1 ve 7.2’deki gibi bulunmuştur.

$$SE2 (MJ/m^3) = 0.05 \times \sigma_c + 7.57 \quad d = 5 \text{ mm için} \quad (7.1)$$

$$SE2 (MJ/m^3) = 0.28 \times \sigma_c^{0.70} \quad d = 9 \text{ mm için} \quad (7.2)$$

Kesme derinliği 5 ve 9 mm için, 10 ile 100 MPa arasında değişen tek eksenli basınç dayanımı değerleri, eşitlik 7.1 ve 7.2 kullanılarak, tam boyutlu kazı setinden elde edilebilecek, optimum SE2 spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 7.2’de verilmektedir.

Tablo 7.1 Kademeli kollu galeri açma makinaları için üretim hızı tahmin yöntemleri

Bilgin modeli [17]	$ICR = 0.28 * P * 0.974^{RMCI}$ $RMCI = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}}$
Thuro modeli [26,27]	$ICR = 75.7 - \ln (UCS)$
Gehring modeli [21]	$Arına dik ICR = \frac{719}{\sigma_c^{0.78}}$ $Arına paralel ICR = \frac{1739}{\sigma_c^{1.13}}$
Çopur modeli [33-35]	$ICR = 27.511 * e^{0.0023 * RPI}$ $RPI = P * W / UCS$ $BCR = 897.06(RCI)^2 + 6.1769(RCI)$ $RCI = UCS / (P * W * CHD)$

Burada

ICR : Kazı makinası ilerleme hızı, m³/h

σ_c : Kayacın basınç dayanımı, MPa

RQD : Kayaç kalite indeksi, %

P : Kademeli kazı makinasının gücü, kW

RMCI : Kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi

RPI : Kademeli kazıcı ilerleme indeksi

e : Doğal logaritma

W : Kademeli kazı makinasının ağırlığı, ton

BCR : Keski tüketim oranı, keski/m³

RCI : Kademeli kazıcı keski tüketim indeksi

CHD : Kesici kafa çapı, m

Tablo 7.2 Farklı tek eksenli basınç dayanımları için optimum spesifik enerji değerleri

σ_c (MPa)	SE2, 5 mm için (MJ/m ³)	SE2, 9 mm için (MJ/m ³)	SE2, 5 mm için (kWh/m ³)	SE2, 9 mm için (kWh/m ³)
10	12.6	7.0	3.5	2.0
20	17.6	11.4	4.9	3.2
30	22.6	15.2	6.3	4.2
40	27.6	18.6	7.7	5.2
50	32.6	21.7	9.1	6.0
60	37.6	24.7	10.4	6.9
70	42.6	27.5	11.8	7.6
80	47.6	30.2	13.2	8.4
90	52.6	32.7	14.6	9.1
100	57.6	35.2	16.0	9.8

Tam boyutlu kaya kesme deneyleri ile net kazı hızı Eşitlik 7.3 kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bu eşitlik için K katsayısı 0.8, ve 100 kW kesici kafa gücüne sahip arına paralel kazı yapan bir kademeli kollu makinası kabul edilmiştir.

$$Net\ kazı\ hızı\ (m^3/h) = Kx \frac{P}{SE_{opt}} \quad (7.3)$$

Burada

P : Kesici kafa gücü, kW

SE_{opt} : Optimum spesifik enerji, kWh/m³, Tam boyutlu kesme deneylerinden elde edilmektedir

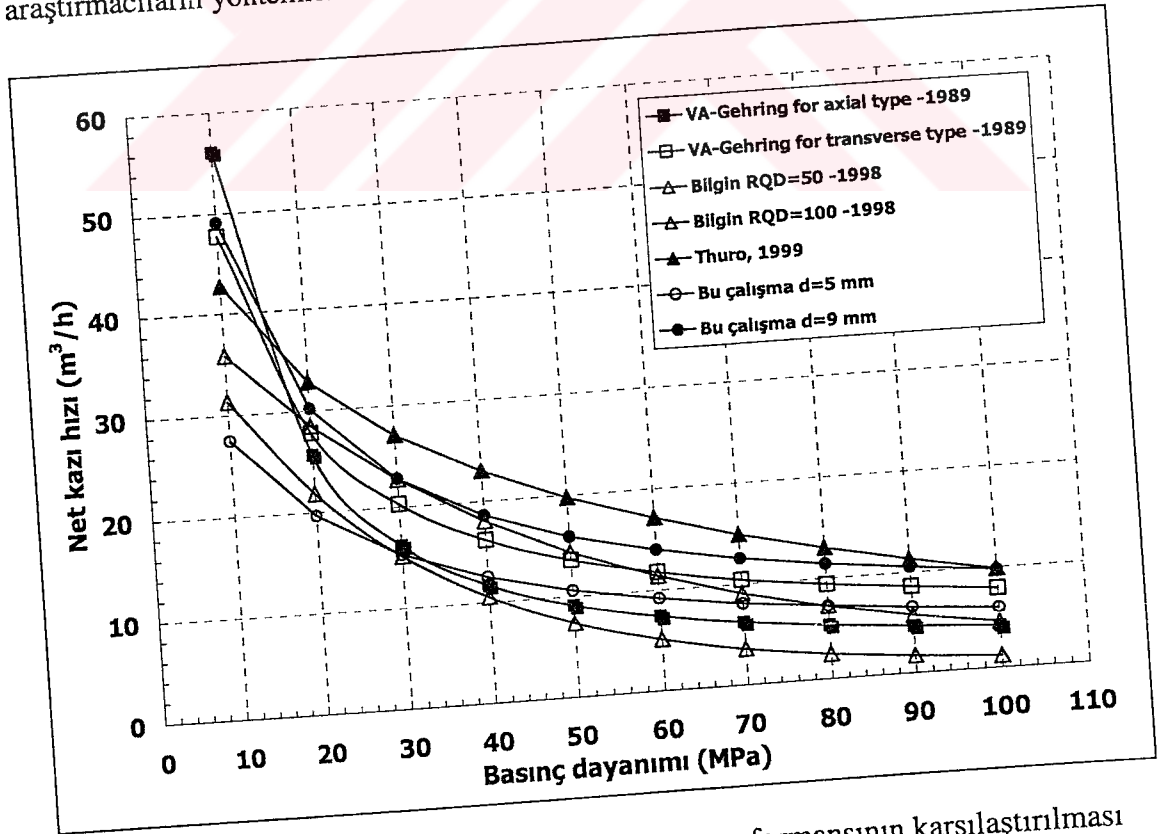
K : Kesici kafa gücünün kayaca iletme oranı, Kayaç kütlesi özelliklerine ve makina tipine bağlı olarak 0.6-0.8 kabul edilmektedir.

Tablo 7.2’de hesaplanan SE2 değerleri Eşitlik 7.3 kullanılarak her bir tek eksenli basınç dayanımı için net kazı hızları kesme derinliği 5 mm ve 9 mm için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 7.3’de verilmektedir.

Tablo 7.3 Farklı tek eksenli basınç dayanımları için net kazı hızı değerleri

σ_c (MPa)	ICR, 5 mm için (m ³ /h)	ICR, 9 mm için (m ³ /h)
10	27.5	49.1
20	19.7	30.2
30	15.3	22.8
40	12.5	18.6
50	10.6	15.9
60	9.2	14.0
70	8.1	12.6
80	7.3	11.5
90	6.6	10.5
100	6.0	9.8

10 ile 100 MPa arasında kabul edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri kullanılarak, Tablo 7.1'de özetlenen yöntemlerden net kazı hızları her bir yöntem için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile diğer araştırmacıların yöntemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. (Şekil 7.1)



Şekil 7.1 Kademeli kazı yapan makinalar için kazı performansının karşılaştırılması

Kesme derinliği 5 mm için, kayaların tek eksenli basınç dayanımlarından hesaplanan net kazı hızı tahmini, arına dik kazı yapan makinalar için geçerli olabileceği söylenebilir. Aynı şekilde kesme derinliği 9 mm için, kayaların tek eksenli basınç dayanımlarından hesaplanan net kazı hızı tahmini, arına paralel kazı yapan makinalar için geçerli olabileceği söylenebilir.

5 mm kesme derinliğindeki küçük boyutlu kazı setinden elde edilen yardımsız spesifik enerji değeri ile tam boyutlu kazı setinden elde edilen 9 mm kesme derinliğindeki optimum spesifik enerji arasında Şekil 6.8'den elde edilen 7.4 Eşitliği bulunmuştur.

$$SE2 \text{ (MJ/m}^3\text{)} = 0.62 \times SE1 + 0.75$$

$$R^2 = 0.86 \quad (7.4)$$

7.4 eşitliği, blok numune yerine temin edilmesi daha kolay olan karot numuneler kullanılarak, performans tahmininin güvenilir bir şekilde yapılabileceğini göstermektedir. Farklı SE1'ler için 7.4 eşitliği yardımı ile yeni SE2 spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. 7.3 eşitliği, aynı kabuller yapılarak (K katsayısı 0.8, ve 100 kW kesici kafa gücüne sahip arına paralel kazı yapan bir kademeli kollu makine) kazı hızları tahmin edilmiştir. Sonuçlar Tablo 7.4'de verilmektedir.

Tablo 7.4 Farklı SE1 değerlerinden SE2'nin tahmini ve net kazı hızı değerleri

SE1 (MJ/m ³)	SE2 (MJ/m ³)	SE2 (kWh/m ³)	ICR (m ³ /h)
5	3.85	1.1	74.7
10	6.95	1.9	41.4
15	10.05	2.8	28.6
20	13.15	3.7	21.9
25	16.25	4.5	17.7
30	19.35	5.4	14.9
35	22.45	6.2	12.8
40	25.55	7.1	11.3
45	28.65	8.0	10.0
50	31.75	8.8	9.1

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sınırlı kaya ve sınırlı keski tipleri için geçerlidir. Kalem uçlu keskinin kullanıldığı özellikle kollu galeri açma makinalarının kazı hızlarının önceden kestirilmesinde, deney koşulları dikkate alınarak geliştirilen eşitlikler kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Robbins, J.R.**, 1976. Mechanized tunnelling progress and expectation, *Tunnelling 76 Symposium*, London, 1-10.
- [2] **Bamford, W.E.**, 1987. Cuttability and drillability of rock, *Civ Coll Tech Report Engrs Australia, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, **24/1**, February, 22 – 25.
- [3] **Bilgin, N.**, 1994. Ulaşımında yeraltı kazıları I. sempozyumu, *T.M.M.O.B Maden Mühendisleri Odası*, İstanbul, 53-67.
- [4] **Bilgin, N.**, 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsan Yayınevi, İstanbul, 192.
- [5] **Yazıcı, S.**, 1984. Galeri açma makinalarının seçimi için kazılabilirliğin saptanması, *Madencilik Dergisi*, Mart, 23-32.
- [6] **Bölükbaşı, N.**, 1986. Yeraltı kömür ve kayaç kazı mekanizasyonu, *T.K.İ. Genel Müdürlüğü - Seminer No.4*, Ankara, Ağustos, 13-17.
- [7] **Copur, H., Rostami, J., Özdemir, L., Bilgin, N.**, 1997. Studies on performance prediction of roadheaders based on field data in mining and tunneling projects, *Fourth International Symposium on Mine Mechanization and Automation*, Brisbane, Queensland, 1, 1-7.
- [8] **Breeds, C.D. and Convay, J.J.**, 1992. Rapid excavation, *SME Mining Handbook*, Editor: H.L. Hartman, 2nd Edition, 2, 22.1.
- [9] **Bilgin, N., Shahriar, K.**, 1987. Madenlerde mekanize kazı için bir ölçme sisteminin geliştirilmesi ve TTK Amasra kömür bölgesine uygulanışı, Tübitak Proje No:674, 99.
- [10] **McFeat, S., Fowell, R.J.**, 1977. Correlation of rock properties and the cutting performance of tunneling machines, *Proc. Conference on Rock Engineering*, The University of Newcastle Upon Tyne, 581-602.

- [11] McFeat, S., Fowell, R.J., 1977. Rock property testing and the cutting performance of tunneling machines, *Tunnels and Tunneling*, March, 19-32.
- [12] McFeat, I., Fowell, R.J., 1979. The selection and application of roadheaders for rock tunneling, *RETIC Proceedings*, Atlanta USA, 1/16, 261-279.
- [13] Rostami, J., Özdemir, L. and Neil, D.M., 1994. Performance prediction a key issue in mechanical hard rock mining, *Mining Engineer*, November, 1263-1267.
- [14] Özdemir, L., 1975. A laboratory and field investigation of tunnel boreability, *M.Sc. Thesis*, T1755, Colorado School of Mines, Golden, CO, 184.
- [15] Bilgin, N., 1983. Prediction of roadheader performance from penetration rates of percussive drills: Some applications to Turkish Coalfields, *Proc. Eurotunnel'83 Conf.* 22-24 June, Switzerland, 111-114.
- [16] Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1998. Goldenhorn clean-up contributes valuable data, *Tunnels and Tunneling*, June, 41-44.
- [17] Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1988. İstanbul Eyüp tüneline galeri açma makinası ile elde edilen sonuçlar ve bunların maden mühendiliği açısından önemi, *Madencilik Dergisi*, 27/2, 9-15.
- [18] Aleman, V.P., 1983. Prediction of cutting rates for boom type roadheaders, *Tunnels and Tunneling*, 15, Jan., 23-25.
- [19] Sandbak, L.A., 1985. Roadheader drift excavation and geomechanical rock classification at San Manuel, Arizona, *Proceedings Rapid Excavation and Tunneling Conference*, 2, 902-916.
- [20] Farmer, I.W. and Garritty, P., 1987. Prediction of roadheader cutting performance from fracture toughness considerations, *Proc. 6th Int. Cong. On Rock Mechanics*, Montreal, Canada, 1, 621-624.
- [21] Gehring, K.H., 1989. A cutting comparison, *Tunnels and Tunnelling*, Nov. 27-30.
- [22] Matsui, K., Shimada, H., 1993. Rock impact hardness index for predicting cuttability of roadheader, *Proc. 2nd Symp. On Mine Mechanization and Automation*, 7-10 June, Lulea, Sweden, 265-270.

- [23] Neil, D.M., Rostami, J., Ozdemir, L., Gertsch, R., 1994. Construction and estimating techniques for underground development and production using roadheaders, *SME Annual Meeting*, Phoenix, Arizona, 1-7.
- [24] Schneider, H., 1988. Criteria for selecting a boom type roadheader, *Mining Magazine*, Sep., 183-187.
- [25] Schimazek, J., Knatz, H., 1970. The influence of rock structure on the cutting speed and pick wear of heading machines, *Gluckauf*, **106**, 274-278.
- [26] Thuro, T. and Plinninger, R.J., 1999. Roadheader excavation performance - geological and geotechnical influences, *9th ISRM Congress, Theme 3: Rock dynamics and tectonophysics / Rock cutting and drilling*, 25 - 28 August, 1241-1244.
- [27] Thuro, T., 2003. Predicting roadheader advance rates: Geological challenges and geotechnical answers, *50th Years Symposium of The Faculty of Mines / Istanbul Technical University*, The Underground Resources of Turkey Today and Future, 5-8 June, Istanbul, Turkey, 1241-1247.
- [28] Plinninger, R.J., Spaun, G. and Thuro, K., 2002. Predicting tool wear in drill and blast, *Tunnels & Tunnelling International*, **4**, 38-41.
- [29] Thuro, K. and Plinninger, R.J., 1999. Predicting roadheader advance rates, *Tunnels & Tunnelling International*, **6**, 36-39.
- [30] Thuro, K. and Plinninger, R.J., 2003. Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting: rock parameters for excavatability. *Proceedings of the 10th ISRM Int. Congr. on Rock Mech.*, Johannesburg, South Africa, 8-12 September, 1227-1234.
- [31] Thuro, K. and Spaun, G., 1996. Drillability in hard rock drill and blast tunnelling, *Felsbau*, **14**, 103-109.
- [32] Thuro, K. and Spaun, G., 1996. Introducing 'destruction work' as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunnelling, *Eurock '96*, Rotterdam, Brookfield, Balkema, 707-713.
- [33] Copur, H., 1999. Theoretical and experimental studies of rock cutting with drag bits towards the development of a performance prediction model for roadheaders, *Ph.D. thesis*, Colorado School of Mines, Golden, CO, 362.

- [34] **Copur, H.**, 2000. Overview of roadheader applications in Turkish mining and civil construction industries, *Proc. 9th International symposium of mine planning and equipment selection*, Athens, 6-9 November, 533-537.
- [35] **Copur, H., Ozdemir, L., Rostami, J.**, 1998. Roadheader applications in mining and tunneling industries, *Mining engineering*, March, 38-42.
- [36] **Farmer, I.W., Glossop, N.H.**, 1980. Mechanics of disc cutter penetration, *Tunnels and Tunneling*, 12, Jan., 22-25.
- [37] **Graham, P.C.**, 1976. Rock exploration for machine manufacturers, *Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering*, Johannesburg, South Africa, Nov., 173-180.
- [38] **Lislerud, A.**, 1988. Hard rock tunnel boring: Prognosis and costs, *Tunnelling and Underground Space Tech*, 3/1, 9-17.
- [39] **Peach, T.**, 1994. TBM optimisation, *World Tunnelling*, April, 120-123.
- [40] **McFeat-Smith, I., Tarkoy, P.J.**, 1979, Assessment of Tunnel Boring Machine Performance, *Tunnels and Tunnelling*, 33-37.
- [41] **Barton, N.**, 1999. TBM performance estimation in rock using QTBM, *Tunnels and Tunnelling International*, Sep., 30-34.
- [42] **Hughes, H.M.**, 1986. The relative cuttability of coal-measures stone, *Mining science and Technology*, 3/2, 95-109.
- [43] **Howarth, D.F.**, 1986. Review of rock drillability and borability assessment methods, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, Section A, A191-A202.
- [44] **Bamford, W.E.**, 1984. Rock test indices are being successfully correlated with tunnel boring machine performance, *Fifth Australian Tunnelling Conference*, Sydney, 218-221.
- [45] **Cassinelli, F.**, 1982. Power consumption and metal wearing tunnel-boring machines: analysis of tunnel-boring operation in hard rock, *Tunnelling'82, IMM*, London, 73-81.

- [46] **Rostami, J.**, 1997. Development of a force estimation model for rock fragmentation with disc cutters through theoretical modeling and physical measurement of crushed zone pressure, *Ph.D. Thesis*, Colorado School of Mine, Golden CO, 382.
- [47] **Rostami, J., Ozdemir, L.**, 1993. A new model for performance prediction of hard rock TBMs., *Proceeding of RETC*, Boston MA, June 13-17, 793-809.
- [48] **Yazıcı, S., Acaroğlu, Ö., Arapoğlu, B., Bilgin, N., Eskikaya, Ş.**, 1996. Sürekli yüzey kazıcıların bir kömür ocağına uygulanmasında incelenmesi gerekli kazılabilirlik kriterleri, *10. Türkiye Kömür Kongresi*, 20-24 Mayıs, Ankara.
- [49] **Toprak, T., Tüfekçi, E.**, 1997. *Deneyisel gerilme analizi*, İTÜ Makina fakültesi sürekli eğitim kursları, İstanbul.
- [50] **Window, A.L. and Holister, G.S.**, 1988. *Strain gauge technology*, London Englewood, N.J. Applied Science Book, 356.
- [51] **Edwin, J.H.**, 1971. *Strain Gauges*, Merrow Publishing Co. Ltd, ISBN: 0900541245.
- [52] **Dally, J.W. and Riley, W.F.**, 1965, *Experimental stress analysis*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [53] **Measurement Group**, 1999. MM engineering data sheet, Micro Measurement Division, Measurement Group, Inc., Raleigh, North Carolina.
- [54] **Dalziel, J.A., Jordan, D.W., Whittaker, D.**, 1968. Force dynamometers for coal and rock cutting research, *Journal of Strain Analysis*, 3/2, 81-89.
- [55] **Price, D.L., Aust, M.I.E.**, 1984. Design and performance of a solid-plate tri axial force dynamometer for use in coal cutting research, *The Institution of Engineers, Mechanical Engineering Transactions*, Australia, 122-142.
- [56] **ESAM**, 1999. Katolog, Measurement Group, Inc., Raleigh, North Carolina.
- [57] **Drew, S.D., Hignett, H.J., Johnson, P.E., Crabb, G.I.**, 1979. A pillar dynamometer to measure the forces on discs cutting through rock, *The Institution of Mechanical Engineers*, 193/7, 169-175.

- [58] **Kel, K.**, 2003. Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçlarının kazılabilirliğinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, ZKE Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] **Tunçdemir, H.**, 2002. Kollu galeri açma makinelerinin veya benzer makinelerin cevher kazısında kullanımlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] **Demirçin, M.A.**, 2002. Tüf numunelerinin kesilme özellikleri, *Gelişme raporu*, İTÜ Maden Fakültesi.
- [61] **Brown, E.T.**, 1981. Rock characterization testing and monitoring ISRM suggested methods, Oxford, 211.
- [62] **ASTM**, D2938-86, 2003. Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens.
- [63] **ASTM**, D3967-92, 2003. Standard test method for splitting tensile strength of intact rock core specimens.
- [64] **Atkinson, R.H.**, 1993. Hardness tests for rock characterization. A chapter in *Comprehensive Rock Engineering*, Rock testing and site characterization, Pergamon Press, **3**, 107.
- [65] **Hucka, V.A.**, 1965. A rapid method for determining the strength of rocks in-situ. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, **2**, 127 –134.
- [66] **Poole, R.W., Farmer, I.W.**, 1980. Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field-testing, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts* , **17**, 167 –171.
- [67] **Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H.**, 2002. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages, *Tunnelling and Underground Space Technology* **17** , 237 –247.
- [68] **Kahraman, S., Fener, M., Gunaydin, O.**, 2002. Predicting the Schmidt hammer values of in – situ intact rock from core sample values, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **39**, 395 –399.

- [69] Li, X., Rupert, G., Summers, D.A., Santi, P., Liu, D., 2000. Analysis of impact hammer rebound to estimate rock drillability. *Rock Mech Rock Eng.*, **33/1**, 1-13.
- [70] Goktan, M., Ayday, C., 1993. A suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability, *International Journal of Rock Mechanics and Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **30/3**, 321-322.
- [71] Us, E., 1993. Sismik yöntemler ve yorumlamaya giriş, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- [72] CNS Electronics Ltd., Pundit portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester, *Operating Manual*, London.
- [73] King, M.S., 1983. Static and dynamic elastic properties of rocks from the Canadian shield. *Int.J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **20/5**, 237-241.
- [74] Kahraman, S., 2002. Estimating the direct P wave velocity value of intact rock from indirect laboratory measurements, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, **39**, 101 –104.
- [75] ASTM, D3148-96, 2003. Standard test method for elastic moduli of intact rock core specimens in uniaxial compression.
- [76] Balci, C. and Bilgin, N., 2001. Estimating the specific energy from rock properties for selection of rapid excavation systems, *MPES Tenth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, November 19-21, New Delhi, India, 393-400.
- [77] Copur, H., Tuncdemir, H., Bilgin N., Dincer, T., 2001. Specific energy as a criterion for use of rapid excavation systems in Turkish mines. *Trans Inst Min Metall Section*, A;110:A149.
- [78] Goktan, R.M., 1992. Technical note- a theoretical comparison of the performance of drag picks in relation to coal-strength parameters, *The South African Institute of Mining and Metallurgy*, **92/4**, 85-87.
- [79] Speight, H.E., 1997. Observations on drag tool excavation and the consequent performance of roadheaders in strong rock, *The Australian Institute of Mining and Metallurgy Proceedings*, No 1, 17-32.

- [80] **Parviz, F.R.**, 1975. Muck evaluates machines, *Tunnels and Tunnelling*, January, 30-33.
- [81] **L. Gertsch, Fjeld, A., Nilsen, B. and Gertsch, R.**, 2000. Use of TBM muck as construction material, *Tunnelling Underground Space Technology*; **15/4**, 379 –402.
- [82] **Özdemir, L.**, 1995. Mechanical mining, *Short Course Notebook*, Colorado School of Mines, Mining Engineering Department, Golden, CO.
- [83] **Kel, K., Akçin, N.A., Tuçdemir, H., Bilgin, N.**, 2001. Cuttability characteristics of some high strength rocks for roadheaders selection in Zonguldak Coalfield, *MPES Tenth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection* , November 19-21, New Delhi, India, 789-795.
- [84] **Kahraman, S.**, 1997. Aşık işletmelerde optimum delme-patlatma şartlarını veren bir modelin geliştirilmesi, *Doktora tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 333.
- [85] **Minitab**, 2001. Statistical software manual.
- [86] **Sahinler, S.**, 2000. En küçük kareler yöntemi ile doğrusal regresyon modeli oluşturmanın temel prensipleri, *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, **5/2**, 57-73.
- [87] **Montgomery D.C. and Peck, E.A.**, 1992. Introduction to linear regression analysis, *John Willey and Sons, Inc.* New York, 527.
- [88] **Levine, D.M., Berenson, M.L. and Stephan, D.**, 2001. Statistics for managers using microsoft excel. *Prentice-Hall Press*, 913.

EKLER

EK A: Küçük Boyutlu Kazı Setinde Yapılan Toplu Deney Verileri

Tablo A.1 Acıgöl tüfünde d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri.

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	FN (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.160	23.0	0.096	0.88	1.76	0.26	0.54	9.1
2	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.160	18.6	0.078	0.64	1.18	0.20	0.36	8.2
3	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.160	21.0	0.088	0.78	1.51	0.28	0.59	8.9
4	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.150	23.1	0.103	0.72	1.71	0.26	0.58	7.0
5	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.160	23.7	0.099	0.74	1.79	0.27	0.59	7.4
6	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.165	21.3	0.086	0.76	1.48	0.23	0.51	8.8
7	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.140	20.6	0.099	1.20	2.07	0.43	0.60	12.2
8	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.140	25.7	0.123	1.05	1.98	0.41	0.73	8.5
9	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.150	24.0	0.107	0.92	1.96	0.40	0.71	8.6
10	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.160	25.0	0.105	1.01	2.08	0.40	0.72	9.6
11	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.160	22.5	0.094	0.96	1.91	0.35	0.79	10.1
12	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.160	27.3	0.114	1.16	2.21	0.39	0.78	10.2
13	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.155	25.6	0.111	1.33	2.47	0.44	0.80	12.0
14	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	14	0.165	27.1	0.110	1.28	2.33	0.48	0.92	11.6
15	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.165	27.3	0.111	1.21	2.14	0.45	0.90	10.9
16	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.150	26.1	0.117	1.68	2.83	0.58	1.01	14.4
1	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.120	57.6	0.322	3.15	6.29	1.17	2.26	9.8
2	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.115	39.8	0.232	1.69	3.27	0.62	1.17	7.3
3	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.120	39.4	0.220	1.43	3.96	0.42	1.23	6.5
4	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.120	40.1	0.224	1.57	3.43	0.53	1.11	7.0
5	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.110	65.4	0.399	2.80	5.15	1.07	1.91	7.0
6	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.110	53.1	0.324	2.30	5.13	0.92	1.81	7.1
7	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.110	54.8	0.334	3.36	6.02	1.36	2.00	10.1
8	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.120	59.3	0.332	2.66	5.32	1.10	1.60	8.0
9	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.080	45.9	0.385	3.11	4.96	1.24	1.86	8.1
10	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.080	43.3	0.363	2.68	4.93	1.18	1.77	7.4
11	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.090	52.9	0.395	3.42	5.79	1.36	1.97	8.7
12	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.105	59.5	0.380	3.12	5.38	1.12	1.96	8.2
13	Acıgöl	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.100	45.4	0.305	3.33	5.40	1.26	2.30	10.9

Tablo A.2 Gelveri tütünde d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.140	30.0	0.128	2.00	4.35	0.86	1.83	15.6
2	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.140	21.5	0.092	1.23	3.07	0.53	1.27	13.4
3	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.140	21.7	0.093	0.80	2.74	0.35	1.16	8.6
4	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.155	23.0	0.089	0.91	2.73	0.41	0.97	10.3
5	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.155	32.2	0.124	1.33	3.13	0.50	1.15	10.7
6	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.150	27.5	0.110	1.28	3.09	0.53	1.27	11.6
7	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.160	27.3	0.102	0.84	2.35	0.41	0.88	8.2
8	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.150	27.7	0.110	1.04	3.21	0.46	0.93	9.4
9	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.135	28.7	0.127	1.87	4.84	0.87	1.87	14.7
10	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.145	29.2	0.120	1.55	3.65	0.74	1.55	12.9
11	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.150	29.7	0.119	1.57	4.24	0.69	1.59	13.2
12	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	20	0.150	30.4	0.121	0.94	3.10	0.39	1.43	7.7
13	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.145	31.1	0.128	1.74	3.58	0.75	1.36	13.6
14	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.145	24.2	0.100	1.30	3.13	0.55	1.35	13.0
1	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.110	60.6	0.330	4.87	9.87	1.98	3.91	14.8
2	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.105	45.4	0.259	2.83	5.96	1.25	2.66	10.9
3	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.100	45.1	0.270	2.81	5.88	1.20	2.22	10.4
4	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.105	42.9	0.245	2.05	5.52	0.79	1.94	8.4
5	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.115	47.2	0.246	2.10	7.96	0.77	2.08	8.6
6	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.100	46.7	0.280	2.49	7.39	1.01	2.34	8.9
7	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.090	46.3	0.308	2.78	7.21	1.30	2.57	9.0
8	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.100	58.1	0.348	4.96	9.93	2.25	3.92	14.3
9	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.125	71.1	0.341	3.85	8.62	1.66	3.80	11.3
10	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.125	68.4	0.328	3.20	7.41	1.39	2.06	9.8
11	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.100	51.8	0.310	4.81	9.96	2.21	4.26	15.5
12	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.090	46.3	0.308	4.34	9.73	1.82	3.97	14.1
13	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.100	61.2	0.367	3.94	8.45	1.77	3.36	10.7
14	Gelveri	9/21/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.100	60.2	0.361	4.29	8.75	1.84	4.02	11.9

Tablo A.3 Göstük tüfünde d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.165	33.2	0.112	3.28	5.79	1.22	2.02	29.3
2	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.185	27.1	0.081	1.52	3.55	0.63	1.10	18.6
3	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.180	26.2	0.081	1.68	3.81	0.68	1.28	20.7
4	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.175	27.7	0.088	1.78	4.15	0.73	1.67	20.2
5	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.150	31.3	0.116	2.62	5.46	1.05	2.10	22.6
6	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.170	37.2	0.122	2.43	4.66	1.02	2.35	20.0
7	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.175	32.7	0.104	2.87	5.10	1.09	2.08	27.7
8	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.160	30.5	0.106	2.29	4.32	0.96	1.87	21.7
9	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.155	34.6	0.124	2.21	4.74	0.82	1.64	17.9
10	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.165	33.5	0.113	2.08	3.99	0.83	1.69	18.4
11	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.155	34.8	0.125	2.21	4.57	0.81	1.54	17.7
12	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.185	35.6	0.107	2.42	4.49	0.98	1.64	22.7
13	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.165	33.6	0.113	2.19	4.51	0.85	1.58	19.3
14	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.155	32.5	0.116	2.21	4.82	0.84	1.74	19.0
15	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.130	28.9	0.123	2.22	5.32	0.74	1.83	18.0
1	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.130	48.4	0.207	4.58	10.18	1.65	4.17	22.1
2	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.110	35.2	0.178	3.58	8.07	1.36	2.74	20.1
3	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.115	43.8	0.212	3.45	7.24	1.27	2.14	16.3
4	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.115	41.8	0.202	3.64	7.91	1.33	2.78	18.1
5	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.120	48.3	0.224	6.48	9.29	2.56	2.98	29.0
6	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.115	41.5	0.201	4.61	10.77	1.79	4.28	23.0
7	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.100	40.6	0.225	3.75	9.21	1.70	2.70	16.6
8	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.080	32.8	0.228	3.95	8.82	1.54	3.34	17.4
9	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.100	38.9	0.216	4.50	7.26	1.74	3.17	20.8
10	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.100	39.6	0.220	4.08	8.07	1.63	2.36	18.6
11	Göstük	9/18/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.080	32.5	0.225	4.10	8.12	1.75	2.82	18.2

Tablo A.4 Kızıl kaya tütünde d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	FC (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.140	18.3	0.076	0.87	2.04	0.30	0.78	11.40
2	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.140	18.5	0.077	0.68	1.43	0.27	0.81	8.83
3	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.150	16.8	0.066	0.89	1.92	0.34	0.69	13.62
4	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.150	17.7	0.069	0.91	1.68	0.35	0.71	13.17
5	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.145	24.8	0.100	1.12	2.51	0.43	0.89	11.22
6	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.150	23.1	0.090	1.11	2.15	0.43	0.93	12.34
7	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.135	20.8	0.090	0.93	2.07	0.36	0.76	10.35
8	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.130	22.0	0.099	1.43	2.68	0.54	1.12	14.46
9	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.145	19.1	0.077	1.23	2.55	0.51	0.96	15.95
10	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.125	20.2	0.095	1.32	2.30	0.52	0.78	14.01
11	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.120	19.3	0.094	1.60	2.83	0.68	1.24	17.05
12	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.130	20.7	0.093	1.13	2.57	0.46	1.07	12.18
13	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.140	19.7	0.082	1.21	2.63	0.47	1.00	14.74
14	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.130	20.6	0.093	1.05	2.12	0.43	0.75	11.28
15	Kızıl kaya	9/19/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.125	19.3	0.090	2.02	3.10	0.86	1.49	22.38
1	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.105	48.1	0.268	3.66	4.93	1.19	2.03	13.67
2	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.130	44.8	0.201	1.68	2.85	0.60	1.24	8.36
3	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.150	45.1	0.176	1.15	2.71	0.41	0.97	6.55
4	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.125	55.3	0.259	2.11	4.40	0.73	1.62	8.16
5	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.105	40.6	0.226	1.61	3.01	0.56	1.24	7.10
6	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.120	41.0	0.200	1.37	2.54	0.46	0.88	6.87
7	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.130	50.4	0.227	3.11	5.15	1.12	2.04	13.72
8	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.135	57.0	0.247	1.96	4.39	0.74	1.79	7.94
9	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.140	61.1	0.255	2.77	5.10	1.01	1.96	10.86
10	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.125	50.4	0.236	2.54	4.69	0.96	1.63	10.76
11	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.125	49.2	0.230	3.22	5.14	1.19	1.93	14.00
12	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.135	36.2	0.157	1.06	2.88	0.37	1.05	6.79
13	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.105	45.0	0.250	3.28	5.16	1.24	2.16	13.12
14	Kızıl kaya	9/20/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.105	44.2	0.246	3.22	4.90	1.16	2.00	13.07

Tablo A.5 Kızıl kaya pembe tütünde d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ² /km)	FC (kN)	FC (kN)	FN (kN)	FN (kN)	SE (MJ/m ²)
1	Kızıl kaya pembe	31/8/2000	Kama	1.16-0.98	2	yardımsız	0.220	10.9	0.029	0.27	0.64	0.13	0.28	9.5
2	Kızıl kaya pembe	31/8/2000	Kama	1.16-0.98	2	yardımsız	0.220	10.3	0.027	0.31	0.67	0.14	0.31	11.3
3	Kızıl kaya pembe	31/8/2000	Kama	1.16-0.98	3	yardımsız	0.180	15.1	0.049	0.79	1.53	0.32	0.60	16.2
4	Kızıl kaya pembe	31/8/2000	Kama	1.16-0.98	3	yardımsız	0.200	15.7	0.046	0.85	1.60	0.31	0.62	18.5
5	Kızıl kaya pembe	31/8/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.200	27.2	0.079	2.54	4.03	1.04	1.65	32.1
6	Kızıl kaya pembe	31/8/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.180	30.7	0.100	2.84	4.18	1.28	1.82	28.5
1	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.180	29.3	0.095	2.46	3.77	1.08	1.61	25.9
2	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	0	0.180	17.3	0.056	0.93	1.74	0.31	0.65	16.5
3	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	0	0.185	18.9	0.060	0.89	1.58	0.32	0.68	14.9
4	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.185	27.6	0.087	1.68	3.17	0.64	1.29	19.3
5	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.180	24.5	0.080	1.52	2.94	0.59	1.17	19.1
6	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.170	22.5	0.077	1.66	3.41	0.62	1.35	21.4
7	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.200	30.9	0.090	2.48	4.18	1.04	1.75	27.5
8	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.180	30.1	0.098	1.86	3.39	0.75	1.35	19.0
9	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.185	36.0	0.114	1.78	3.87	0.72	1.49	15.6
10	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.155	31.6	0.119	2.41	4.47	1.00	1.81	20.2
11	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.180	30.2	0.098	1.89	3.36	0.73	1.36	19.3
12	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.150	31.5	0.123	2.12	3.78	0.93	1.52	17.3
13	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.165	26.2	0.093	2.18	4.46	0.85	1.63	23.5
14	Kızıl kaya pembe	31/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.185	31.2	0.099	2.74	4.48	1.19	1.81	27.8
1	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.200	67.5	0.197	5.69	8.08	2.26	3.01	28.9
2	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.210	56.9	0.159	2.74	5.27	0.82	2.30	17.3
3	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.200	58.6	0.171	2.64	5.15	0.84	2.25	15.4
4	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.200	84.7	0.248	4.09	5.82	1.33	2.74	16.5
5	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.200	80.1	0.234	4.80	8.10	1.85	2.90	20.5
6	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.200	78.8	0.230	3.42	5.52	1.17	2.80	14.8
7	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.200	95.6	0.280	4.52	6.43	1.62	2.66	16.2
8	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	unrelieved	0.200	74.3	0.217	5.12	8.02	2.05	3.02	23.6
9	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.185	92.8	0.293	4.81	6.76	1.91	3.18	16.4
10	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.180	75.3	0.245	5.24	7.43	2.10	3.25	21.4
11	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.145	50.7	0.205	5.38	8.57	2.16	3.65	26.3
12	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.175	65.4	0.219	5.14	7.74	2.05	3.34	23.5
13	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	16	0.185	65.6	0.207	3.73	6.94	1.52	3.13	18.0
14	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.185	50.3	0.159	2.79	6.40	1.04	2.26	17.6
1	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.160	75.4	0.276	4.57	7.18	1.70	3.46	16.6
2	Kızıl kaya pembe	4/9/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.165	69.3	0.246	5.27	9.20	2.02	3.62	21.5

Tablo A.6 Selime üst tüzünde d=5 mm. 'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.175	25.5	0.098	0.63	1.01	0.21	0.41	6.4
2	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.185	30.3	0.110	0.41	0.76	0.08	0.26	3.7
3	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.185	24.0	0.087	0.42	0.79	0.10	0.25	4.8
4	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.185	24.1	0.087	0.39	0.62	0.12	0.23	4.5
5	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.170	26.8	0.106	0.54	0.88	0.15	0.31	5.1
6	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.175	24.8	0.095	0.49	0.88	0.17	0.32	5.2
7	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.180	27.0	0.101	0.51	1.01	0.19	0.42	5.0
8	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.175	27.6	0.106	0.68	1.18	0.31	0.48	6.4
9	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.170	24.7	0.098	0.43	0.79	0.16	0.28	4.5
10	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.170	24.5	0.097	0.47	0.84	0.17	0.26	4.9
11	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.170	25.9	0.102	0.55	0.97	0.21	0.32	5.4
12	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.170	24.6	0.097	0.42	0.79	0.16	0.24	4.3
13	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	30	0.170	24.6	0.097	0.53	0.98	0.14	0.35	5.4
14	Selime Üst	5/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	30	0.185	27.4	0.099	0.64	1.12	0.18	0.36	6.5
1	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.140	60.8	0.292	1.75	2.74	0.64	0.98	6.0
2	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.150	54.4	0.243	0.91	1.43	0.26	0.44	3.8
3	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	9	0.165	57.1	0.232	0.82	1.35	0.26	0.41	3.5
4	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.150	84.4	0.378	1.81	2.46	0.63	1.04	4.8
5	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.140	73.3	0.351	1.20	2.35	0.40	0.76	3.4
6	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.145	57.3	0.265	1.76	2.42	0.60	0.92	6.6
7	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.150	73.3	0.328	1.62	2.48	0.55	0.88	5.0
8	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.140	64.2	0.308	1.56	2.40	0.54	0.86	5.1
9	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.145	54.4	0.252	1.72	2.49	0.58	0.84	6.8
10	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.145	63.9	0.296	1.74	2.71	0.56	0.84	5.9
11	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	18	0.130	66.2	0.342	1.52	2.38	0.53	0.88	4.5
12	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	45	0.135	56.7	0.282	1.77	2.51	0.56	0.93	6.3
13	Selime Üst	11/1/2000	Kama	1.16-0.98	9	27	0.130	61.3	0.316	1.83	2.16	0.61	0.78	5.8

Tablo A.7 Sıfı Dragos kıltaşı d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.135	31.91	0.086	3.41	6.77	2.19	3.74	39.87
2	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.13	27.18	0.076	2.91	6.05	1.62	3.78	38.47
3	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.135	27.92	0.075	2.48	6.07	1.56	3.85	33.07
4	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.12	23.01	0.069	2.38	5.29	1.49	3.12	34.20
5	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.14	37.52	0.097	3.14	8.32	1.93	4.98	32.38
6	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.14	37.96	0.098	4.35	7.71	2.86	4.71	44.28
7	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.14	36.82	0.095	3.38	7.82	2.01	4.29	35.43
8	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	20	0.13	43.59	0.121	3.94	8.18	2.53	5.26	32.47
9	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.13	30.08	0.084	4.74	9.18	3.07	5.81	56.57
10	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	20	0.13	41.79	0.116	3.46	7.48	2.22	5.24	29.69
11	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	20	0.135	40.88	0.110	3.80	7.37	2.42	5.12	34.60
12	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	30	0.14	36.9	0.095	5.28	9.07	3.42	5.60	55.29
13	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	30	0.14	56.64	0.147	4.77	11.68	2.62	6.45	32.52
14	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.145	39.48	0.099	5.20	9.54	3.18	6.02	52.71
15	Sıfı Dragos Kıltaşı	27/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	30	0.14	47.65	0.123	4.64	9.12	3.00	5.48	37.61
1	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	yardımsız	0.145	58.35	0.146	5.80	13.24	3.06	5.95	39.79
2	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	14	0.125	63.26	0.183	6.51	11.21	3.84	6.19	35.53
3	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	14	0.13	65.41	0.182	5.71	10.87	3.43	6.08	31.35
4	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	28	0.14	65.08	0.168	4.39	7.97	2.35	4.25	26.04
5	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	7	0.145	40.01	0.100	2.28	6.10	1.34	2.78	22.82
6	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	7	0.14	47.56	0.123	2.46	7.13	1.30	3.37	20.02
7	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	yardımsız	0.1	39.22	0.142	5.84	13.07	3.48	7.10	41.14
8	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	28	0.145	60.19	0.150	4.97	9.82	2.69	4.86	33.04
9	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	42	0.145	61.92	0.155	4.92	9.09	2.73	4.62	31.81
10	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	7	0.14	40.24	0.104	2.83	5.74	1.51	2.68	27.20
11	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	yardımsız	0.145	63.28	0.158	7.63	13.43	4.11	7.65	48.28
12	Sıfı Dragos Kıltaşı	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	7	42	0.145	64.56	0.161	5.56	9.60	2.89	5.52	34.46

Tablo A.8 Kumtaşı1 ve Kumtaşı4, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	30.3	0.090	4.98	9.85	2.91	5.53	55.39
2	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.130	20.2	0.057	2.62	6.49	1.86	3.33	45.71
3	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.140	21.4	0.057	2.31	5.10	2.32	4.08	40.91
4	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	24.4	0.091	3.87	7.24	3.91	5.99	42.77
5	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.125	27.8	0.082	2.77	7.12	3.20	5.81	33.64
6	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.130	28.4	0.081	3.34	7.59	3.71	4.94	41.32
7	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.135	20.5	0.056	2.32	6.15	2.68	5.15	41.38
8	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.130	26.8	0.076	4.05	10.11	5.59	8.12	53.12
9	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.125	23.7	0.070	3.20	8.71	5.08	8.01	45.64
10	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.125	23.4	0.069	4.12	8.26	5.70	7.45	59.51
11	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.120	25.9	0.080	4.12	7.01	5.13	6.77	51.60
12	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.115	20.3	0.065	3.47	8.13	6.22	9.25	53.06
13	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	24.0	0.071	4.40	10.52	7.29	5.57	61.88
14	Kumtaşı 1	28/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.125	26.2	0.078	4.62	9.55	8.61	6.87	59.54
1	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.130	21.6	0.061	7.30	15.21	5.41	8.09	118.82
2	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.125	19.4	0.058	3.58	10.46	3.47	6.48	62.17
3	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.120	17.5	0.054	3.44	9.41	3.70	6.86	63.71
4	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.110	20.8	0.070	4.00	11.16	4.02	6.97	57.10
5	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.110	19.6	0.066	3.98	11.30	4.70	8.15	60.37
6	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.110	19.3	0.065	3.71	8.62	4.10	6.37	57.15
7	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.130	18.2	0.052	3.16	8.01	3.50	6.05	60.99
8	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	18.5	0.055	6.09	14.13	5.21	8.46	111.39
9	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.125	29.9	0.089	5.66	13.82	4.01	9.63	63.98
10	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.130	34.0	0.097	5.03	11.29	5.12	7.98	51.94
11	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.120	29.4	0.091	4.71	9.82	5.88	8.28	51.83
12	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.125	22.0	0.065	5.51	11.15	6.57	8.78	84.66
13	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	20.1	0.060	6.04	15.29	5.83	10.09	101.28
14	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.110	22.7	0.076	5.92	12.87	5.79	9.33	77.54
15	Kumtaşı 4	29/9/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.110	20.6	0.069	4.09	10.04	6.58	8.87	59.04

Tablo A.9 Silttaşı5 ve Kireçtaşı, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.110	27.8	0.094	6.12	11.48	4.22	6.81	65.42
2	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.120	22.4	0.069	2.79	6.91	2.28	4.14	40.29
3	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.120	22.9	0.071	3.57	8.68	2.94	4.42	50.42
4	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	27.9	0.103	5.40	10.24	3.96	6.17	52.33
5	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.110	24.1	0.081	3.54	9.71	2.35	5.20	43.74
6	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	23.4	0.087	4.39	8.94	3.03	5.27	50.67
7	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.110	27.8	0.094	5.08	10.60	4.43	7.46	54.36
8	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.095	24.7	0.096	4.49	10.02	3.64	6.99	46.56
9	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.110	24.4	0.082	3.59	8.99	3.75	5.97	43.68
10	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.120	29.4	0.091	3.39	8.55	3.33	5.89	37.33
11	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.110	19.7	0.066	3.08	7.40	3.27	5.08	46.46
12	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.115	25.4	0.082	4.70	11.57	4.24	7.47	57.53
13	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.085	20.2	0.088	4.60	8.57	3.57	5.80	52.34
14	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.100	22.6	0.084	4.66	9.62	4.73	7.41	55.73
15	Silttaşı5	2/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.110	25.2	0.085	4.29	8.77	4.32	6.48	50.61
1	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.115	25.6	0.082	5.63	13.85	2.92	6.19	68.39
2	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.115	19.4	0.063	4.05	9.82	2.10	4.62	64.65
3	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.115	19.9	0.064	3.68	10.94	1.96	4.94	57.56
4	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.110	25.2	0.085	4.61	11.32	2.17	5.31	54.32
5	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.115	26.8	0.086	4.62	11.60	2.22	5.71	53.62
6	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.115	19.5	0.063	3.70	9.71	1.94	4.65	58.84
7	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.110	25.8	0.087	6.14	11.34	3.11	5.64	70.71
8	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.110	25.7	0.086	4.96	11.03	2.65	5.95	57.40
9	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.110	30.1	0.101	6.30	13.62	3.08	7.05	62.29
10	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.110	22.0	0.074	3.25	9.24	1.84	5.32	43.88
11	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.100	25.8	0.095	6.91	13.87	3.72	7.23	72.41
12	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.105	30.4	0.107	7.63	13.26	3.85	7.16	71.27
13	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.100	22.2	0.082	4.44	11.60	2.16	4.78	54.04
14	Kireçtaşı	3/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.100	24.3	0.090	5.75	12.08	2.93	4.84	64.01

Tablo A.10 Kumtaşı2 ve Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş1, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F ^c (kN)	FN (kN)	F ⁿ (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	26.5	0.079	5.28	11.52	5.58	9.21	67.22
2	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.120	20.5	0.063	4.18	8.54	5.37	8.28	66.08
3	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.120	19.6	0.060	4.62	10.07	6.86	9.90	76.56
4	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.130	20.1	0.057	3.82	8.68	8.64	10.67	66.67
5	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.130	20.9	0.060	3.60	9.02	8.53	11.41	60.44
6	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.125	21.0	0.062	4.03	8.82	9.98	12.89	64.71
7	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.115	25.5	0.082	3.94	11.32	10.44	12.08	48.03
8	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.120	19.0	0.059	3.66	7.05	10.88	12.50	62.59
9	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.130	21.2	0.060	4.00	10.49	7.63	11.28	66.36
10	Kumtaşı 2	4/10/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.135	20.4	0.056	3.30	7.46	8.23	10.96	58.92
1	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.085	45.3	0.197	1.25	2.98	0.81	1.64	6.34
2	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.095	34.1	0.133	0.77	1.96	0.56	1.24	5.80
3	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.100	40.3	0.149	1.08	2.88	0.75	1.91	7.25
4	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.090	40.6	0.167	0.88	2.26	0.69	1.49	5.29
5	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	40.9	0.151	1.01	2.82	1.18	1.94	6.64
6	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	43.3	0.160	1.08	2.70	1.47	2.90	6.74
7	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.085	38.0	0.165	1.33	3.30	1.01	2.33	8.02
8	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.090	42.0	0.173	0.75	1.67	0.69	1.39	4.37
9	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.090	48.4	0.199	1.22	2.39	1.32	1.94	6.10
10	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.090	39.5	0.163	1.26	2.97	0.95	1.75	7.75
11	Tüvenan Ros1	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.090	34.3	0.141	1.25	3.10	1.06	2.15	8.87

Tablo A.11 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Ros2 ve Kavak kromit cevheri, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.130	41.1	0.117	3.29	5.90	2.37	4.13	28.1
2	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.130	37.3	0.106	3.06	5.49	2.04	3.42	28.9
3	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.130	36.3	0.103	3.41	6.76	2.49	4.62	33.0
4	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.135	48.9	0.134	3.17	6.07	2.16	4.35	23.6
5	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.120	48.4	0.149	3.62	6.81	2.66	4.85	24.2
6	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.120	47.1	0.145	3.05	5.78	1.68	3.37	21.0
7	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.135	47.7	0.131	3.44	6.05	2.30	4.22	26.3
8	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.130	46.0	0.131	3.36	6.38	2.55	4.66	25.6
9	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.135	49.3	0.135	3.64	6.65	2.47	4.83	26.9
10	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.100	38.3	0.142	3.21	6.37	2.27	4.19	22.6
11	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.130	47.5	0.135	4.31	7.29	3.22	5.71	31.9
12	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.120	44.9	0.139	3.25	6.18	2.28	4.01	23.5
13	Tuvenan Ros2	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.130	34.7	0.099	2.81	5.79	2.17	3.88	28.4
1	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.120	40.9	0.126	4.28	6.49	1.88	2.80	33.9
2	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.115	29.7	0.096	2.65	4.79	1.17	1.97	27.7
3	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.125	31.9	0.094	2.73	4.82	1.34	2.18	28.9
4	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.125	41.5	0.123	2.89	6.52	1.39	3.03	23.5
5	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.115	35.8	0.115	3.86	7.04	1.91	3.41	33.5
6	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.100	29.9	0.111	3.02	6.05	1.53	2.72	27.3
7	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	40.2	0.119	3.85	6.52	1.82	2.82	32.3
8	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.100	28.0	0.104	3.13	5.52	1.50	2.43	30.2
9	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.100	38.1	0.141	2.96	5.26	1.62	2.57	21.0
10	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.080	28.4	0.132	4.88	8.40	2.63	3.66	37.1
11	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.125	35.4	0.105	3.24	5.73	1.57	2.42	30.9
12	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.090	28.7	0.118	3.63	6.38	1.83	2.53	30.8
13	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.110	29.3	0.099	4.05	5.63	1.83	2.38	41.2
14	Kavak Cevheri	27/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.120	40.1	0.124	2.54	5.90	1.28	2.69	20.5

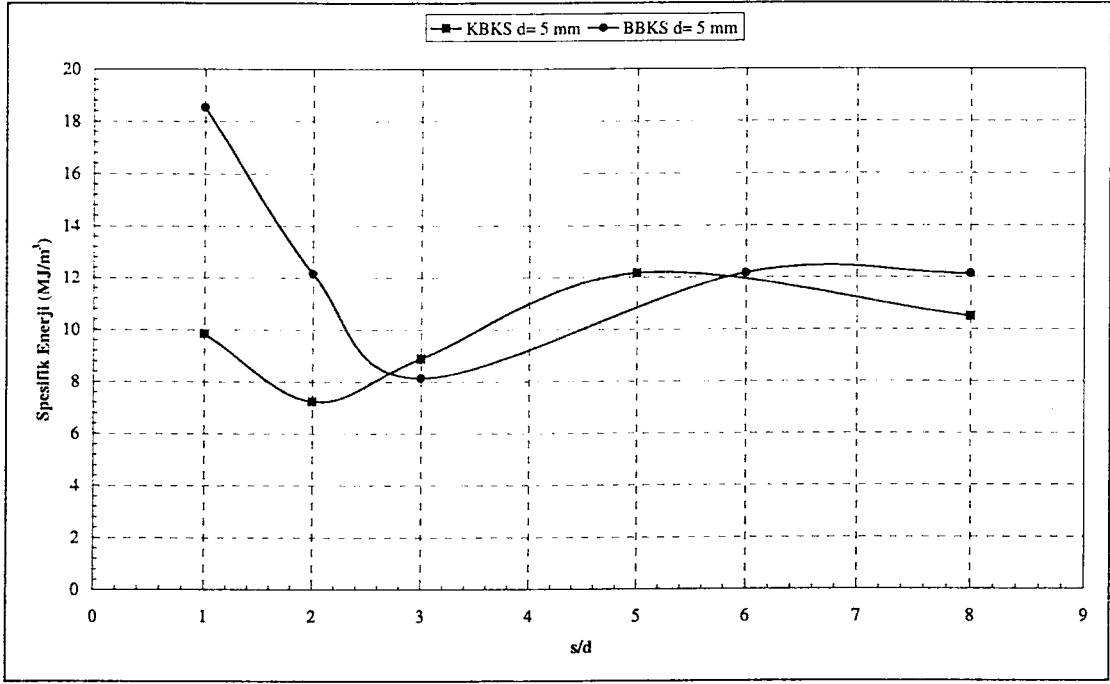
Tablo A.12 Pınarbaşı-Pulpınar Serpantin ve Harsburgit yankayacı, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	FN (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.085	36.3	0.158	5.20	12.46	2.76	5.24	32.93
2	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.080	19.3	0.089	2.97	6.03	1.37	2.64	33.23
3	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.080	18.6	0.086	2.35	6.57	1.44	2.30	27.32
4	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	31.6	0.117	2.65	8.74	1.69	4.77	22.60
5	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.090	33.7	0.139	3.24	9.17	1.90	5.61	23.41
6	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.090	21.3	0.088	2.29	6.01	1.05	2.38	26.11
7	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.095	37.2	0.145	5.04	12.93	2.50	6.13	34.83
8	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.090	39.8	0.164	3.40	6.43	1.52	3.22	20.74
9	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.085	36.0	0.157	3.88	8.21	2.16	5.32	24.75
10	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.100	35.6	0.132	2.95	7.54	1.46	3.17	22.37
11	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.075	21.8	0.108	5.20	10.24	2.71	4.48	48.32
12	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.080	30.4	0.141	5.39	10.13	3.07	6.76	38.25
13	Serpantin	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.085	34.3	0.149	5.13	11.94	2.87	6.15	34.33
1	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.095	30.7	0.120	5.70	11.97	3.02	6.25	47.59
2	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.100	28.3	0.105	3.86	8.29	1.98	4.57	36.81
3	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	5	0.105	25.6	0.090	3.15	8.18	1.89	4.20	34.92
4	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.080	23.8	0.110	3.32	9.65	2.00	6.47	30.14
5	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	10	0.065	19.3	0.110	3.44	6.29	2.01	4.19	31.38
6	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.075	23.5	0.116	5.89	12.07	3.10	6.57	50.79
7	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	15	0.055	23.8	0.160	4.40	9.24	2.37	4.56	27.43
8	Harsburgit	28/11/2000	Kama	1.16-0.98	5	25	0.060	21.3	0.132	5.86	11.26	2.65	4.87	44.54

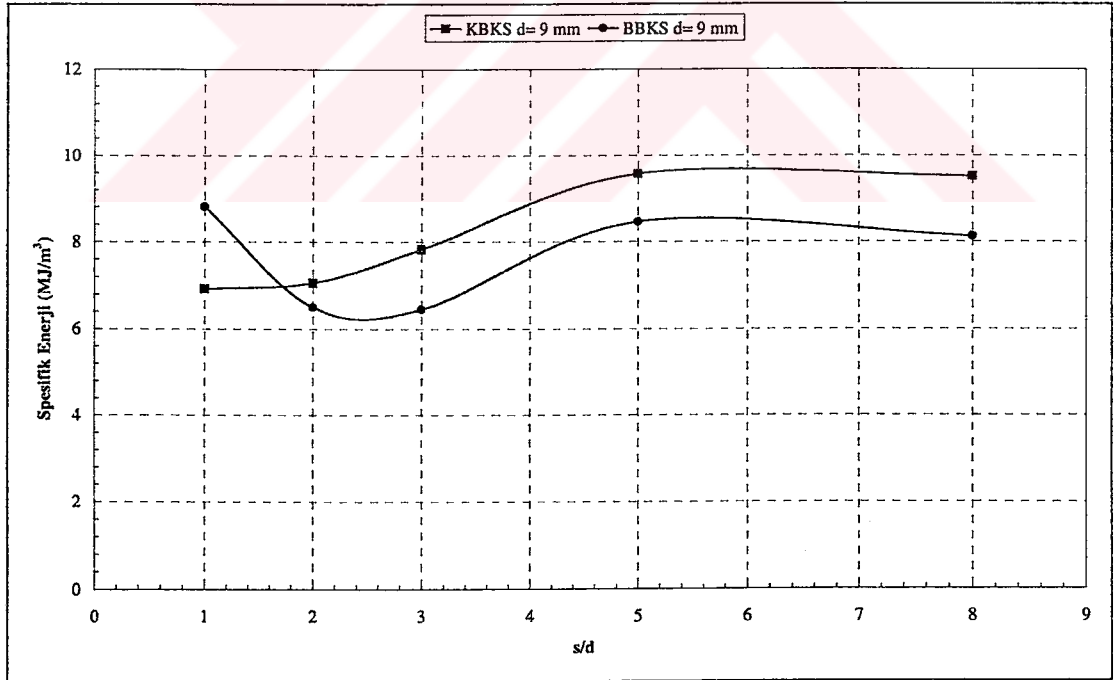
Tablo A.13 Beypazarı TronaU4, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

Deney No	Kayaç Adı	Tarih	Keski Cinsi	Kalib.Kat. FC-FN	d (mm)	s (mm)	L (m)	g (gr)	Q (m ³ /km)	FC (kN)	F'C (kN)	FN (kN)	F'N (kN)	SE (MJ/m ³)
1	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.175	34.0	0.091	2.04	4.02	0.64	1.44	22.38
2	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	5	0.175	27.9	0.075	1.43	3.79	0.42	1.12	19.10
3	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	5	0.165	25.4	0.072	1.36	3.37	0.37	1.08	18.78
4	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	10	0.180	40.9	0.107	1.44	3.82	0.41	1.20	13.54
5	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.165	37.2	0.106	1.90	3.98	0.55	1.54	17.93
6	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	10	0.165	35.1	0.100	1.45	3.79	0.43	1.29	14.50
7	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	15	0.175	37.5	0.101	1.72	3.69	0.51	1.18	17.12
8	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	15	0.175	35.7	0.096	1.73	3.87	0.53	1.29	18.08
9	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	yardımsız	0.180	38.6	0.101	1.94	4.23	0.47	1.32	19.32
10	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	25	0.185	44.4	0.113	1.83	4.12	0.58	1.39	16.23
11	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	5	25	0.180	39.4	0.103	2.12	4.24	0.52	1.28	20.67
1	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.180	116.3	0.303	3.74	13.49	0.84	3.75	12.35
2	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	9	0.160	56.5	0.166	1.52	5.70	0.30	1.18	9.20
3	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	9	0.150	61.0	0.191	1.75	6.30	0.33	1.40	9.15
4	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.160	104.2	0.306	3.77	11.15	0.62	3.58	12.32
5	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	18	0.160	93.5	0.274	2.64	8.01	0.63	2.22	9.64
6	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	18	0.145	94.7	0.306	2.69	8.16	0.57	2.02	8.78
7	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	27	0.160	101.0	0.296	3.61	9.99	0.77	3.38	12.18
8	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	27	0.160	99.5	0.292	3.22	8.71	0.51	2.58	11.03
9	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	yardımsız	0.165	97.1	0.276	3.90	13.59	0.62	2.72	14.13
10	Trona U4	10/1/2001	Kama	1.16-0.98	9	45	0.165	93.0	0.265	3.94	13.36	0.65	3.57	14.89

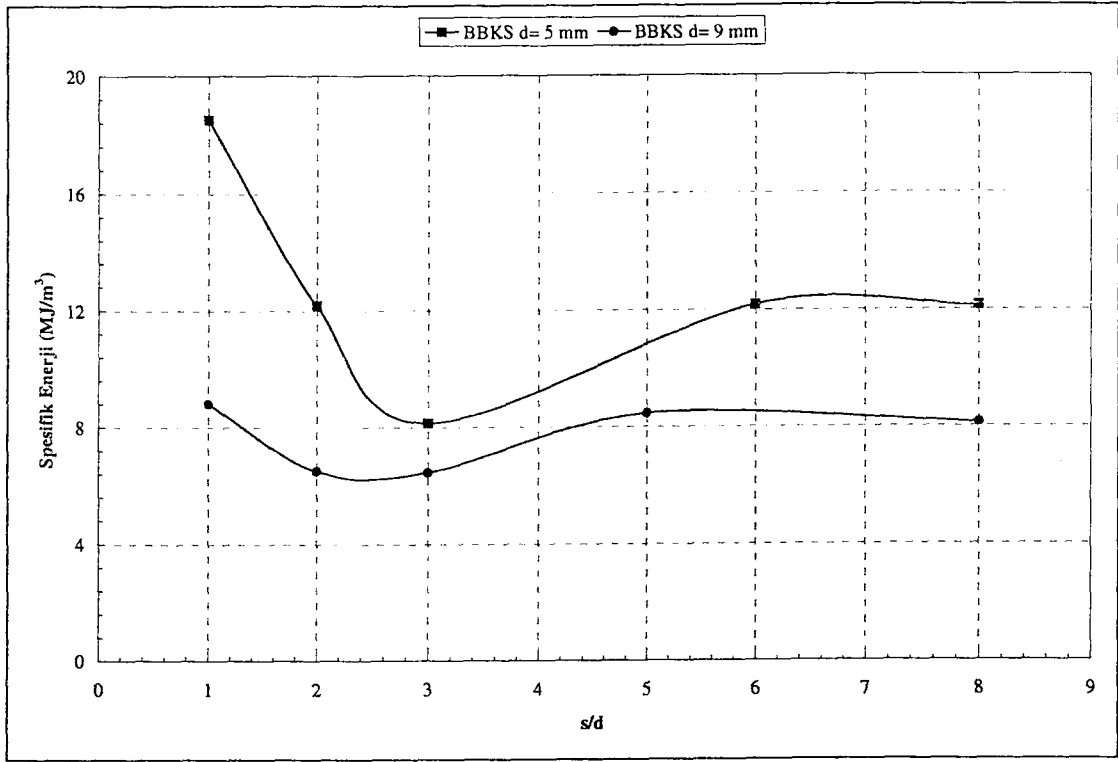
EK B: Büyük ve Küçük Boyutlu Kazı Setinde Yapılan Deneylerden elde Optimum
Spesifik Enerji Verileri



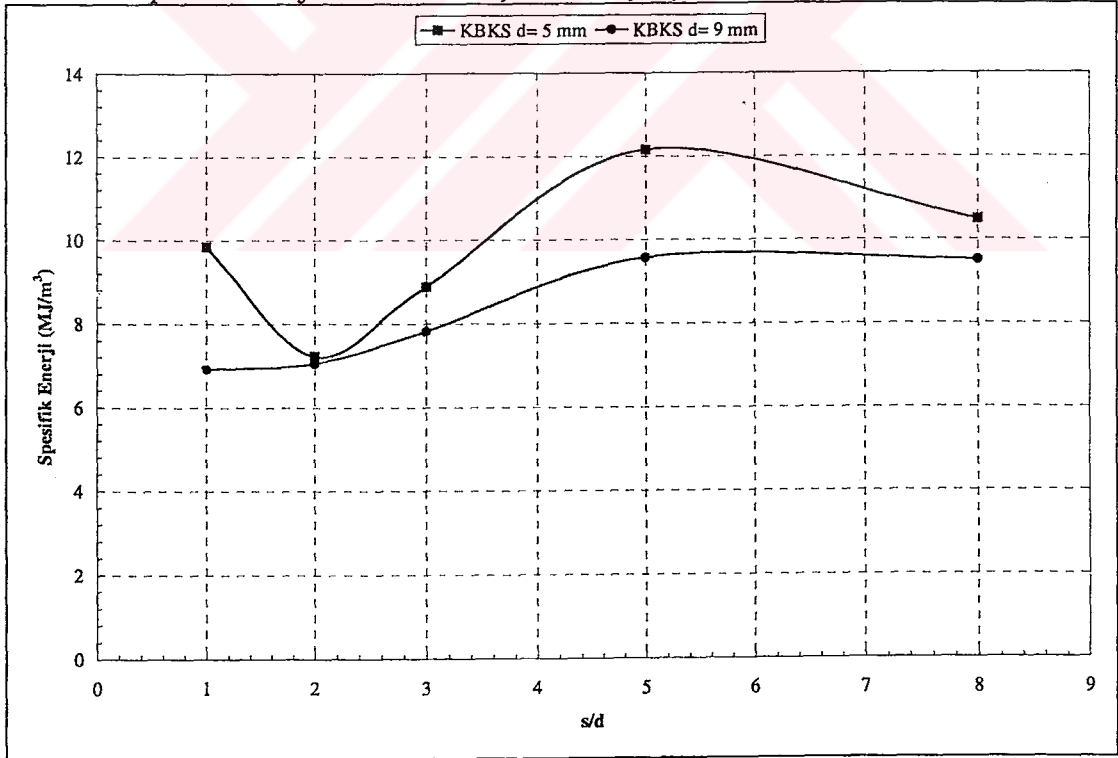
Şekil B.1 Acıgöl tufünde $d = 5$ mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



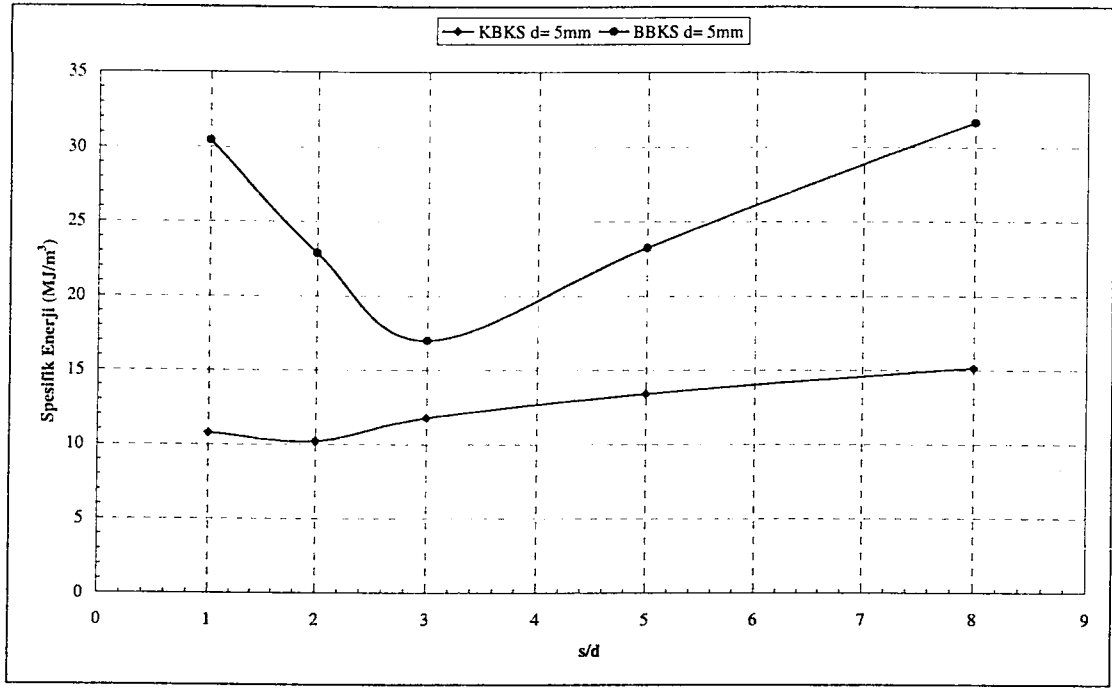
Şekil B.2 Acıgöl tufünde $d = 9$ mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



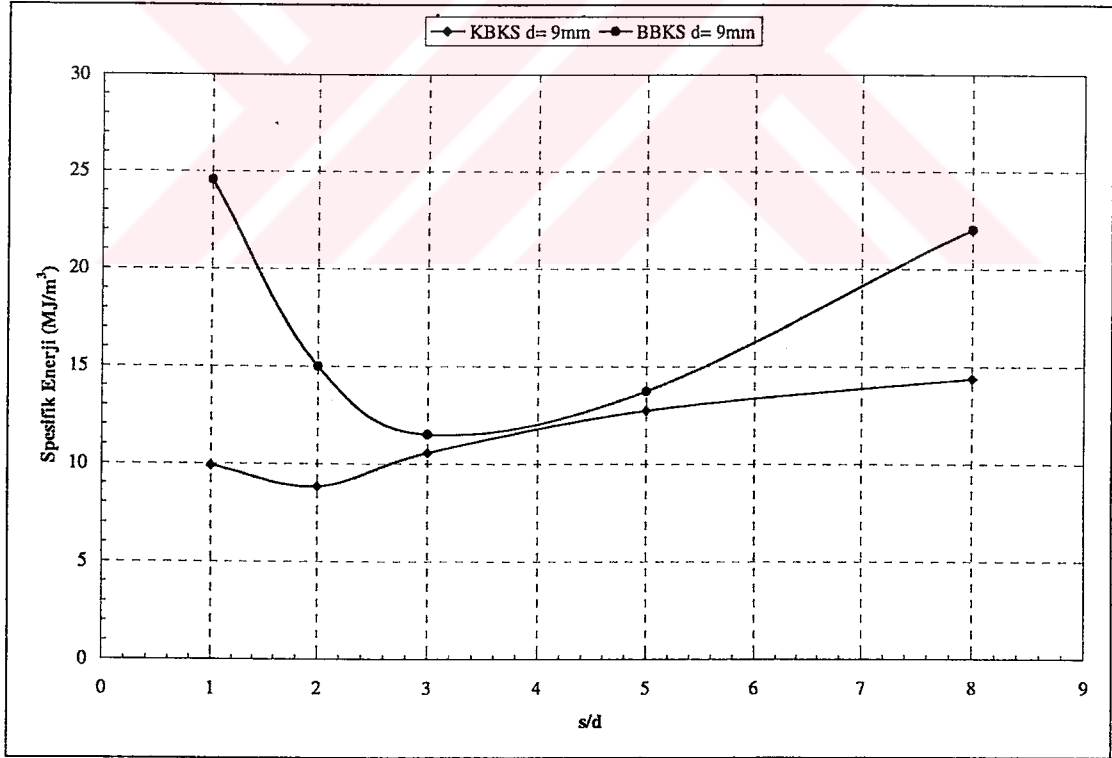
Şekil B.3 Acıgöl tufünde $d = 5$ ve 9 mm'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



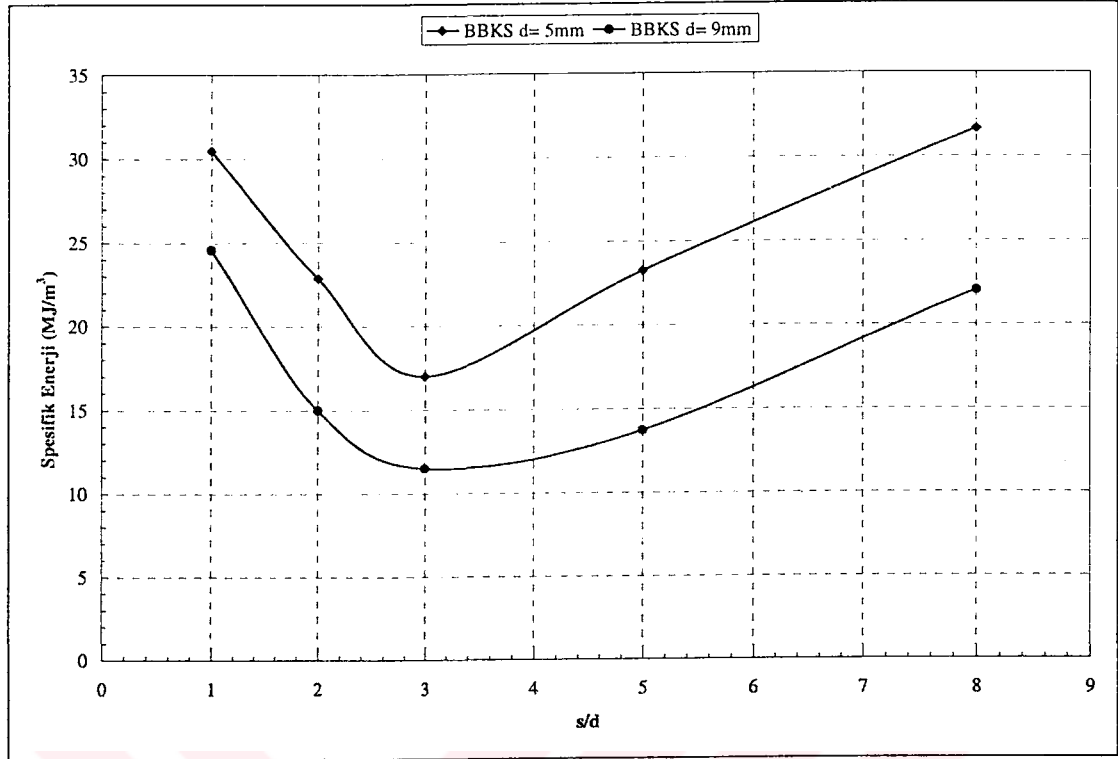
Şekil B.4 Acıgöl tufünde $d = 5$ ve 9 mm'de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



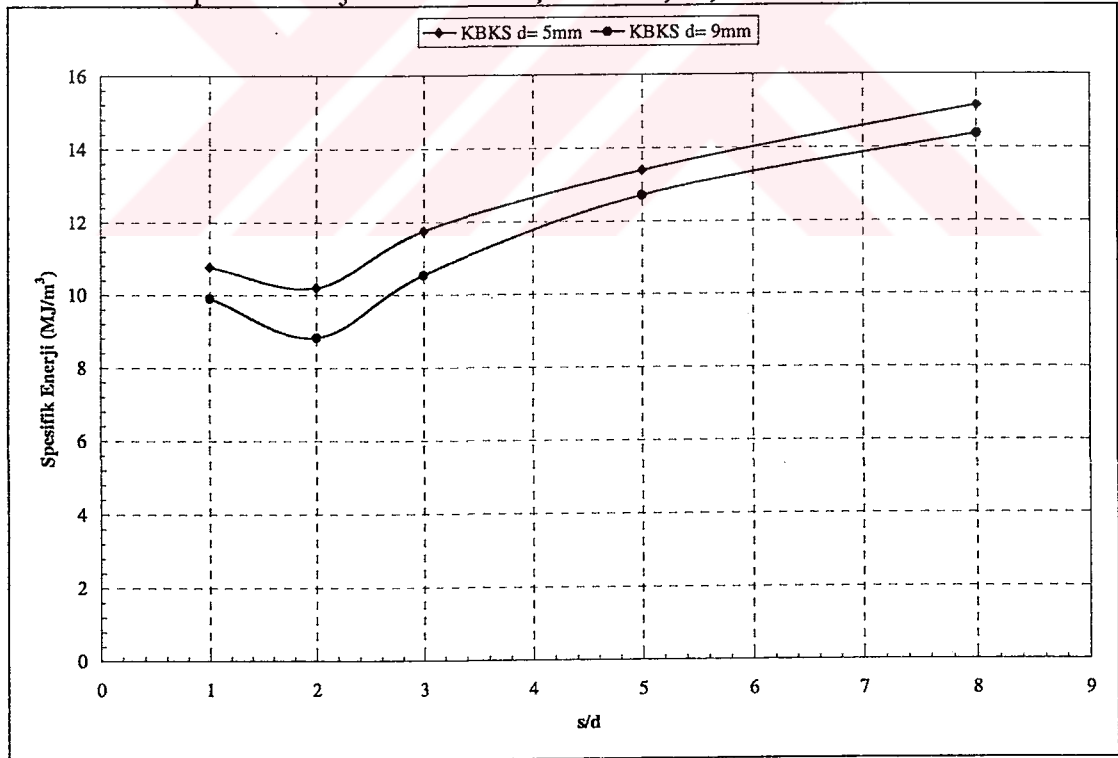
Şekil B.5 Gelveri tûfûnde $d = 5 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



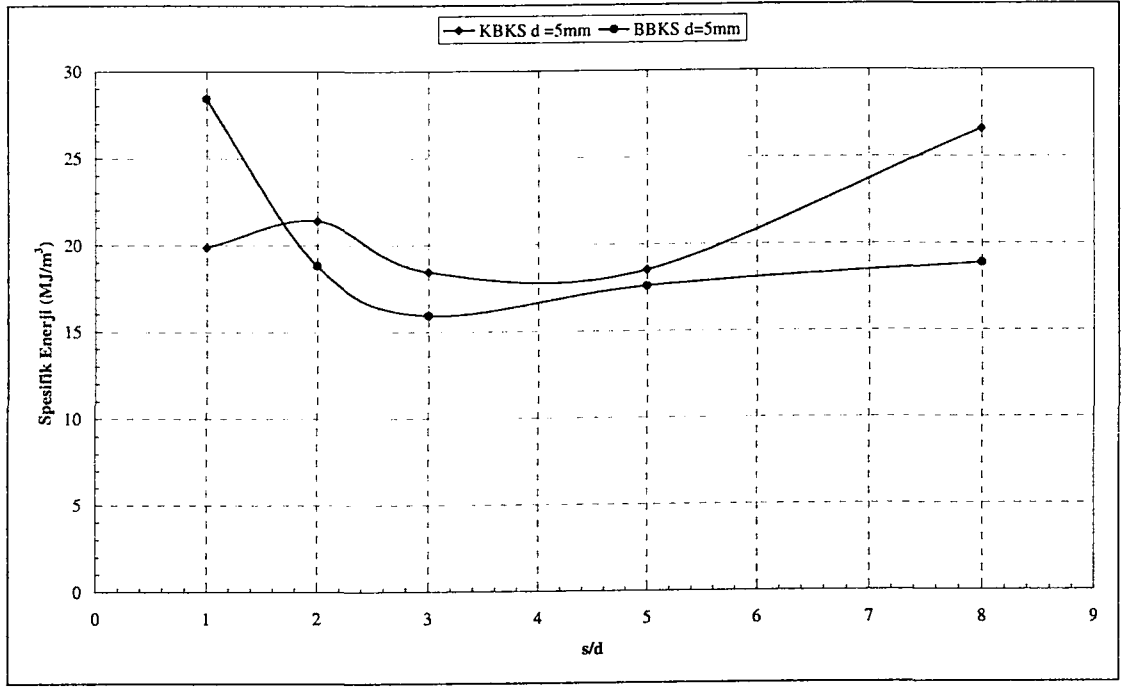
Şekil B.6 Gelveri tûfûnde $d = 9 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



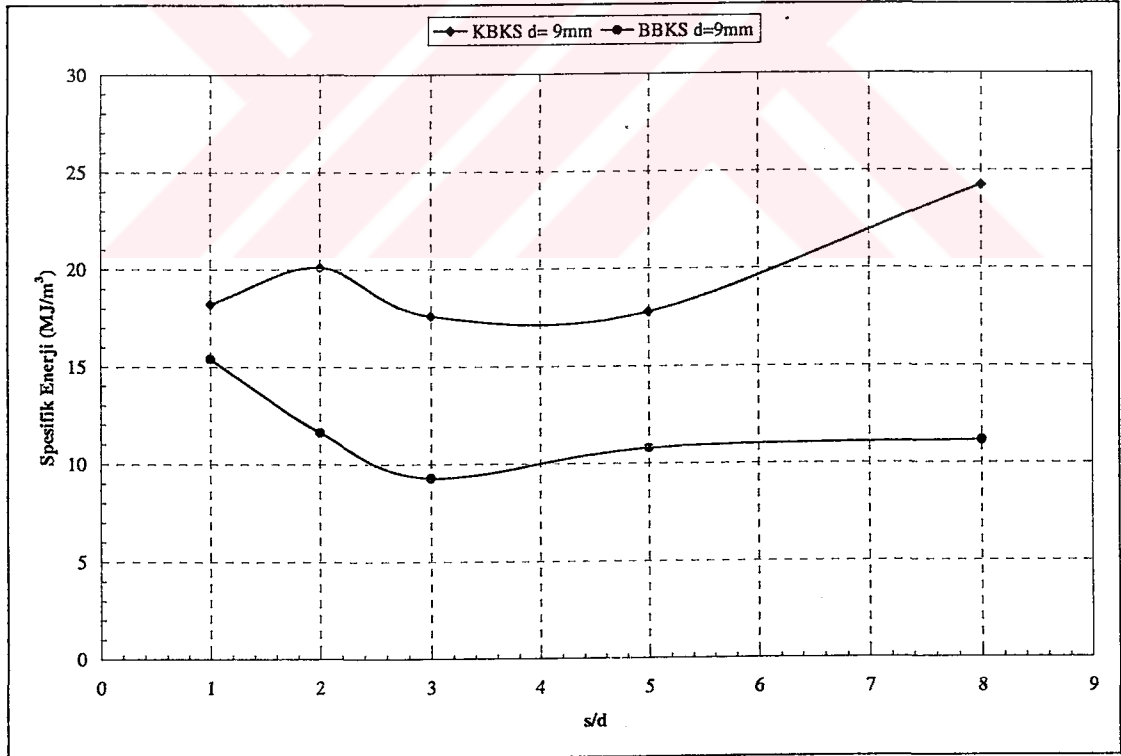
Şekil B.7 Gelveri tûfûnde $d = 5$ ve 9 mm 'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



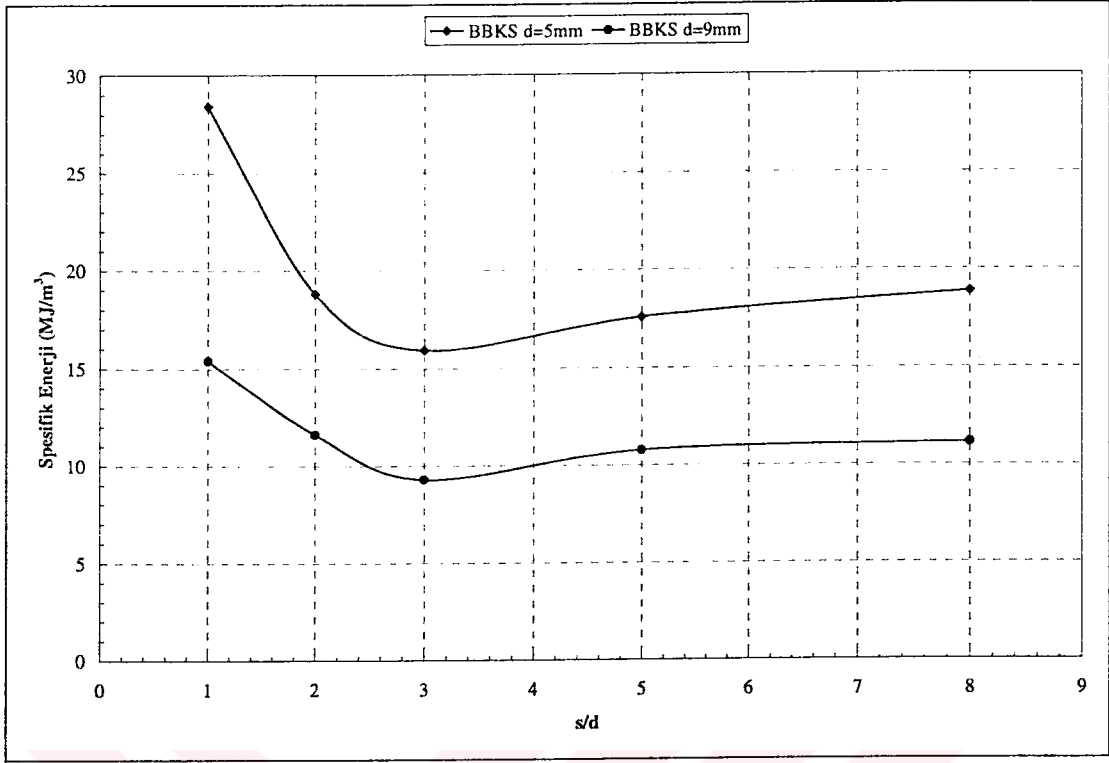
Şekil B.8 Gelveri tûfûnde $d = 5$ ve 9 mm 'de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



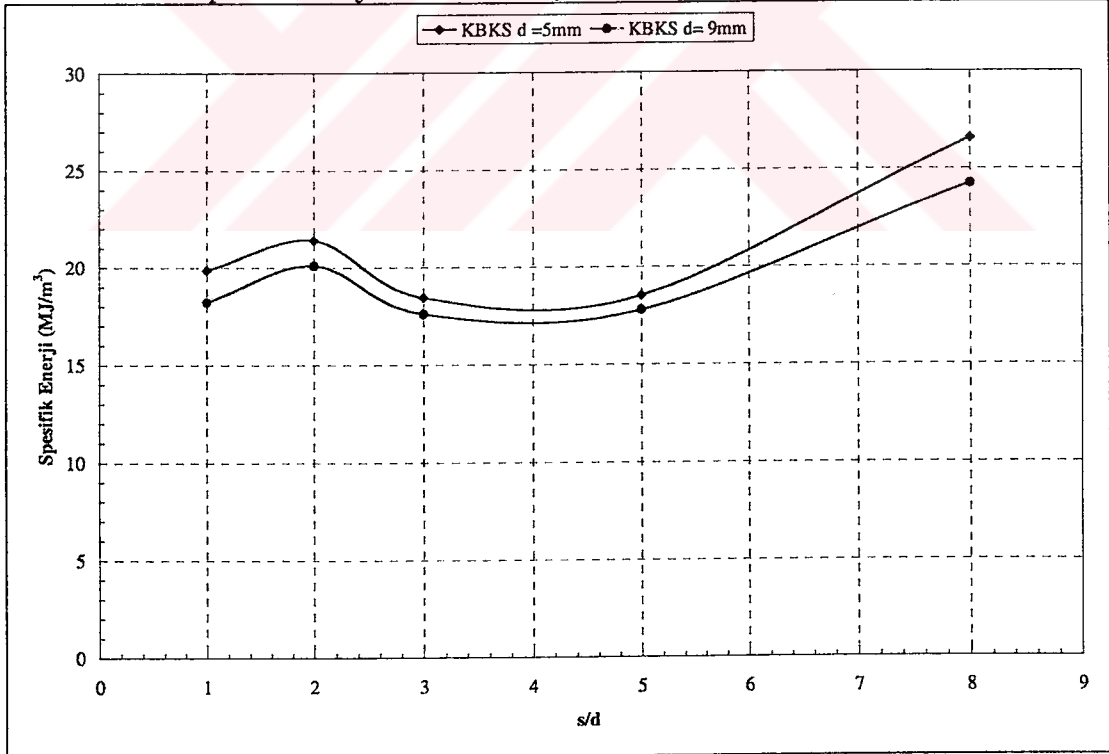
Şekil B.9 Göstük tufünde $d = 5 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



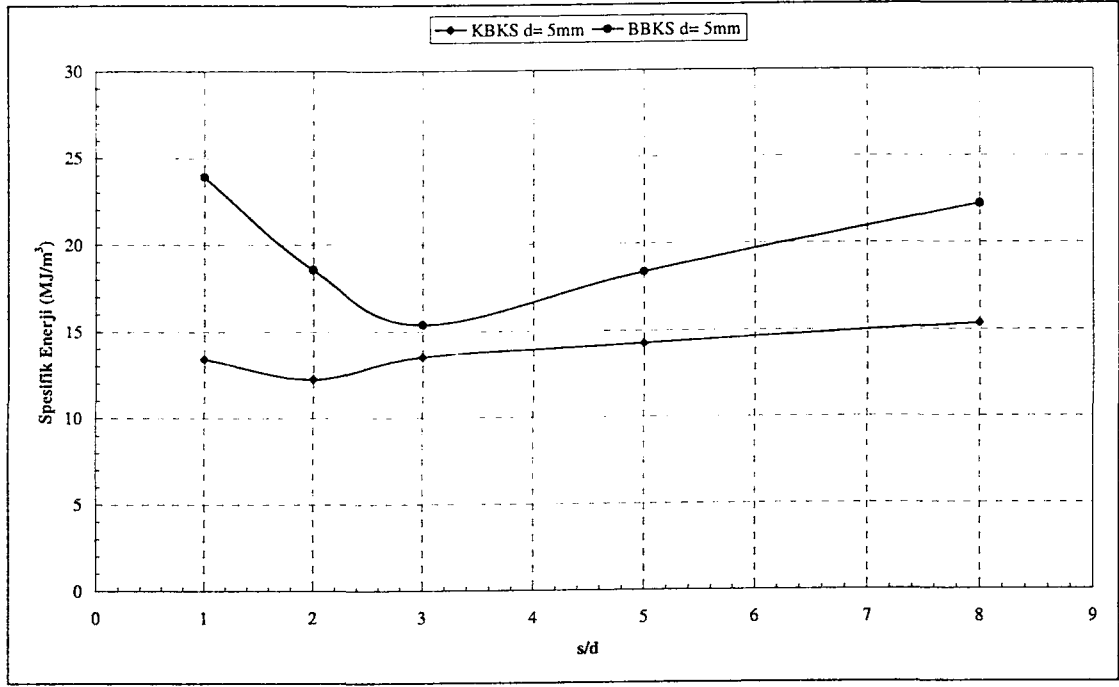
Şekil B.10 Göstük tufünde $d = 9 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



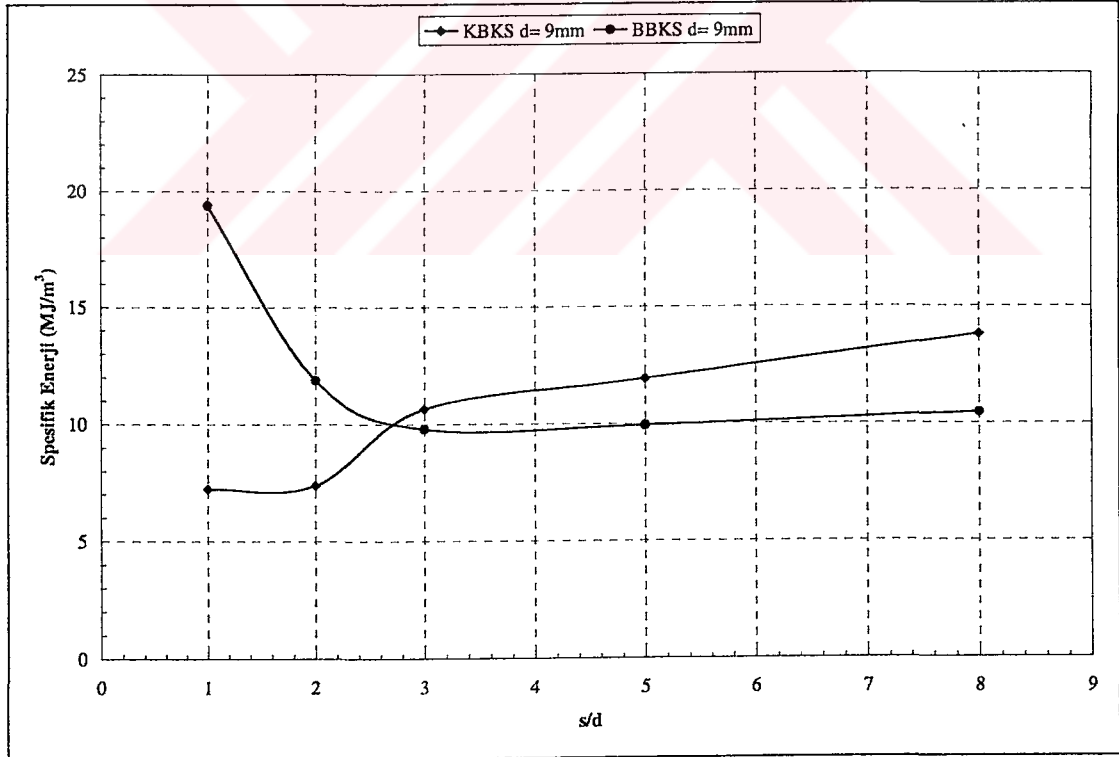
Şekil B.11 Göstük tufünde $d = 5$ ve 9 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



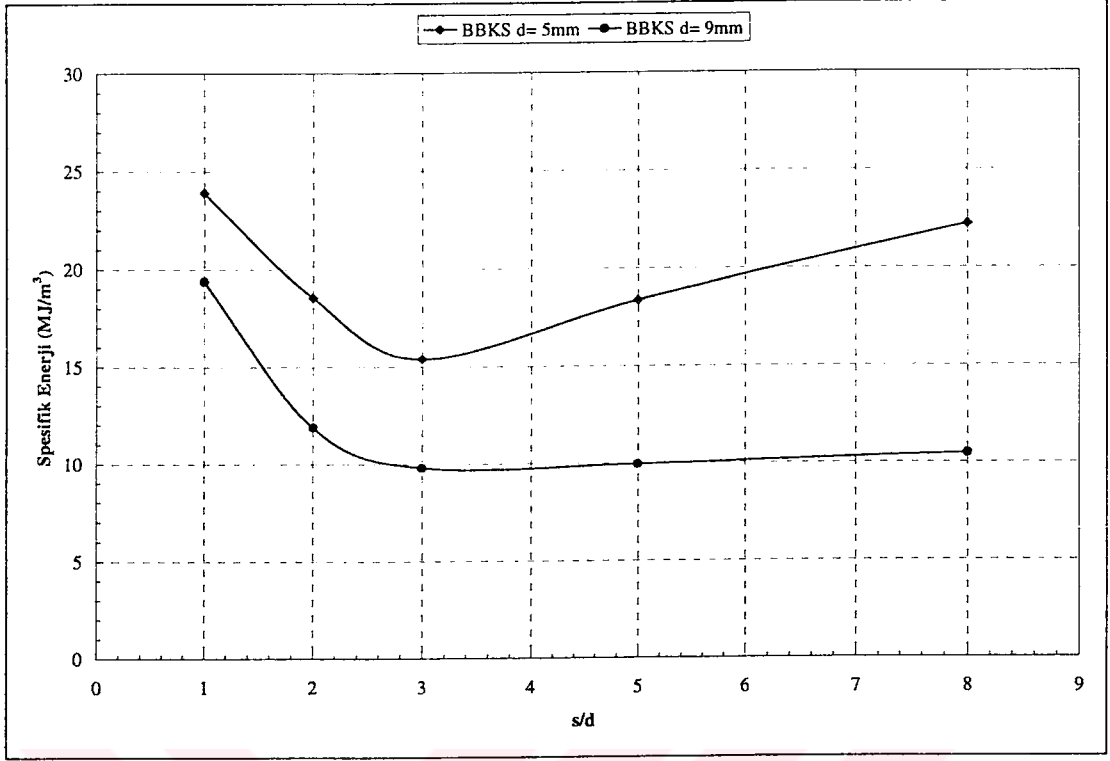
Şekil B.12 Göstük tufünde $d = 5$ ve 9 mm’de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



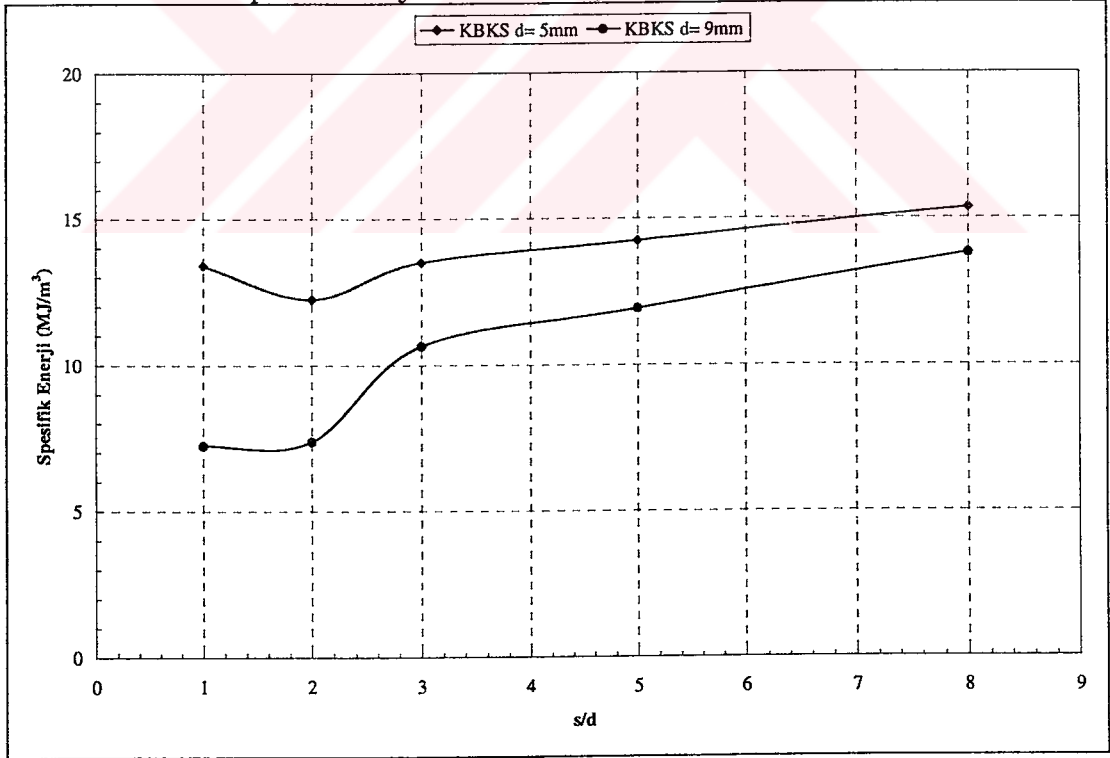
Şekil B.13 Kızılkaya tufünde $d = 5$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



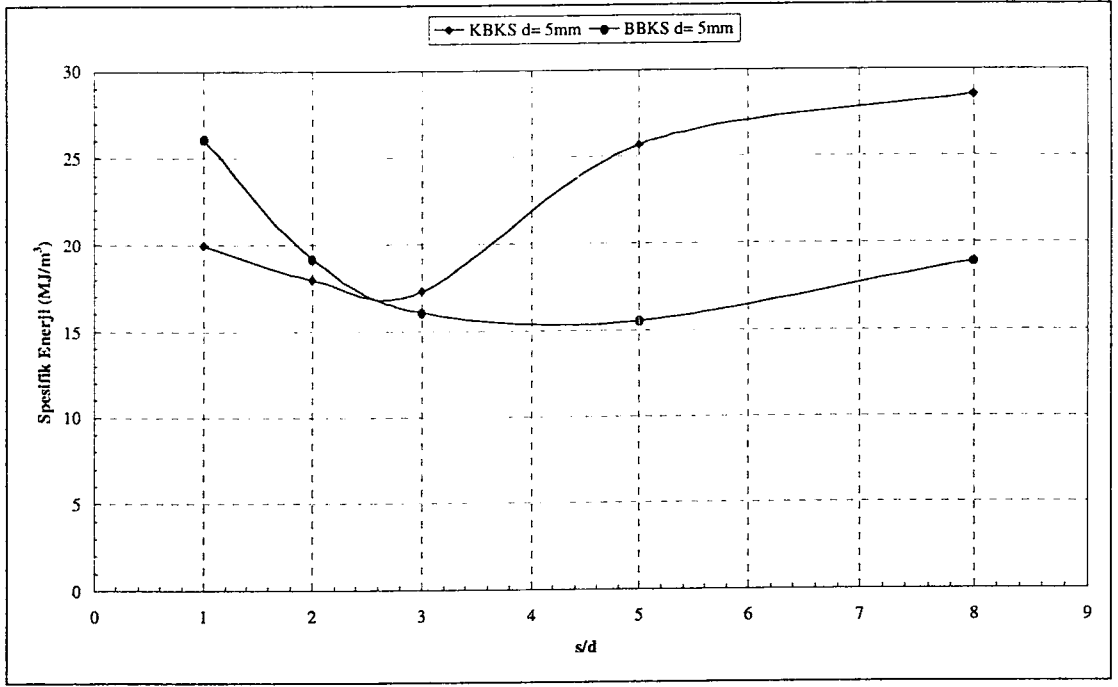
Şekil B.14 Kızılkaya tufünde $d = 9$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



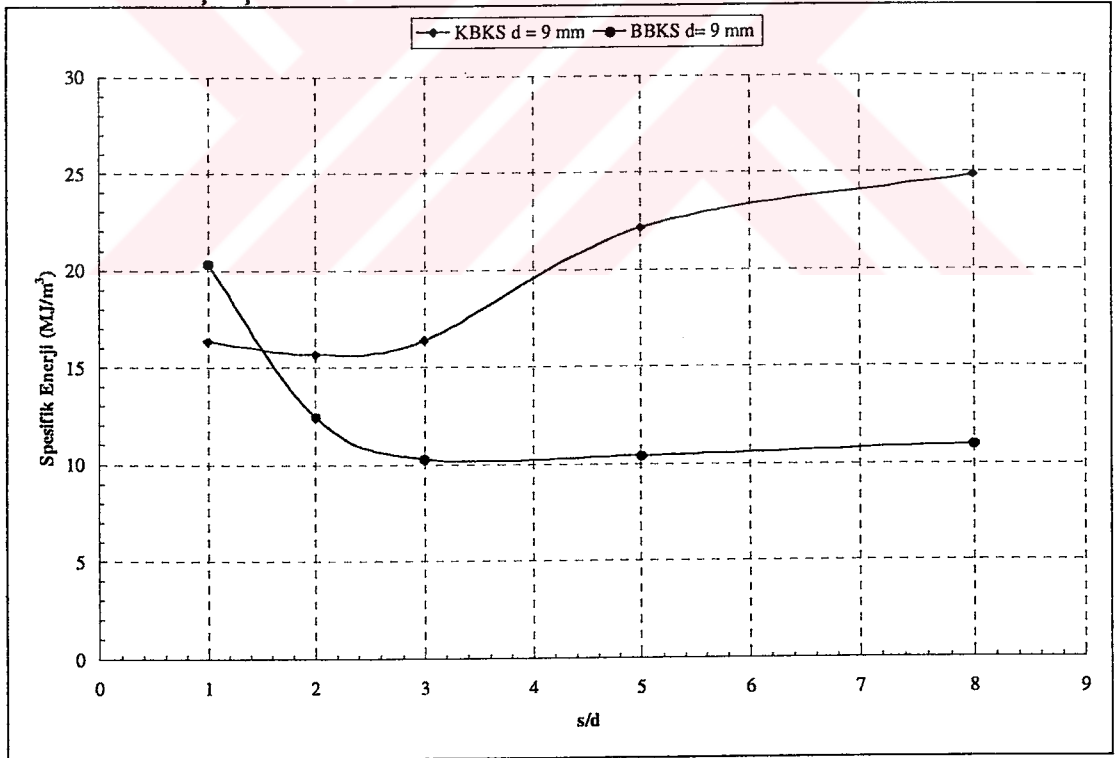
Şekil B.15 Kızılkaya tufünde $d = 5$ ve 9 mm 'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



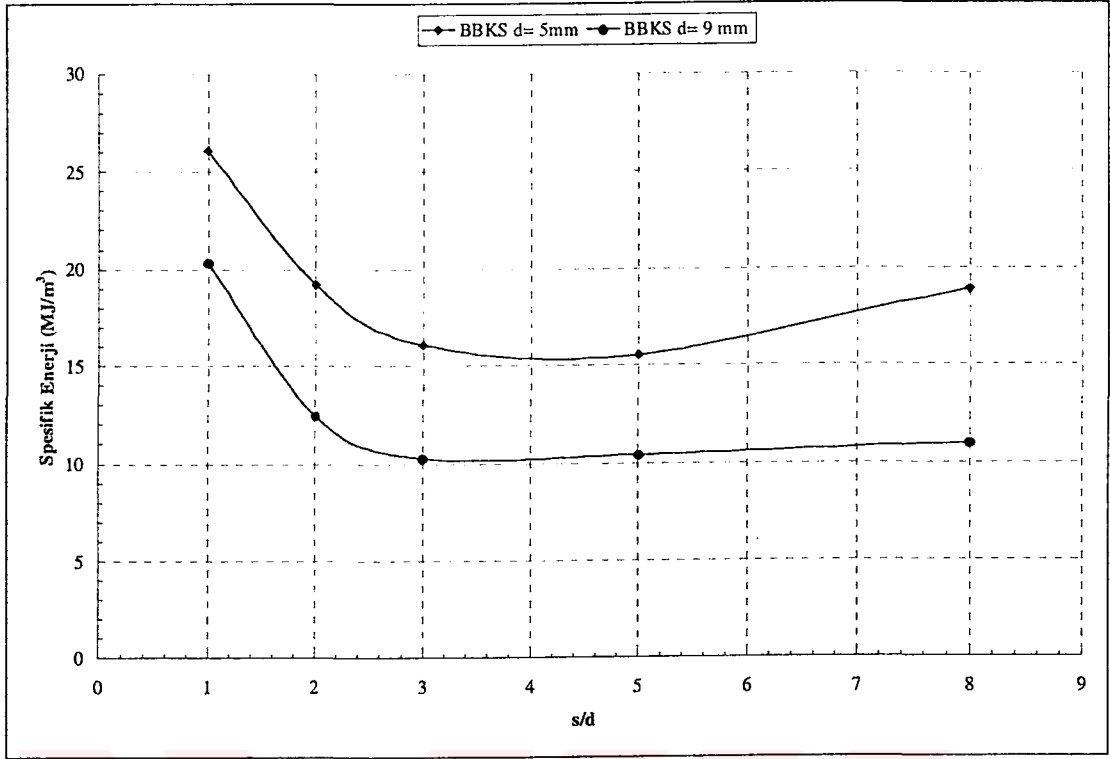
Şekil B.16 Kızılkaya tufünde $d = 5$ ve 9 mm 'de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



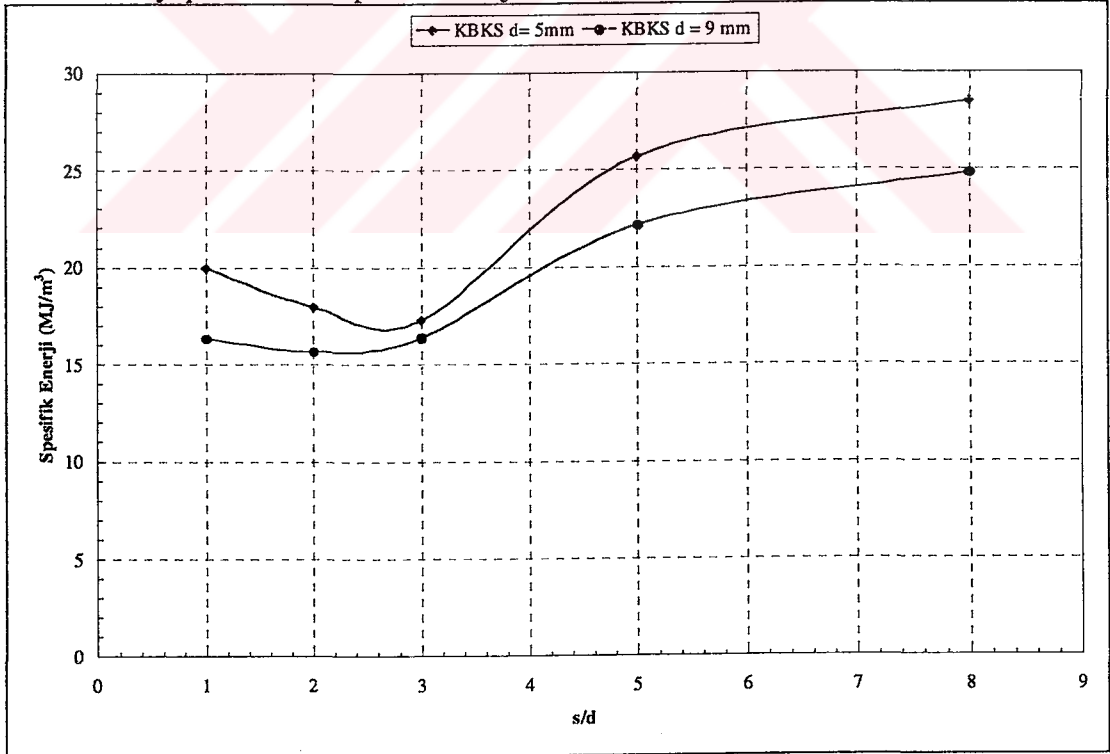
Şekil B.17 Kızılkaya pembe tufünde $d = 5$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



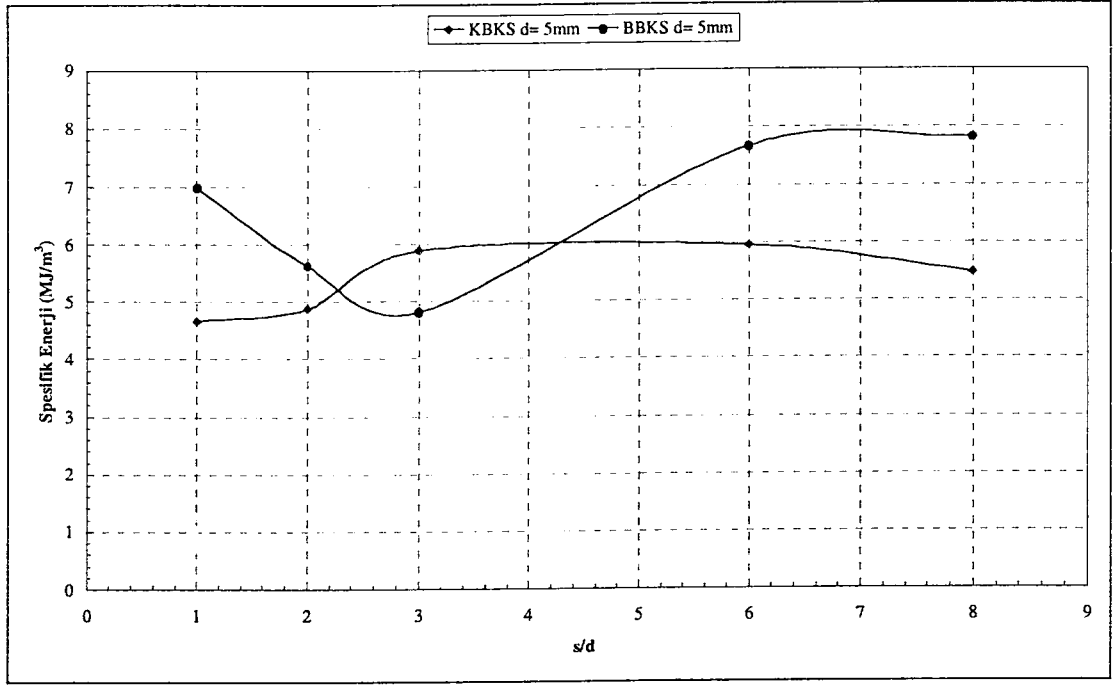
Şekil B.18 Kızılkaya pembe tufünde $d = 9$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



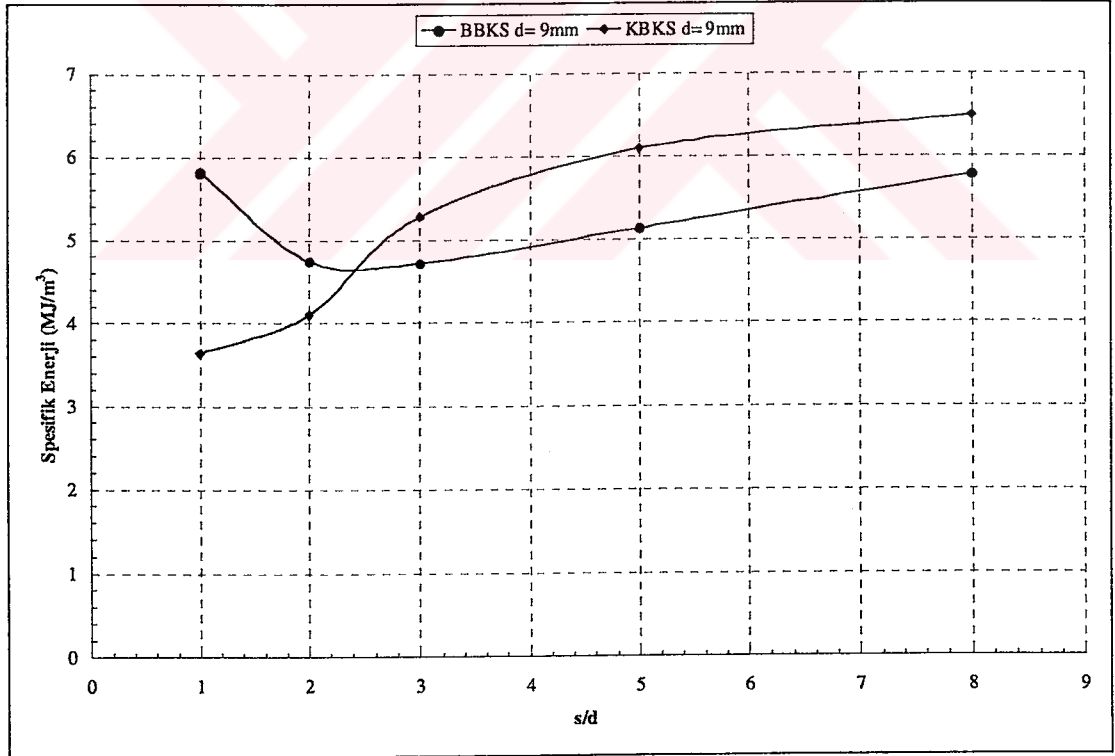
Şekil B.19 Kızılkaya pembe tufünde d = 5 ve 9 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



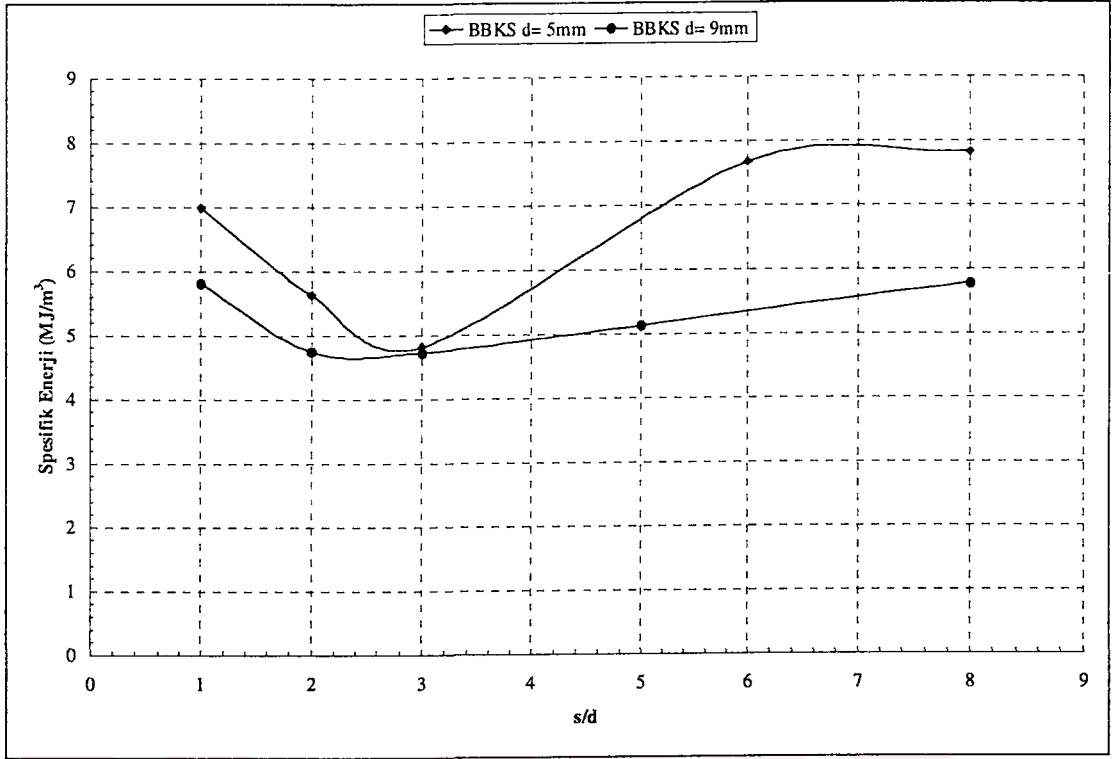
Şekil B.20 Kızılkaya pembe tufünde d = 5 ve 9 mm’de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



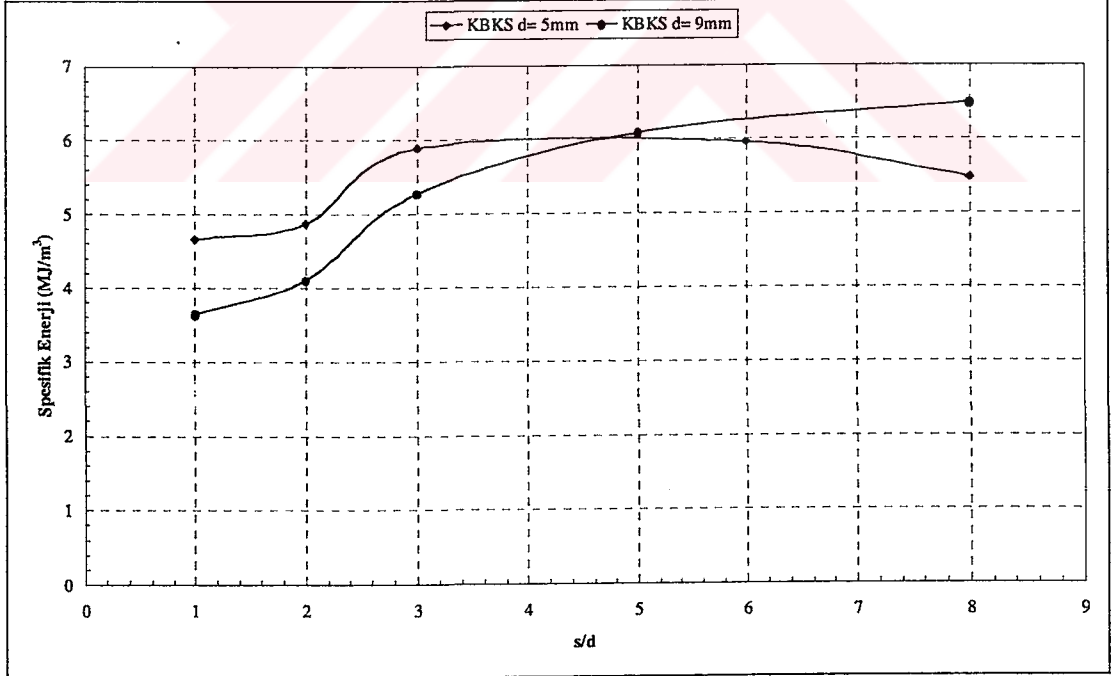
Şekil B.21 Selime üst tufünde $d = 5 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



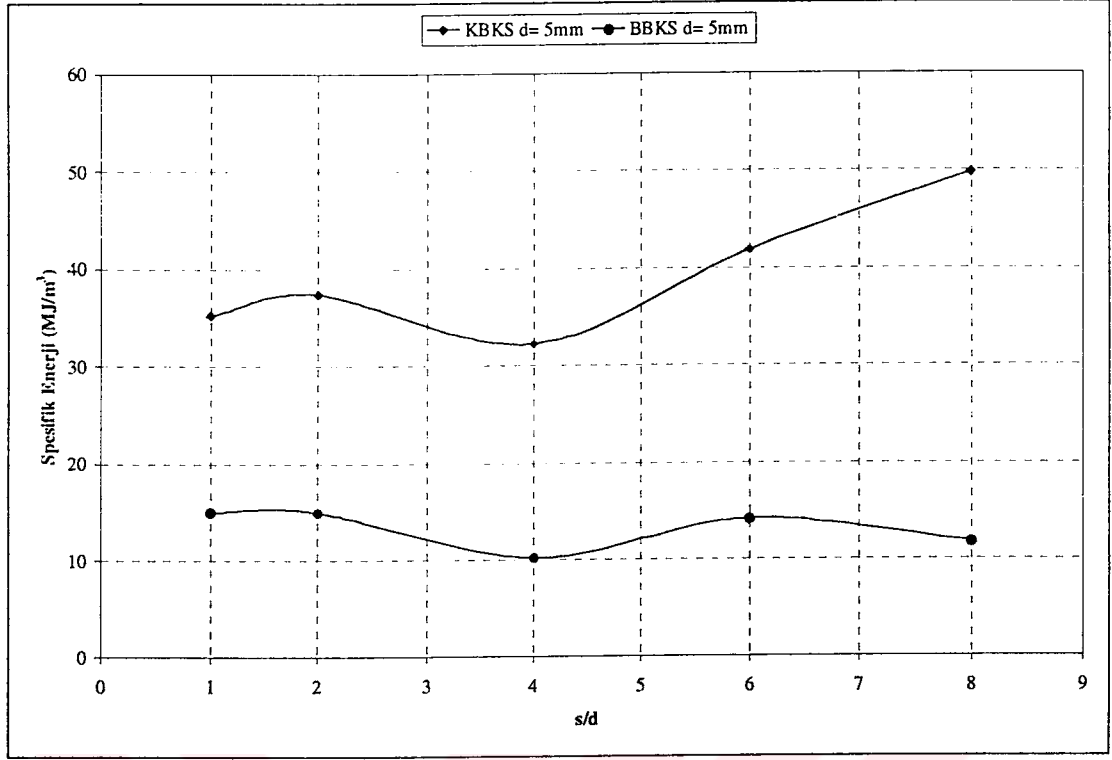
Şekil B.22 Selime üst tufünde $d = 9 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



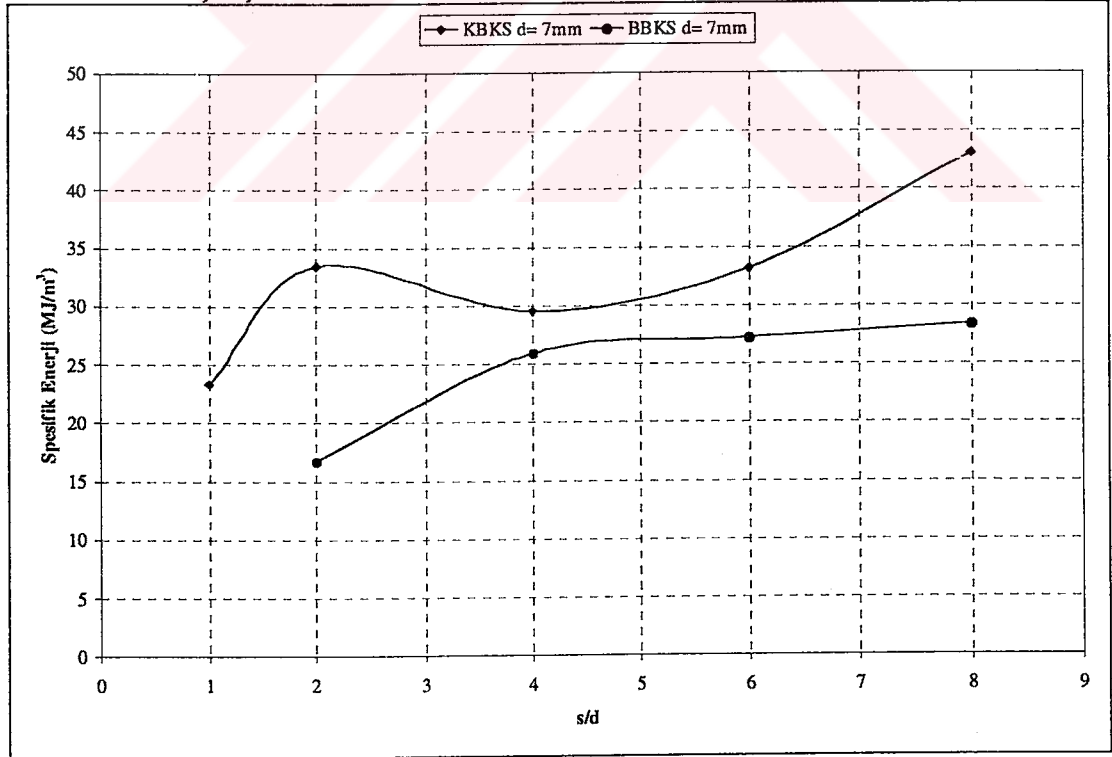
Şekil B.23 Selime üst tufünde $d = 5$ ve 9 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



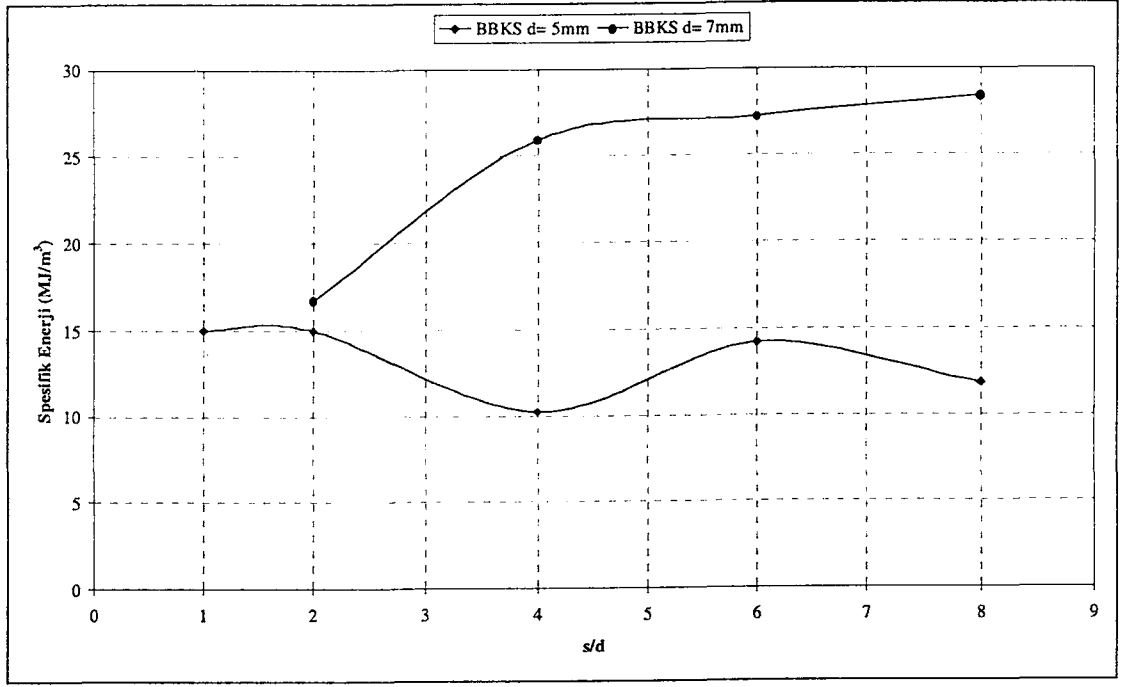
Şekil B.24 Selime üst tufünde $d = 5$ ve 9 mm’de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



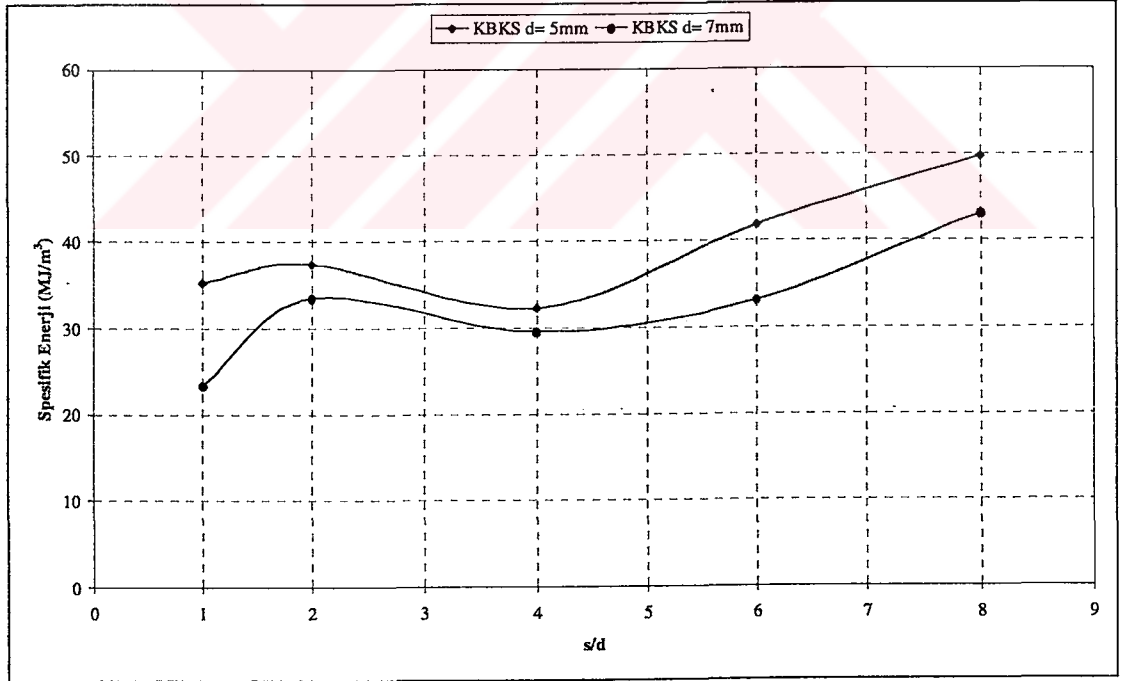
Şekil B.25 Sfta Dragos kıltaşında d = 5 mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



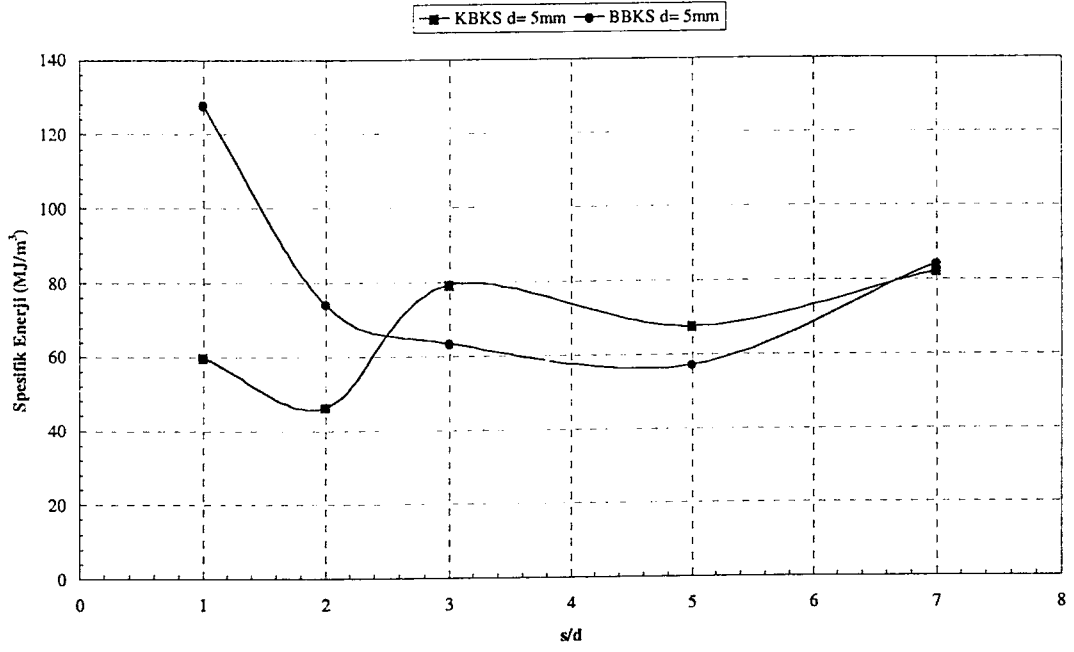
Şekil B.26 Sfta Dragos kıltaşında d = 7 mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



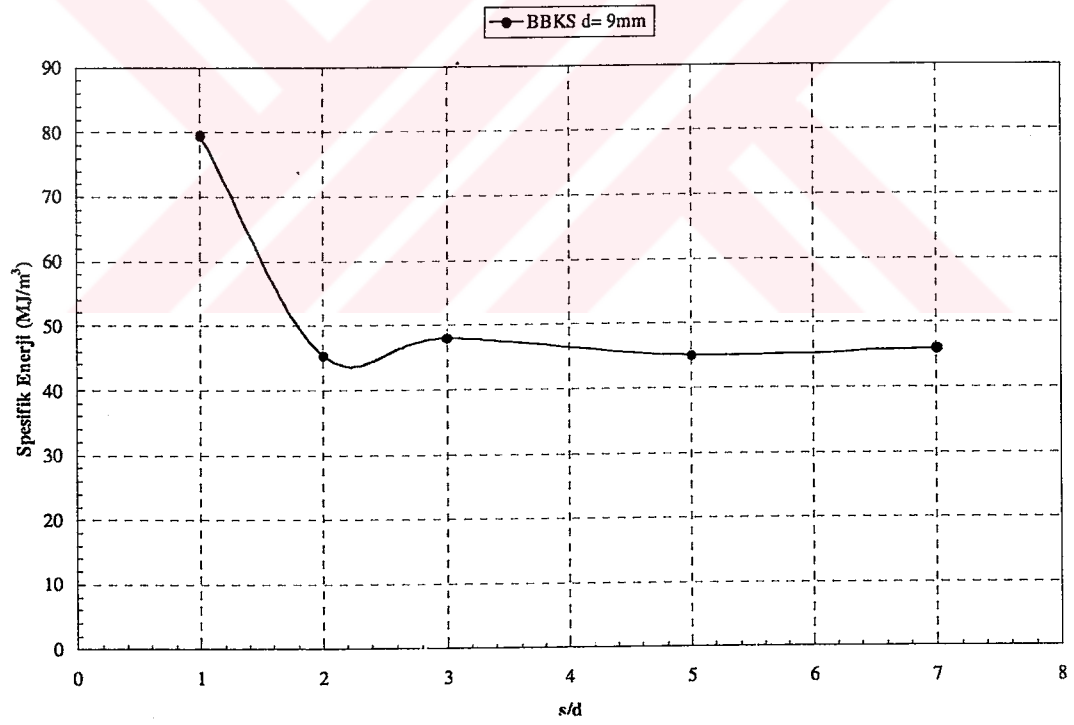
Şekil B.27 Sfta Dragos kıltaşında $d = 5$ ve 7 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



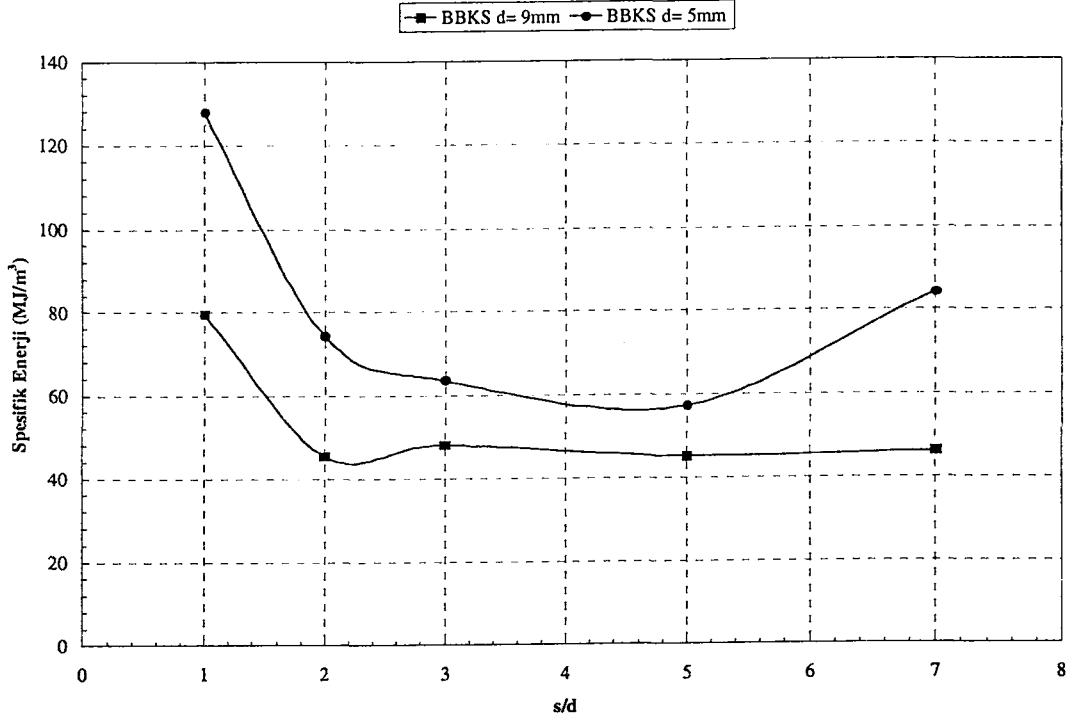
Şekil B.28 Sfta Dragos kıltaşında $d = 5$ ve 7 mm’de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



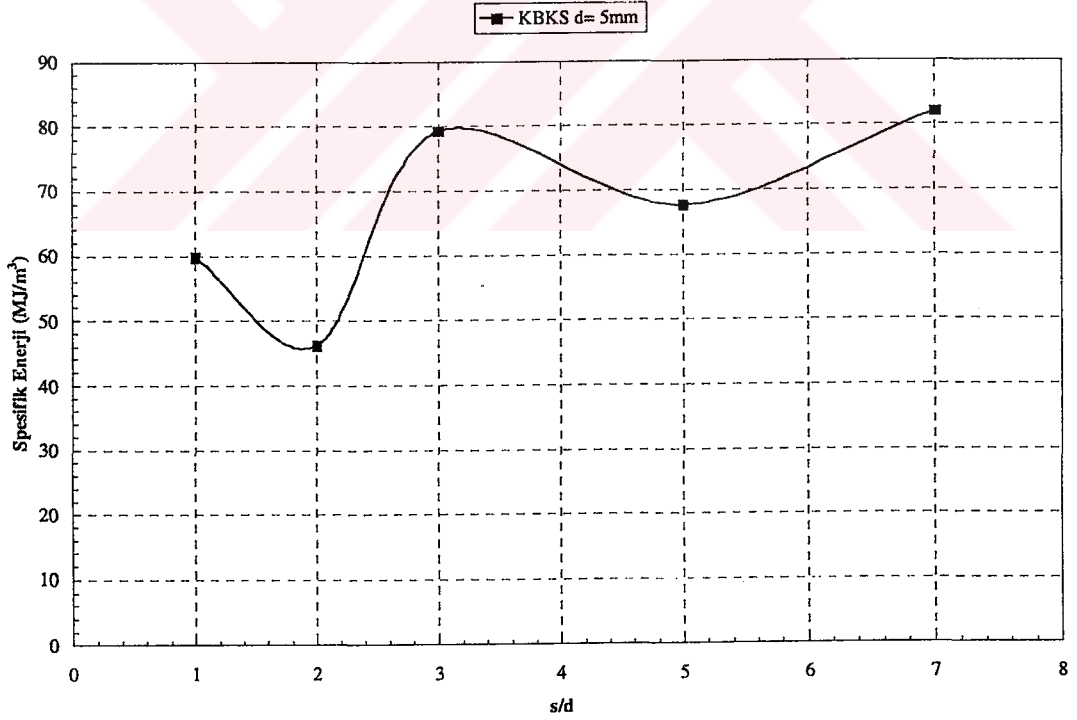
Şekil B.29 Kumtaşı1 de $d = 5 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



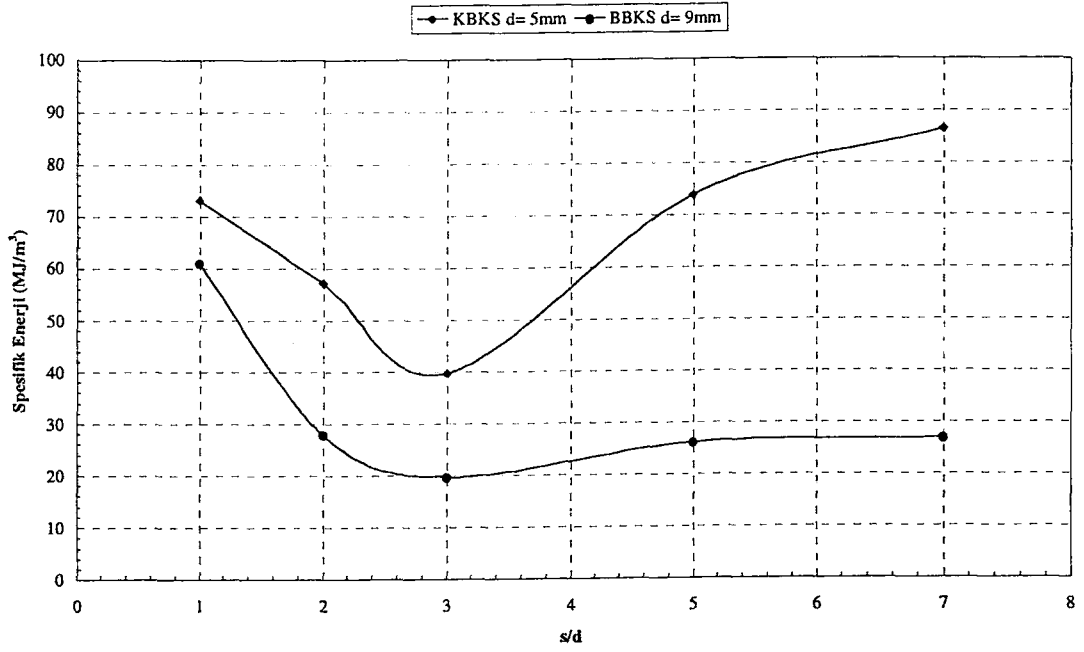
Şekil B.30 Kumtaşı1 de $d = 9 \text{ mm}$ 'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



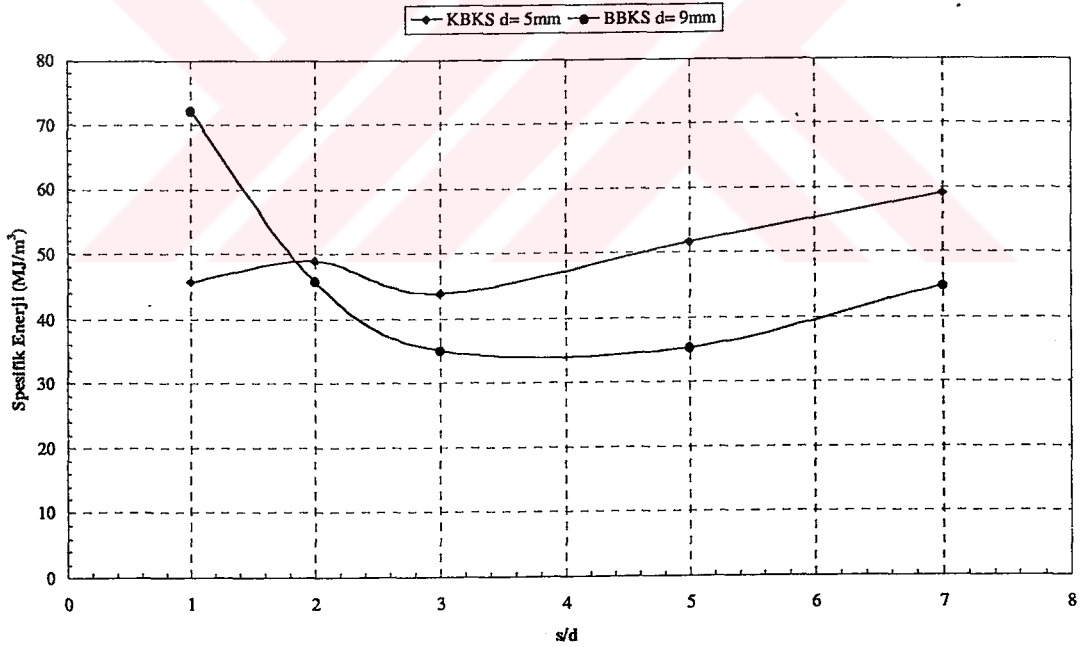
Şekil B.31 Kumtaşı1 de d = 5 ve 9 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



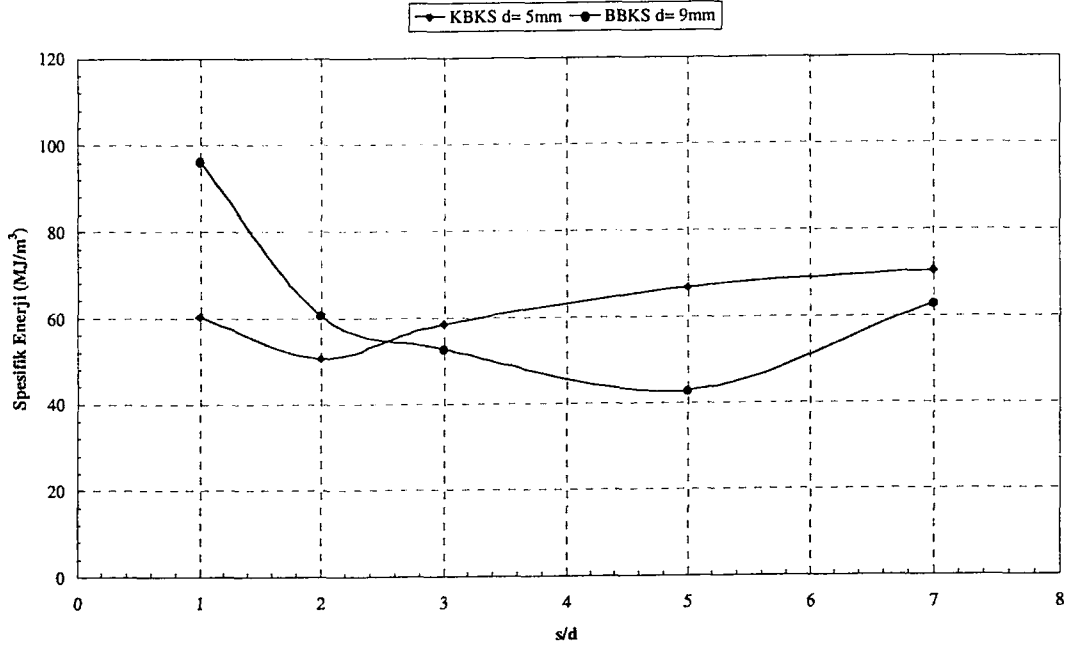
Şekil B.32 Kumtaşı1 de d = 5 mm’de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



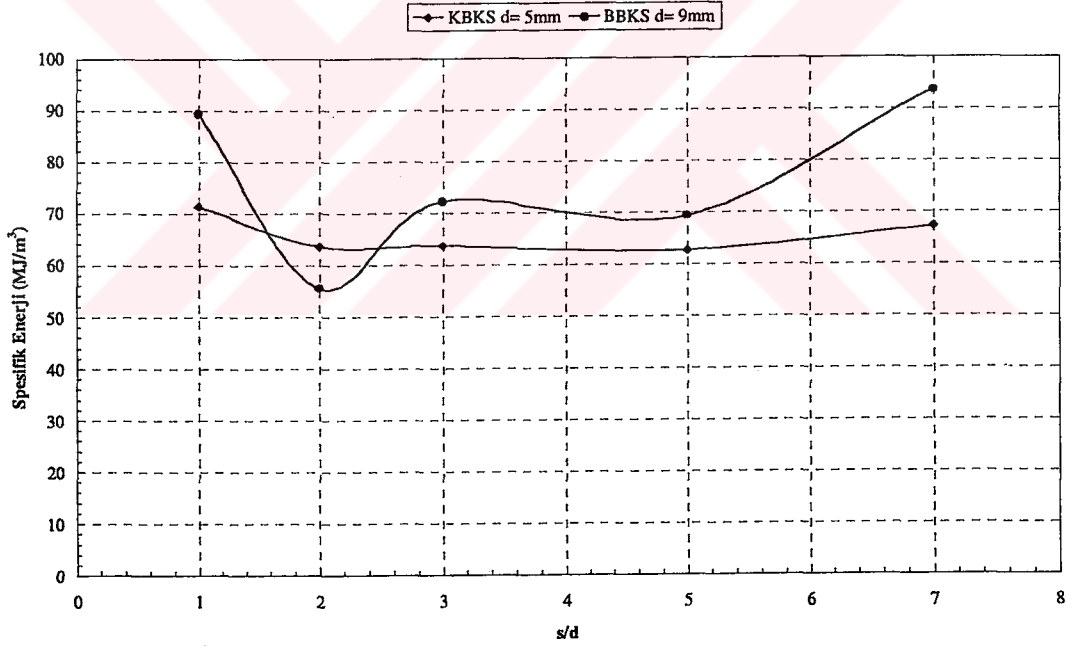
Şekil B.33 Kumtaşı4 de $d = 5$ ve 9 mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



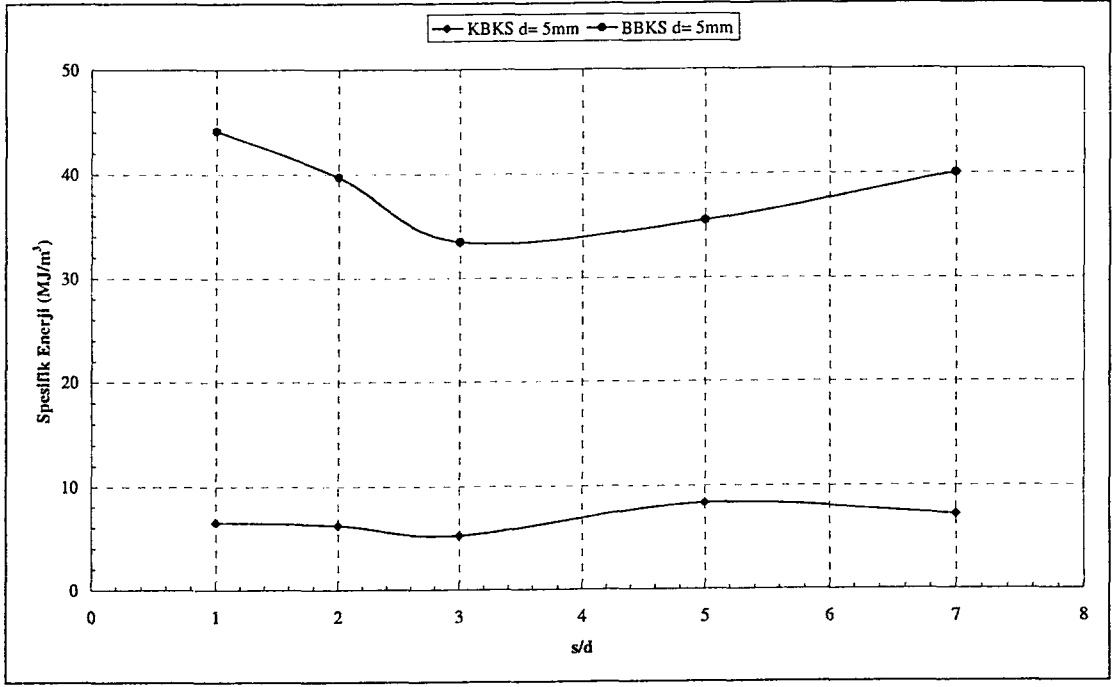
Şekil B.34 Silttaşı5 de $d = 5$ ve 9 mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



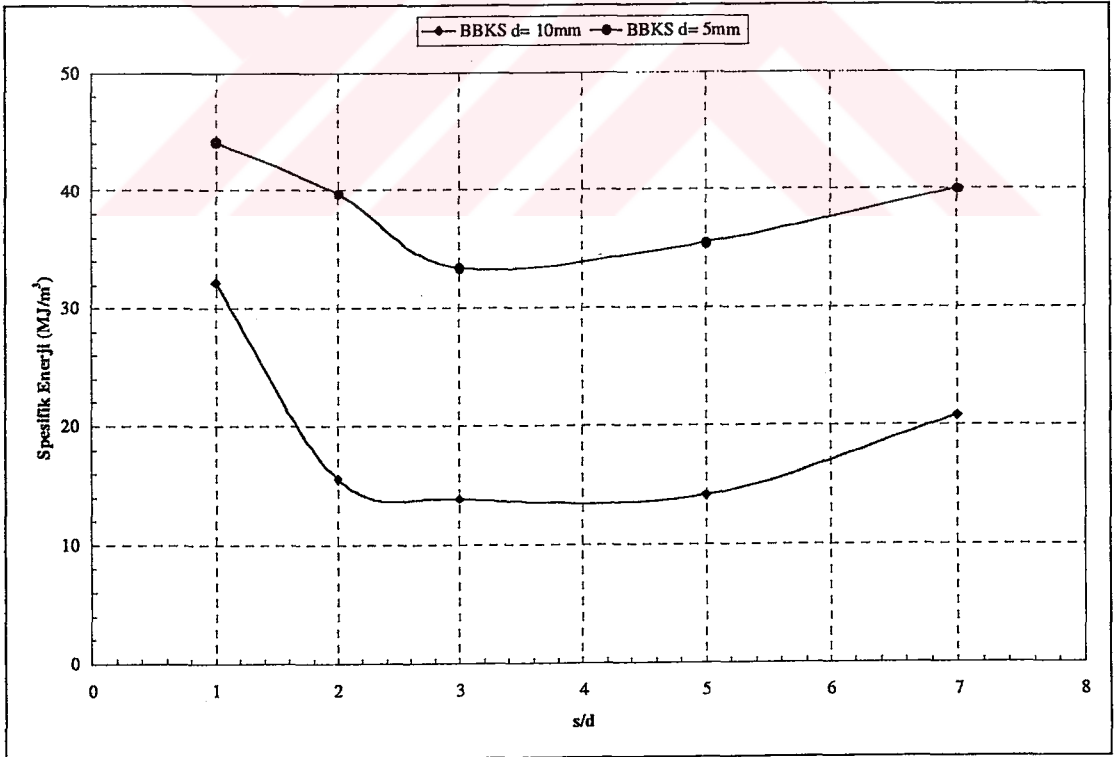
Şekil B.35 Kireçtaşında $d = 5$ ve 9 mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



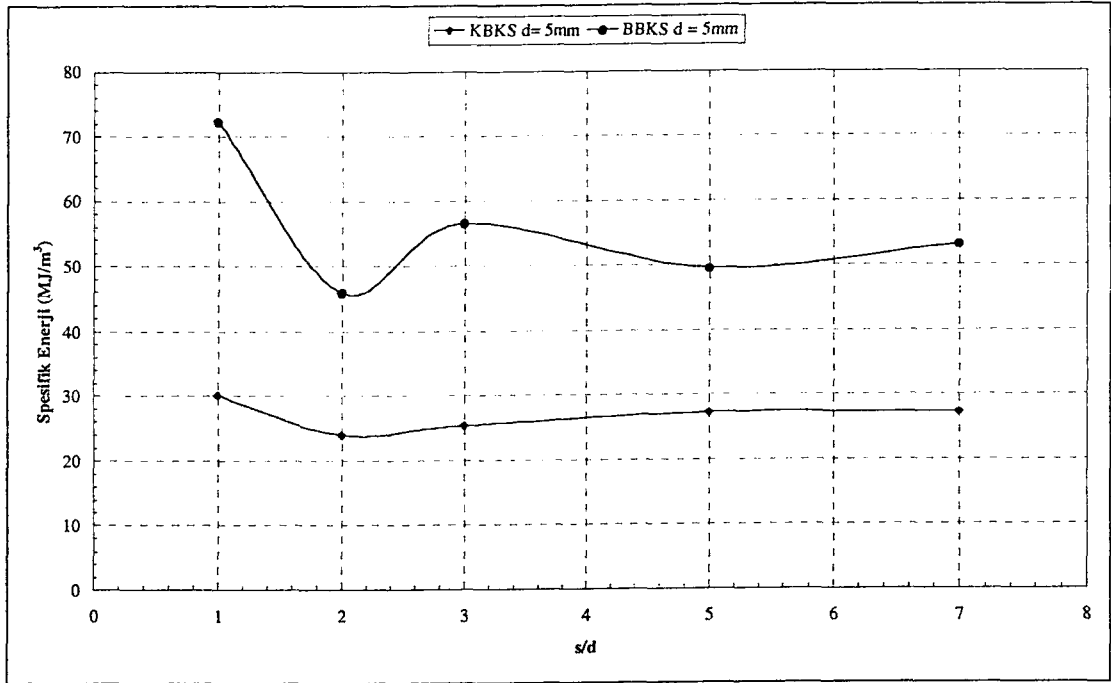
Şekil B.36 Kumtaşı2 de $d = 5$ ve 9 mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



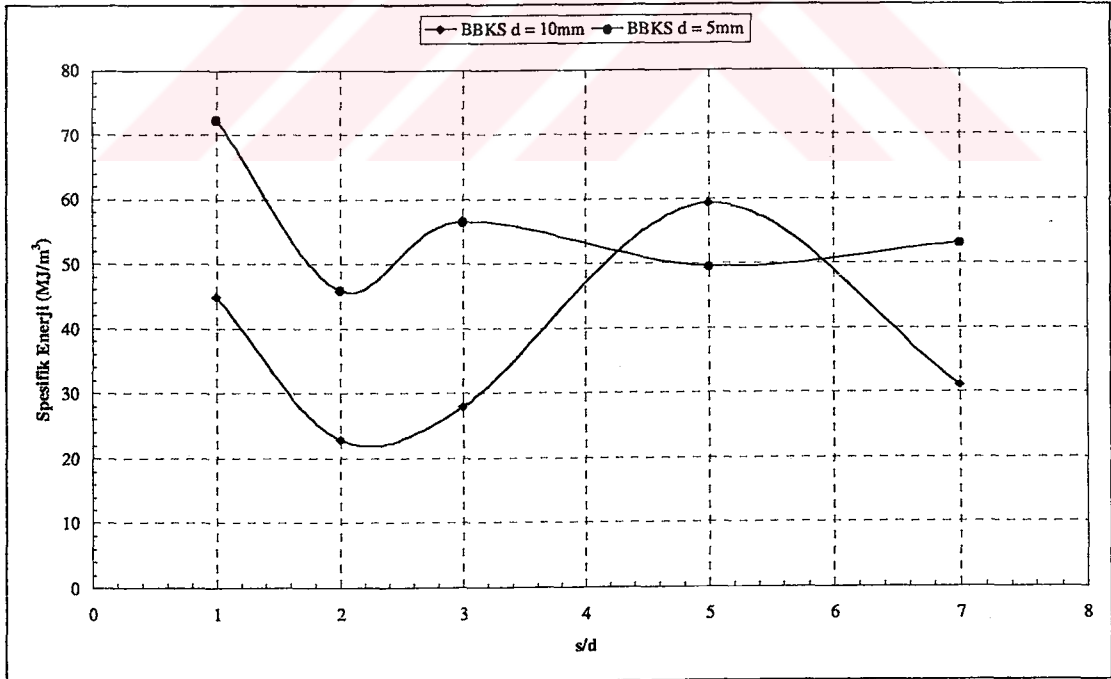
Şekil B.37 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş1 de $d = 5$ mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



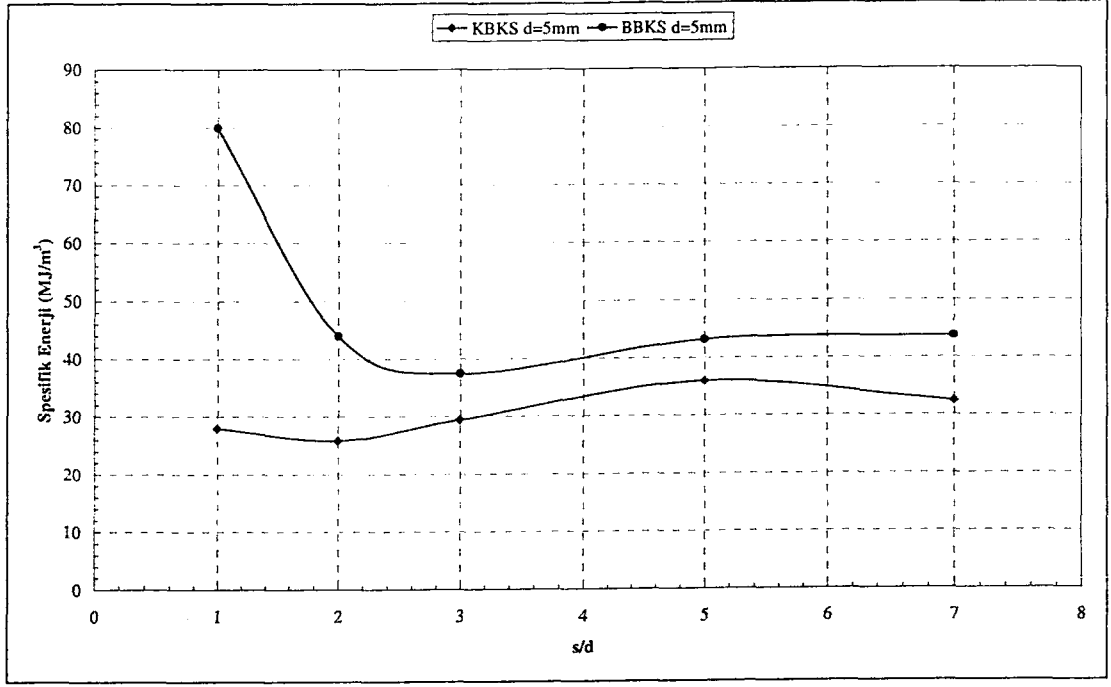
Şekil B.38 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş1 de $d = 5$ ve 10 mm'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



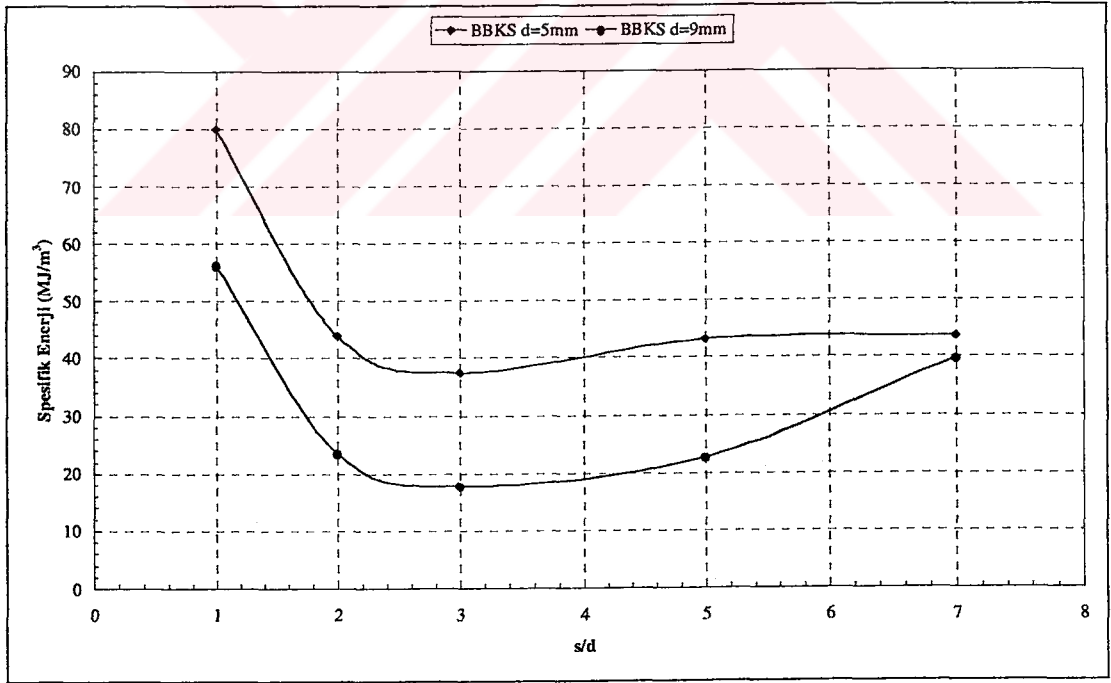
Şekil B.39 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş2 de $d = 5$ mm'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



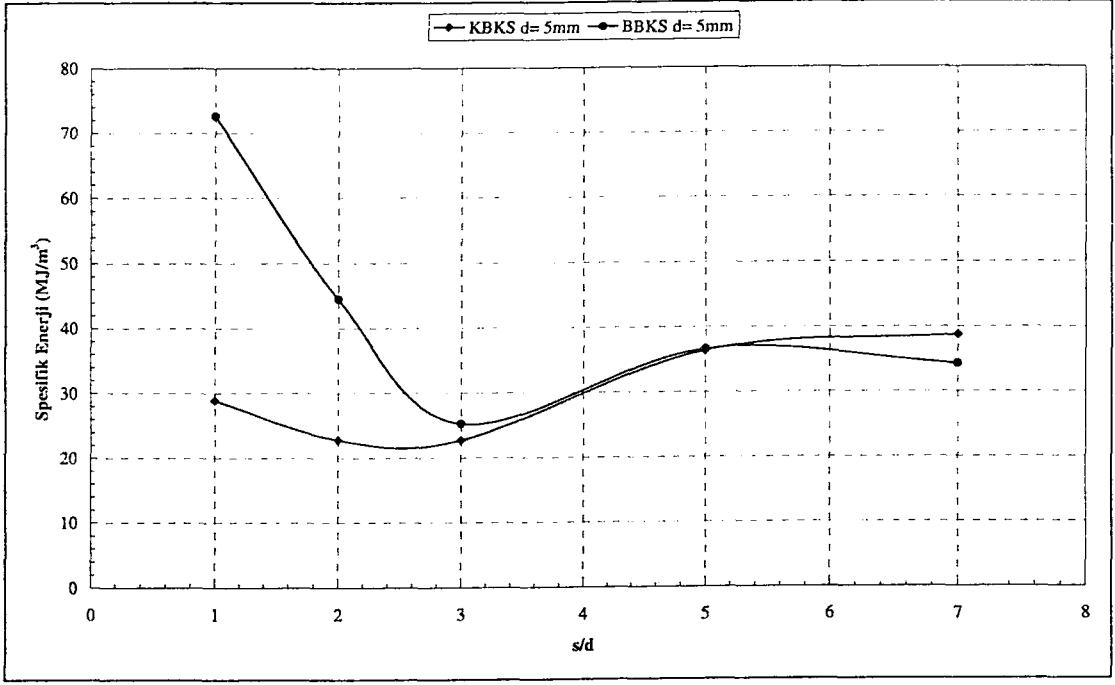
Şekil B.40 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş2 de $d = 5$ ve 10 mm'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



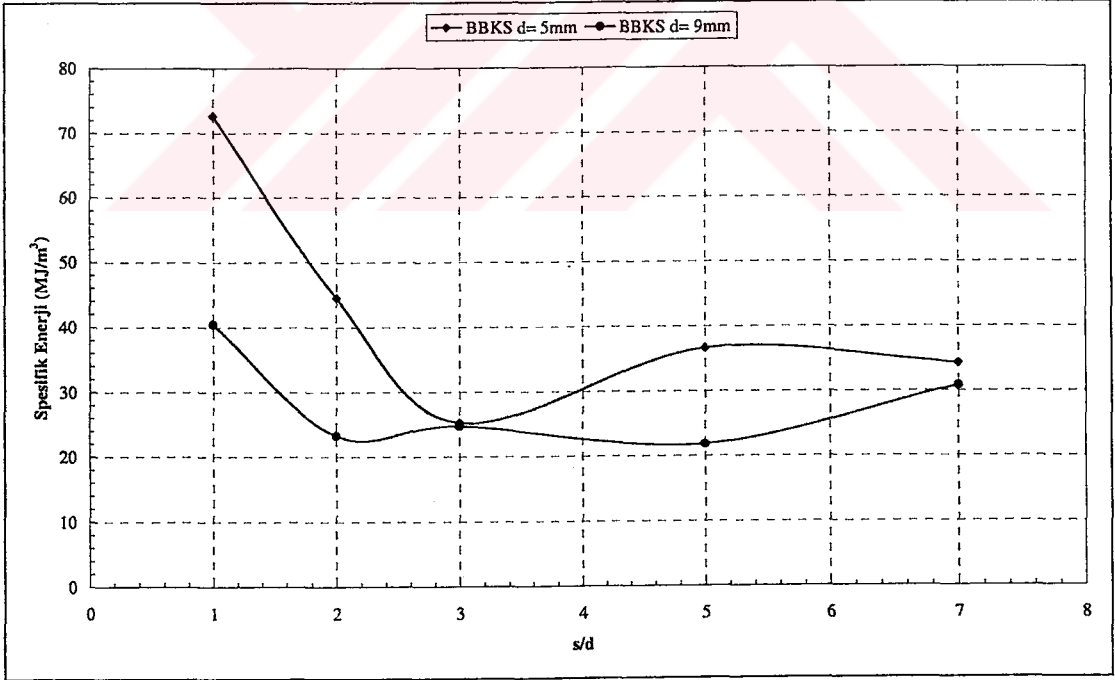
Şekil B.41 Pınarbaşı-Pulpınar Kavak kromit cevherinde $d = 5$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



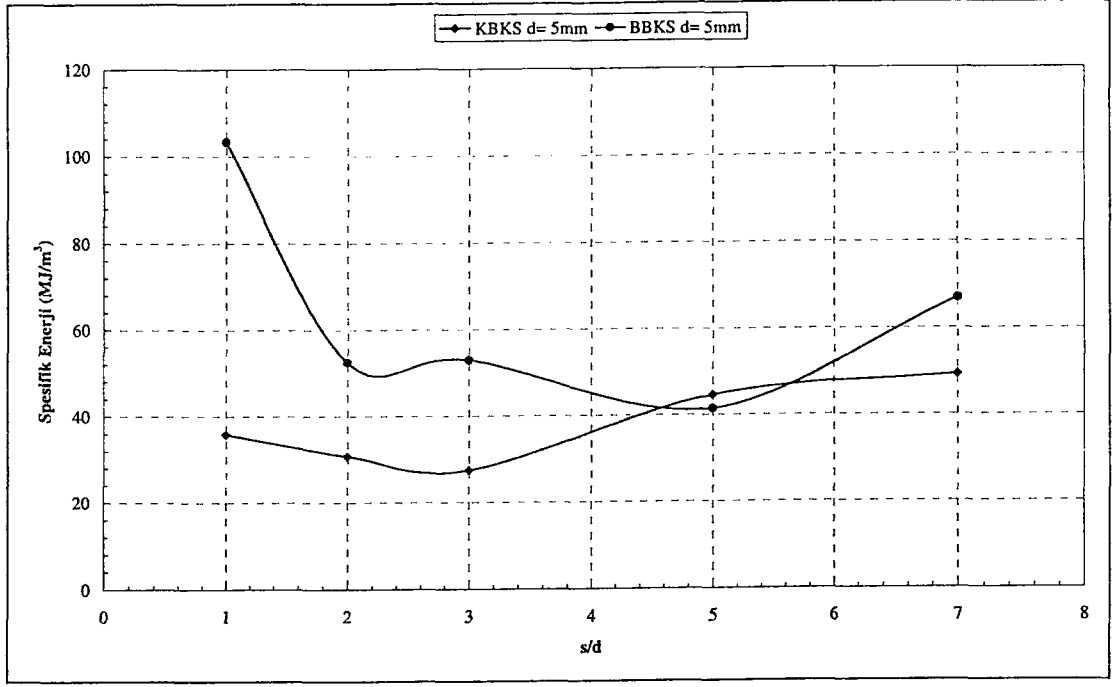
Şekil B.42 Pınarbaşı-Pulpınar Kavak kromit cevherinde $d = 5$ ve 9 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



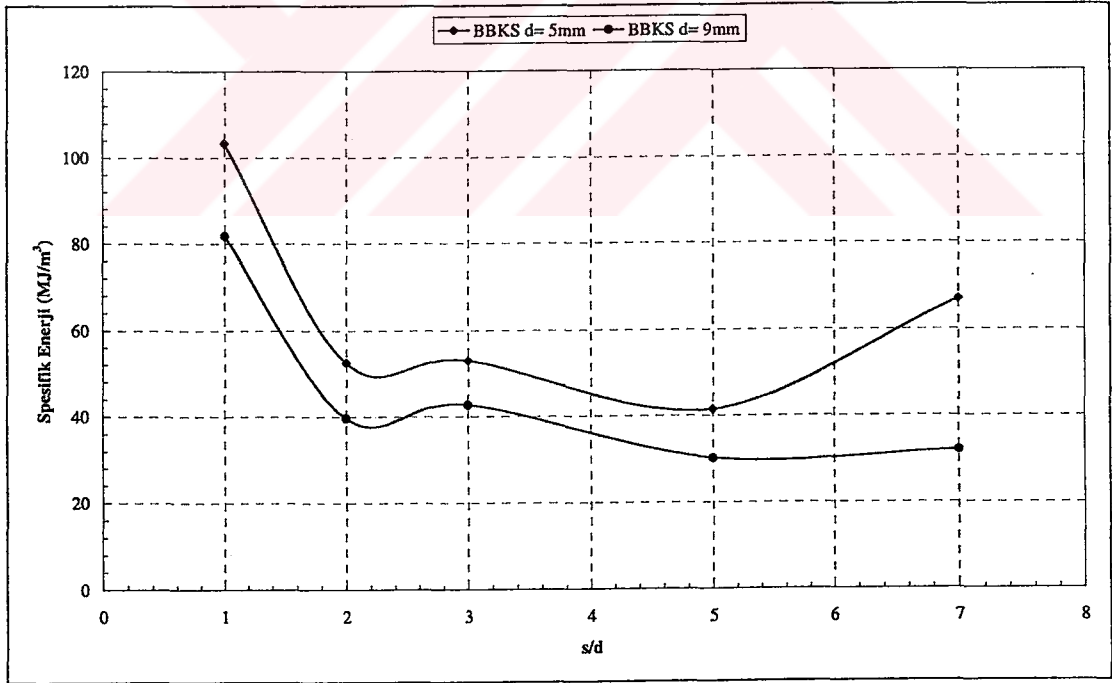
Şekil B.43 Pınarbaşı-Pulpınar Serpantin yankayacında $d = 5$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



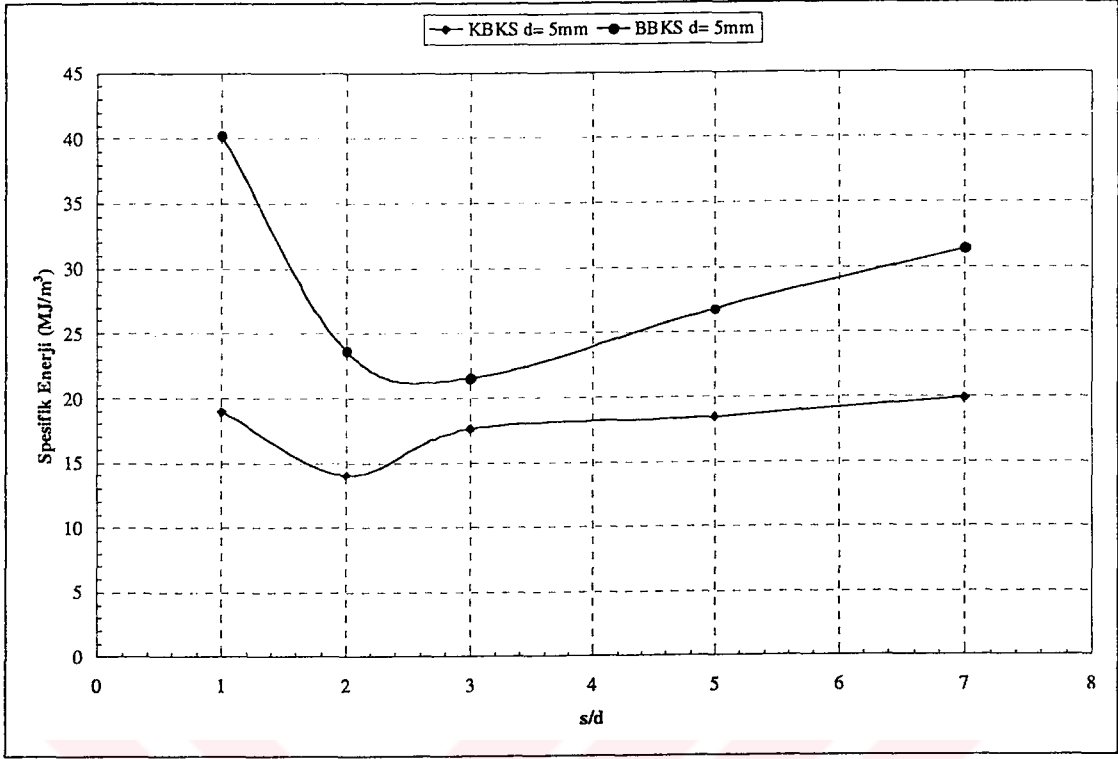
Şekil B.44 Pınarbaşı-Pulpınar Serpantin yankayacında $d = 5$ ve 9 mm’de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



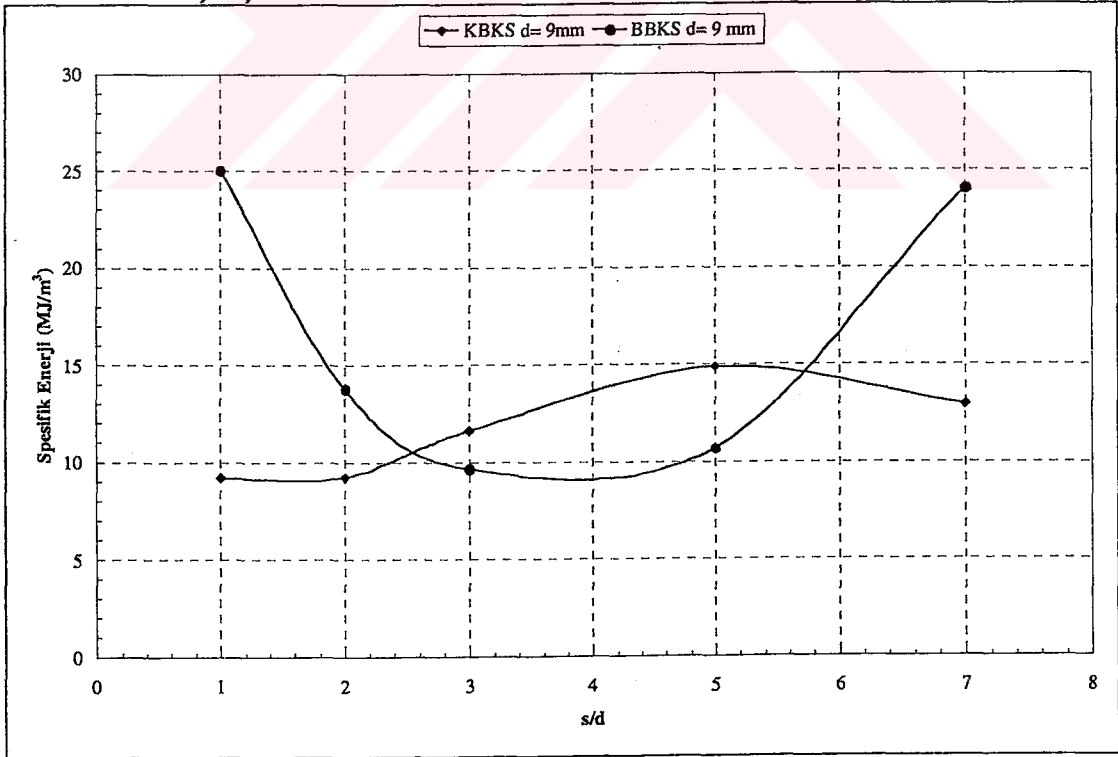
Şekil B.45 Pınarbaşı-Pulpınar Harsburgit yankayacında $d = 5 \text{ mm}$ 'de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



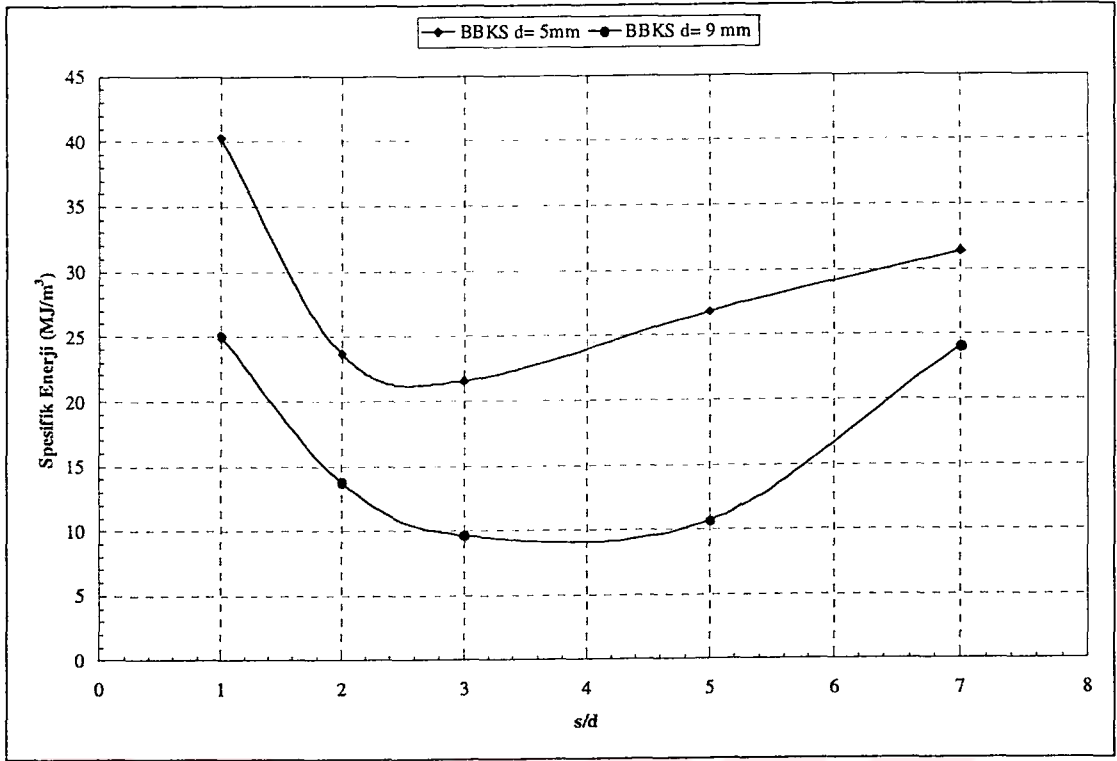
Şekil B.46 Pınarbaşı-Pulpınar Harsburgit yankayacında $d = 5 \text{ ve } 9 \text{ mm}$ 'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



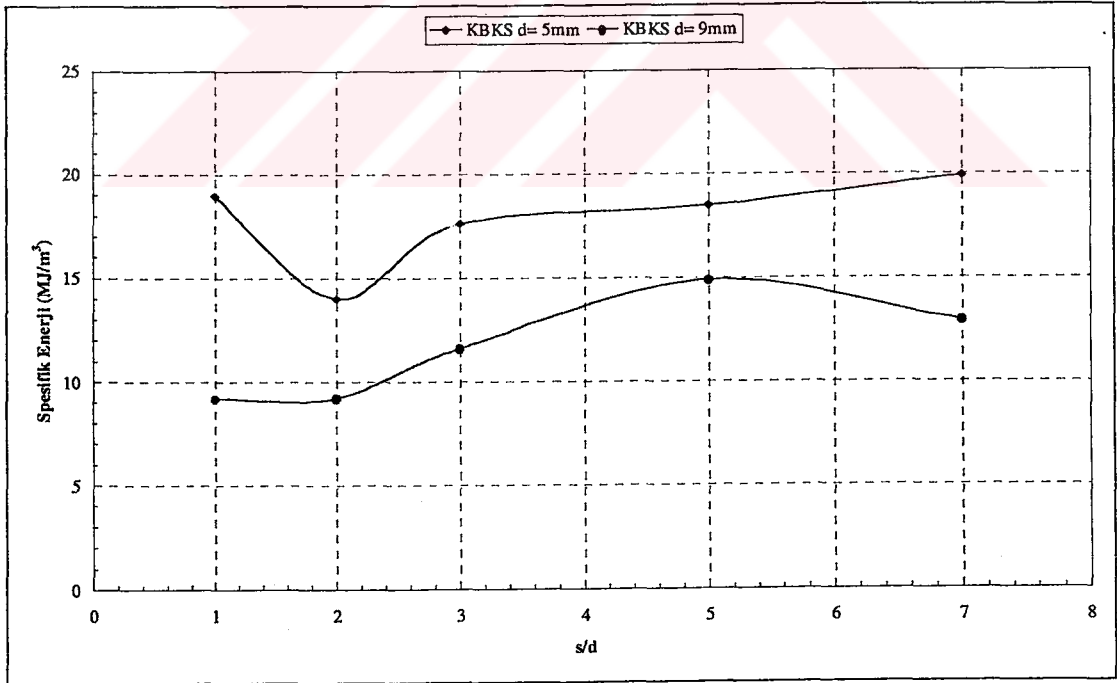
Şekil B.47 Beypazarı TronaU4 de $d = 5$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



Şekil B.48 Beypazarı TronaU4 de $d = 9$ mm’de küçük ve büyük boyutlu kazı setlerinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



Şekil B.49 Beypazarı TronaU4 de $d = 5$ ve 9 mm 'de büyük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



Şekil B.50 Beypazarı TronaU4 de $d = 5$ ve 9 mm 'de küçük boyutlu kazı setinde yapılan s/d ile spesifik enerji arasındaki ilişkinin karşılaştırılması

EK C: Küçük Boyutlu Kazı Setinde Yapılan Elek Analizi Toplu Deney Sonuçları

Tablo C.1 Acıgöl tufünde d=5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

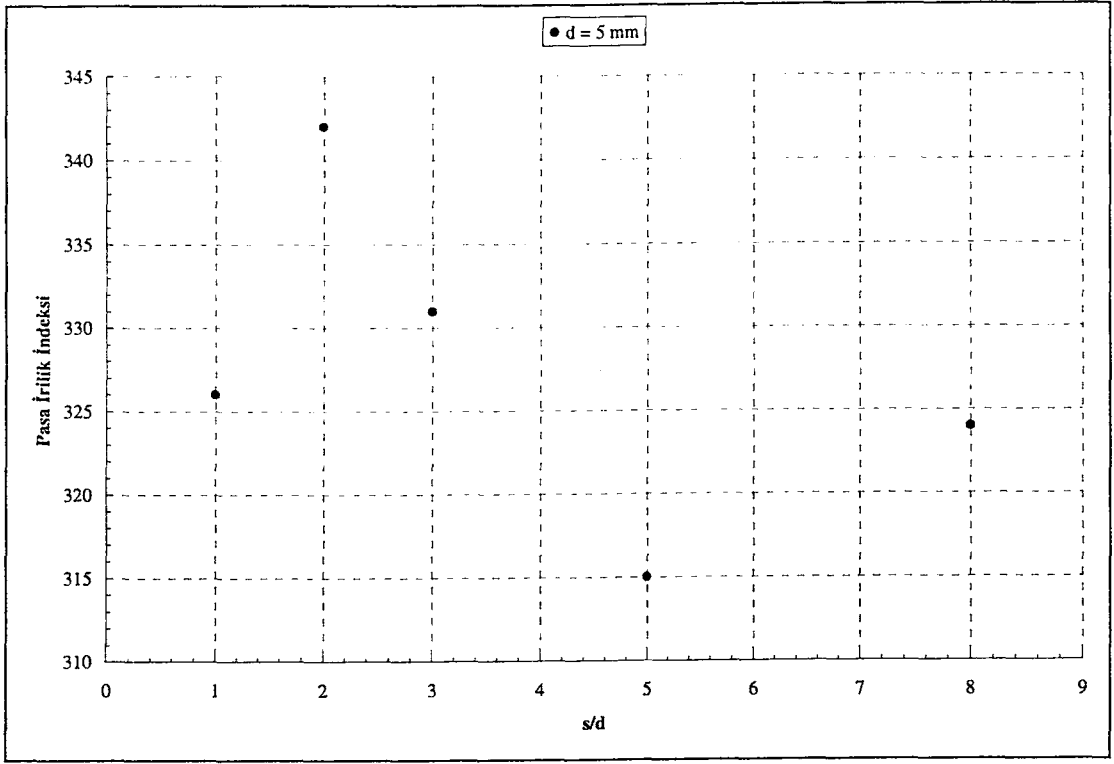
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Acıgöl		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	324
2	- 25	+ 8	8.26	12.48	8.26	12.5	
3	- 8	+ 2	22.22	33.56	30.48	46.0	
4	- 2	+ 0.5	15.61	23.58	46.09	69.6	
5	-0.5	+ 0.125	17.21	25.99	63.30	95.6	
6	- 0.125		2.91	4.40	66.21	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Acıgöl		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	326
2	- 25	+ 8	8.72	14.52	8.72	14.5	
3	- 8	+ 2	22.36	37.24	31.08	51.8	
4	- 2	+ 0.5	11.91	19.84	42.99	71.6	
5	-0.5	+ 0.125	10.15	16.91	53.14	88.5	
6	- 0.125		6.90	11.49	60.04	100.0	

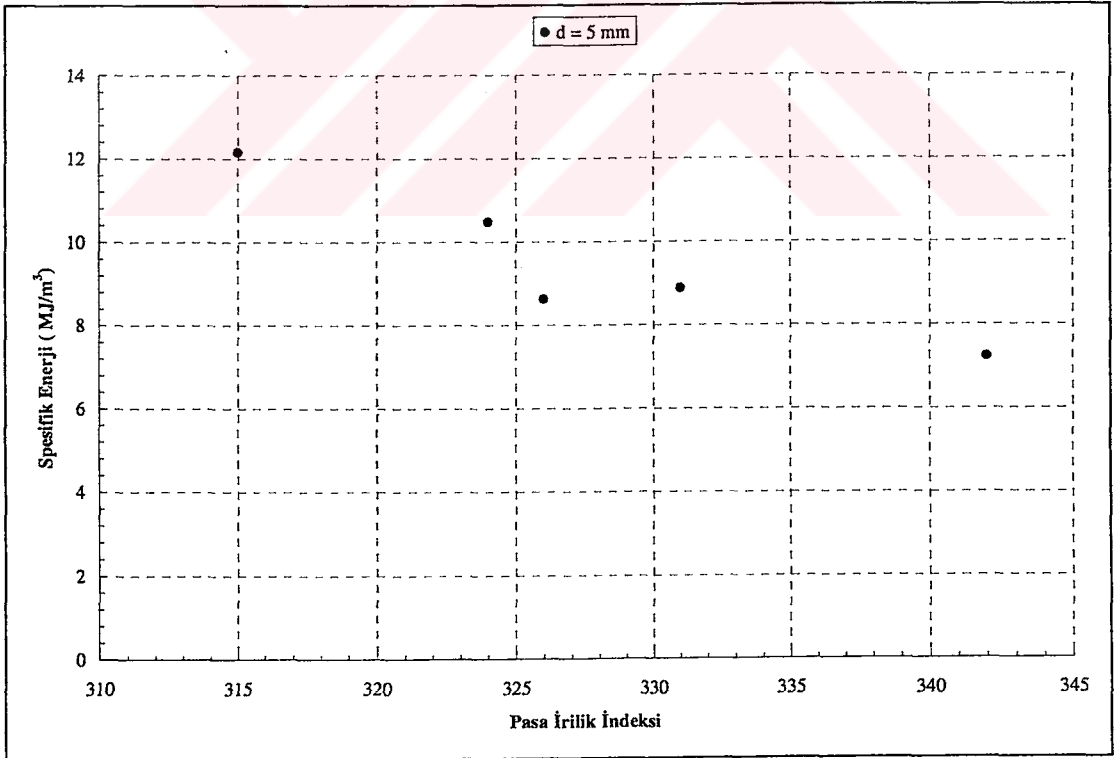
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Acıgöl		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	342
2	- 25	+ 8	17.71	24.75	17.71	24.8	
3	- 8	+ 2	21.50	30.05	39.21	54.8	
4	- 2	+ 0.5	13.40	18.73	52.61	73.5	
5	-0.5	+ 0.125	11.32	15.82	63.93	89.4	
6	- 0.125		7.62	10.65	71.55	100.0	

S (mm): 15		d (mm): 5		Kayaç: Acıgöl			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	331
2	- 25	+ 8	21.96	21.54	21.96	21.5	
3	- 8	+ 2	30.01	29.44	51.97	51.0	
4	- 2	+ 0.5	19.54	19.17	71.51	70.1	
5	-0.5	+ 0.125	18.30	17.95	89.81	88.1	
6	- 0.125		12.14	11.91	101.95	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Acıgöl		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	315
2	- 25	+ 8	11.36	15.37	11.36	15.4	
3	- 8	+ 2	23.05	31.18	34.41	46.5	
4	- 2	+ 0.5	15.27	20.65	49.68	67.2	
5	-0.5	+ 0.125	13.96	18.88	63.64	86.1	
6	- 0.125		10.29	13.92	73.93	100.0	



Şekil C.1 Acıgöl tufünde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.2 Acıgöl tufünde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.2 Gelveri tûfûnde d=5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Gelveri		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	344
2	- 25	+ 8	9.56	17.04	9.56	17.0	
3	- 8	+ 2	22.70	40.46	32.26	57.5	
4	- 2	+ 0.5	11.52	20.53	43.78	78.0	
5	-0.5	+ 0.125	7.56	13.47	51.34	91.5	
6	- 0.125		4.77	8.50	56.11	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Gelveri		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	362
2	- 25	+ 8	15.88	23.85	15.88	23.8	
3	- 8	+ 2	26.42	39.68	42.30	63.5	
4	- 2	+ 0.5	11.97	17.98	54.27	81.5	
5	-0.5	+ 0.125	7.80	11.71	62.07	93.2	
6	- 0.125		4.52	6.79	66.59	100.0	

S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Gelveri		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	346
2	- 25	+ 8	18.14	20.82	18.14	20.8	
3	- 8	+ 2	31.93	36.65	50.07	57.5	
4	- 2	+ 0.5	16.96	19.47	67.03	76.9	
5	-0.5	+ 0.125	12.39	14.22	79.42	91.2	
6	- 0.125		7.70	8.84	87.12	100.0	

S (mm): 15		d (mm): 5		Kayaç: Gelveri			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	360
2	- 25	+ 8	22.41	27.56	22.41	27.6	
3	- 8	+ 2	27.17	33.42	49.58	61.0	
4	- 2	+ 0.5	14.78	18.18	64.36	79.2	
5	-0.5	+ 0.125	10.42	12.82	74.78	92.0	
6	- 0.125		6.53	8.03	81.31	100.0	

S (mm): 25		d (mm): 5		Kayaç: Gelveri			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	341
2	- 25	+ 8	18.88	20.71	18.88	20.7	
3	- 8	+ 2	31.07	34.08	49.95	54.8	
4	- 2	+ 0.5	18.59	20.39	68.54	75.2	
5	-0.5	+ 0.125	14.22	15.60	82.76	90.8	
6	- 0.125		8.40	9.21	91.16	100.0	

Tablo C.3 Gelveri tufünde d = 9 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

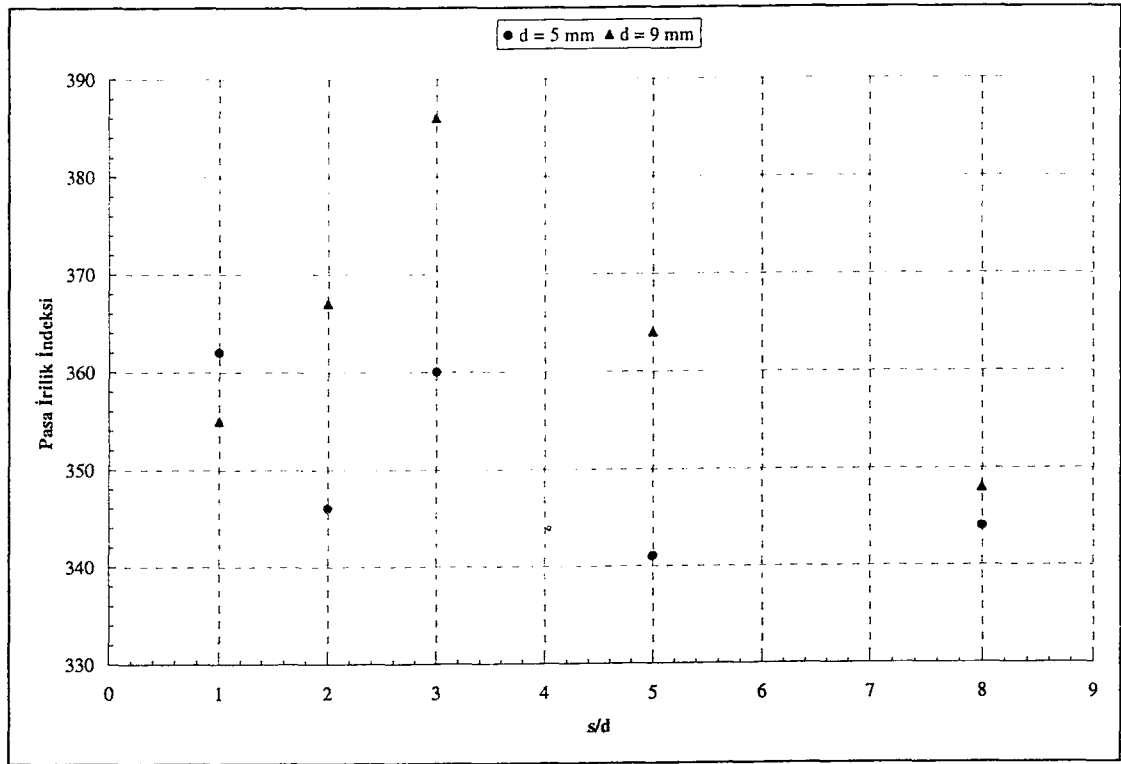
S (mm): Yardımsız			d (mm): 9		Kayaç: Gelveri		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	348
2	- 25	+ 8	34.32	21.49	34.32	21.5	
3	- 8	+ 2	57.14	35.78	91.46	57.3	
4	- 2	+ 0.5	33.00	20.66	124.46	77.9	
5	-0.5	+ 0.125	21.98	13.76	146.44	91.7	
6	- 0.125		13.28	8.31	159.72	100.0	

S (mm): 9			d (mm): 9		Kayaç: Gelveri		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	355
2	- 25	+ 8	35.50	25.68	35.50	25.7	
3	- 8	+ 2	46.05	33.31	81.55	59.0	
4	- 2	+ 0.5	27.64	19.99	109.19	79.0	
5	-0.5	+ 0.125	17.57	12.71	126.76	91.7	
6	- 0.125		11.50	8.32	138.26	100.0	

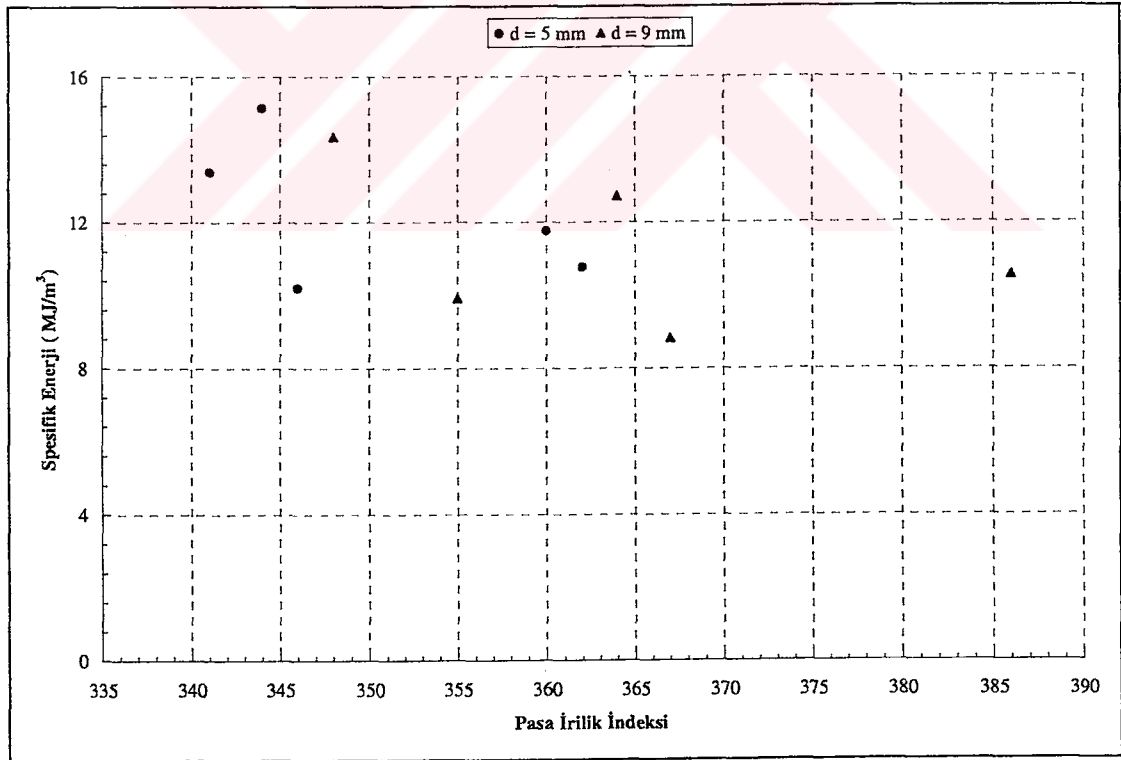
S (mm): 18		d (mm): 9		Kayaç: Gelveri			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	367
2	- 25	+ 8	44.94	31.87	44.94	31.9	
3	- 8	+ 2	42.66	30.26	87.60	62.1	
4	- 2	+ 0.5	25.77	18.28	113.37	80.4	
5	-0.5	+ 0.125	17.14	12.16	130.51	92.6	
6	- 0.125		10.48	7.43	140.99	100.0	

S (mm): 27		d (mm): 9		Kayaç: Gelveri			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	386
2	- 25	+ 8	61.66	42.92	61.66	42.9	
3	- 8	+ 2	35.41	24.65	97.07	67.6	
4	- 2	+ 0.5	22.26	15.49	119.33	83.1	
5	-0.5	+ 0.125	13.57	9.45	132.90	92.5	
6	- 0.125		10.76	7.49	143.66	100.0	

S (mm): 45		d (mm): 9		Kayaç: Gelveri			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	364
2	- 25	+ 8	49.76	30.42	49.76	30.4	
3	- 8	+ 2	51.23	31.31	100.99	61.7	
4	- 2	+ 0.5	29.90	18.28	130.89	80.0	
5	-0.5	+ 0.125	19.96	12.20	150.85	92.2	
6	- 0.125		12.75	7.79	163.60	100.0	



Şekil C.3 Gelveri tûfünde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.4 Gelveri tûfünde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.4 Göstük tüfünde d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Göstük		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	318
2	- 25	+ 8	12.11	12.40	12.11	12.4	
3	- 8	+ 2	34.91	35.74	47.02	48.1	
4	- 2	+ 0.5	21.98	22.50	69.00	70.6	
5	-0.5	+ 0.125	16.16	16.54	85.16	87.2	
6	- 0.125		12.52	12.82	97.68	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Göstük		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	319
2	- 25	+ 8	7.43	9.20	7.43	9.2	
3	- 8	+ 2	35.83	44.36	43.26	53.6	
4	- 2	+ 0.5	14.71	18.21	57.97	71.8	
5	-0.5	+ 0.125	10.62	13.15	68.59	84.9	
6	- 0.125		12.18	15.08	80.77	100.0	

S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Göstük		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	336
2	- 25	+ 8	22.18	22.58	22.18	22.6	
3	- 8	+ 2	31.79	32.36	53.97	54.9	
4	- 2	+ 0.5	17.09	17.40	71.06	72.3	
5	-0.5	+ 0.125	13.12	13.36	84.18	85.7	
6	- 0.125		14.06	14.31	98.24	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Göstük		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	336
2	- 25	+ 8	19.05	20.08	19.05	20.1	
3	- 8	+ 2	35.02	36.92	54.07	57.0	
4	- 2	+ 0.5	15.14	15.96	69.21	73.0	
5	-0.5	+ 0.125	12.20	12.86	81.41	85.8	
6	- 0.125		13.44	14.17	94.85	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Göstük		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	330
2	- 25	+ 8	14.00	14.43	14.00	14.4	
3	- 8	+ 2	40.26	41.51	54.26	55.9	
4	- 2	+ 0.5	16.70	17.22	70.96	73.2	
5	-0.5	+ 0.125	12.50	12.89	83.46	86.0	
6	- 0.125		13.54	13.96	97.00	100.0	

Tablo C.5 Göstük tufünde d = 9 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

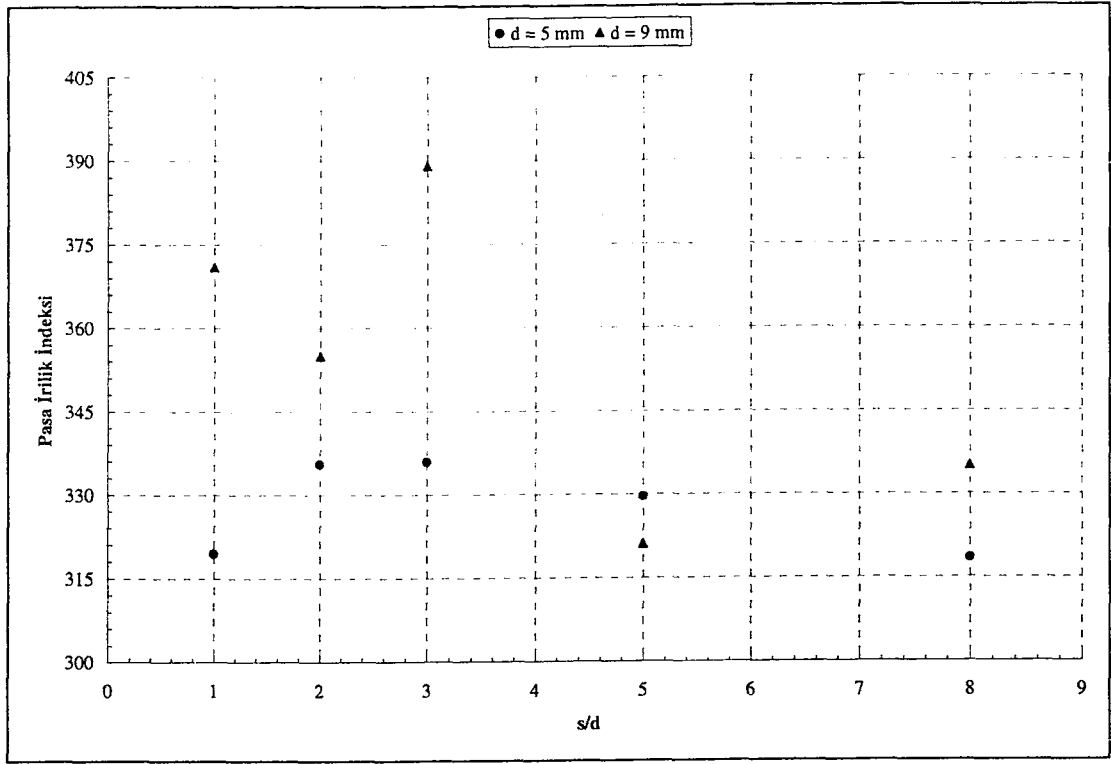
S (mm): Yardımsız			d (mm): 9		Kayaç: Göstük		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	335
2	- 25	+ 8	38.37	21.08	38.37	21.1	
3	- 8	+ 2	65.16	35.80	103.53	56.9	
4	- 2	+ 0.5	28.03	15.40	131.56	72.3	
5	-0.5	+ 0.125	23.28	12.79	154.84	85.1	
6	- 0.125		27.16	14.92	182.00	100.0	

S (mm): 9			d (mm): 9		Kayaç: Göstük		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	371
2	- 25	+ 8	32.56	41.12	32.56	41.1	
3	- 8	+ 2	18.92	23.89	51.48	65.0	
4	- 2	+ 0.5	9.58	12.10	61.06	77.1	
5	-0.5	+ 0.125	8.48	10.71	69.54	87.8	
6	- 0.125		9.64	12.17	79.18	100.0	

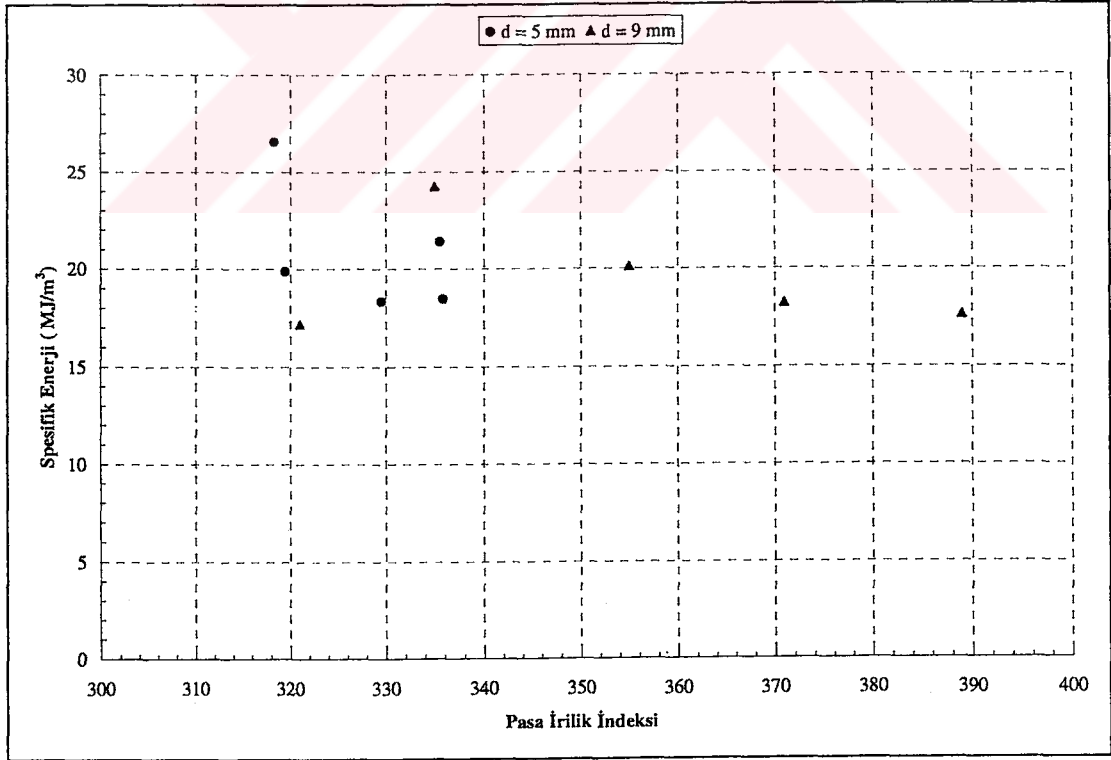
S (mm): 18			d (mm): 9		Kayaç: Göstük		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	355
2	- 25	+ 8	29.12	32.28	29.12	32.3	
3	- 8	+ 2	26.35	29.21	55.47	61.5	
4	- 2	+ 0.5	11.75	13.02	67.22	74.5	
5	-0.5	+ 0.125	11.20	12.41	78.42	86.9	
6	- 0.125		11.80	13.08	90.22	100.0	

S (mm): 27			d (mm): 9		Kayaç: Göstük		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		10.83	13.53	10.83	13.5	389
2	- 25	+ 8	18.96	23.69	29.79	37.2	
3	- 8	+ 2	23.78	29.71	53.57	66.9	
4	- 2	+ 0.5	10.56	13.19	64.13	80.1	
5	-0.5	+ 0.125	9.27	11.58	73.40	91.7	
6	- 0.125		6.65	8.31	80.05	100.0	

S (mm): 45		d (mm): 9		Kayaç: Göstük			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	321
2	- 25	+ 8	6.75	9.95	6.75	10.0	
3	- 8	+ 2	28.50	42.03	35.25	52.0	
4	- 2	+ 0.5	13.24	19.53	48.49	71.5	
5	-0.5	+ 0.125	10.81	15.94	59.30	87.5	
6	- 0.125		8.51	12.55	67.81	100.0	



Şekil C.5 Göstük tufünde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.6 Göstük tufünde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.6 Kızılkaya tufünde d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	308
2	- 25	+ 8	6.57	10.48	6.57	10.5	
3	- 8	+ 2	22.95	36.61	29.52	47.1	
4	- 2	+ 0.5	13.21	21.07	42.73	68.2	
5	-0.5	+ 0.125	8.98	14.32	51.71	82.5	
6	- 0.125		10.98	17.51	62.69	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	339
2	- 25	+ 8	14.66	24.86	14.66	24.9	
3	- 8	+ 2	17.31	29.36	31.97	54.2	
4	- 2	+ 0.5	11.41	19.35	43.38	73.6	
5	-0.5	+ 0.125	7.50	12.72	50.88	86.3	
6	- 0.125		8.08	13.70	58.96	100.0	

S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	332
2	- 25	+ 8	11.40	16.59	11.40	16.6	
3	- 8	+ 2	26.66	38.80	38.06	55.4	
4	- 2	+ 0.5	12.78	18.60	50.84	74.0	
5	-0.5	+ 0.125	8.45	12.30	59.29	86.3	
6	- 0.125		9.43	13.72	68.72	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	329
2	- 25	+ 8	11.83	19.99	11.83	20.0	
3	- 8	+ 2	19.53	33.00	31.36	53.0	
4	- 2	+ 0.5	10.92	18.45	42.28	71.4	
5	-0.5	+ 0.125	7.66	12.94	49.94	84.4	
6	- 0.125		9.24	15.61	59.18	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	308
2	- 25	+ 8	8.97	14.58	8.97	14.6	
3	- 8	+ 2	19.01	30.89	27.98	45.5	
4	- 2	+ 0.5	12.64	20.54	40.62	66.0	
5	-0.5	+ 0.125	9.54	15.50	50.16	81.5	
6	- 0.125		11.38	18.49	61.54	100.0	

Tablo C.7 Kızılkaya tufünde d = 9 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

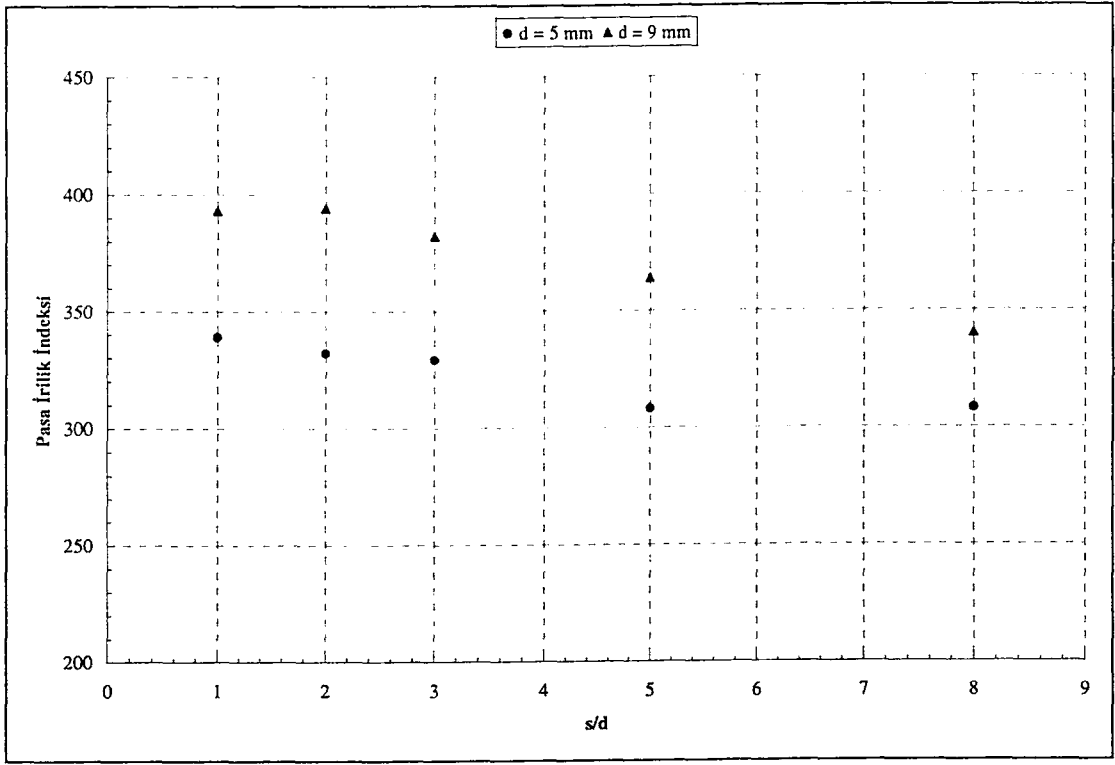
S (mm): Yardımsız		d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	340
2	- 25	+ 8	40.06	28.38	40.06	28.4	
3	- 8	+ 2	38.24	27.09	78.30	55.5	
4	- 2	+ 0.5	23.27	16.48	101.57	72.0	
5	-0.5	+ 0.125	17.44	12.35	119.01	84.3	
6	- 0.125		22.15	15.69	141.16	100.0	

S (mm): 9			d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	393
2	- 25	+ 8	58.63	49.13	58.63	49.1	
3	- 8	+ 2	25.96	21.75	84.59	70.9	
4	- 2	+ 0.5	14.06	11.78	98.65	82.7	
5	-0.5	+ 0.125	9.51	7.97	108.16	90.6	
6	- 0.125		11.18	9.37	119.34	100.0	

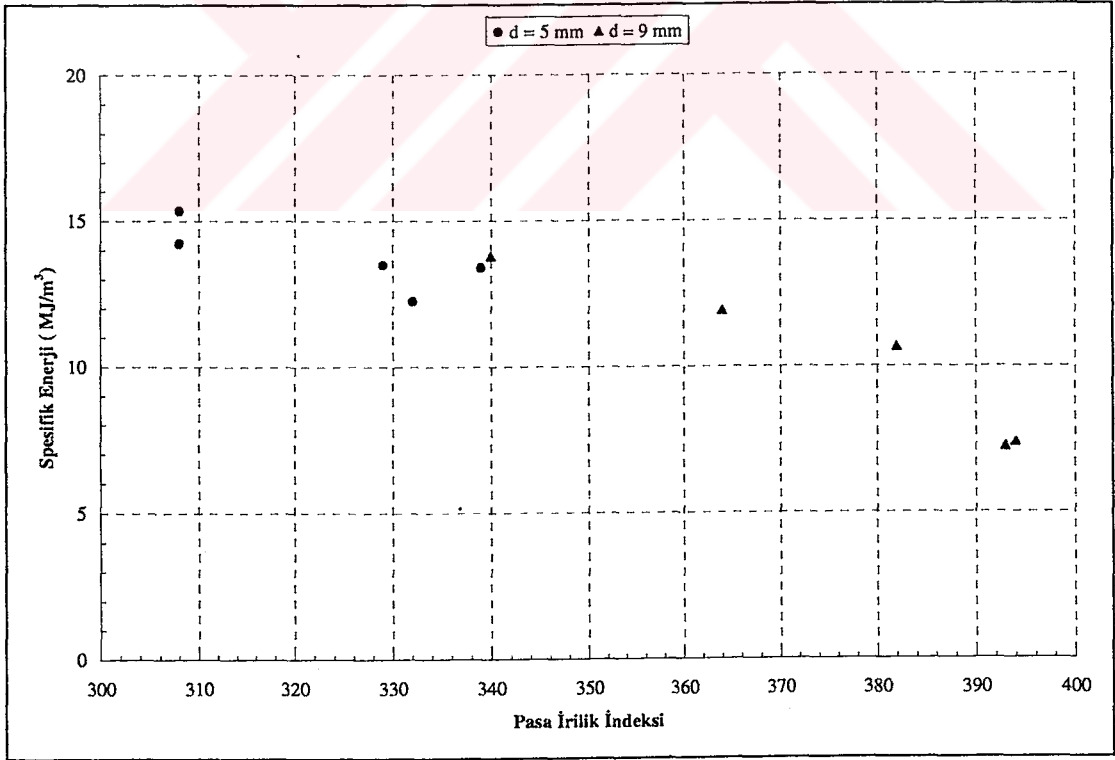
S (mm): 18		d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	394
2	- 25	+ 8	67.89	49.79	67.89	49.8	
3	- 8	+ 2	29.05	21.31	96.94	71.1	
4	- 2	+ 0.5	15.88	11.65	112.82	82.7	
5	-0.5	+ 0.125	10.29	7.55	123.11	90.3	
6	- 0.125		13.24	9.71	136.35	100.0	

S (mm): 27			d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	382
2	- 25	+ 8	73.42	45.91	73.42	45.9	
3	- 8	+ 2	33.45	20.92	106.87	66.8	
4	- 2	+ 0.5	21.30	13.32	128.17	80.1	
5	-0.5	+ 0.125	14.41	9.01	142.58	89.2	
6	- 0.125		17.34	10.84	159.92	100.0	

S (mm): 45			d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	364
2	- 25	+ 8	35.09	37.51	35.09	37.5	
3	- 8	+ 2	22.75	24.32	57.84	61.8	
4	- 2	+ 0.5	14.30	15.29	72.14	77.1	
5	-0.5	+ 0.125	9.33	9.97	81.47	87.1	
6	- 0.125		12.08	12.91	93.55	100.0	



Şekil C.7 Kızılıkaya tufünde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.8 Kızılıkaya tufünde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.8 Kızılkaya pembe tufünde d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya pembe		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	300
2	- 25	+ 8	7.96	13.18	7.96	13.2	
3	- 8	+ 2	17.35	28.73	25.31	41.9	
4	- 2	+ 0.5	12.56	20.79	37.87	62.7	
5	-0.5	+ 0.125	11.81	19.55	49.68	82.3	
6	- 0.125		10.72	17.75	60.40	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya pembe		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	316
2	- 25	+ 8	13.78	14.73	13.78	14.7	
3	- 8	+ 2	31.69	33.86	45.47	48.6	
4	- 2	+ 0.5	18.38	19.64	63.85	68.2	
5	-0.5	+ 0.125	15.64	16.71	79.49	84.9	
6	- 0.125		14.09	15.06	93.58	100.0	

S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya pembe		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	342
2	- 25	+ 8	26.10	27.05	26.10	27.1	
3	- 8	+ 2	26.90	27.88	53.00	54.9	
4	- 2	+ 0.5	17.01	17.63	70.01	72.6	
5	-0.5	+ 0.125	14.44	14.97	84.45	87.5	
6	- 0.125		12.03	12.47	96.48	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya pembe		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	336
2	- 25	+ 8	12.04	19.01	12.04	19.0	
3	- 8	+ 2	20.14	31.81	32.18	50.8	
4	- 2	+ 0.5	12.79	20.20	44.97	71.0	
5	-0.5	+ 0.125	15.27	24.12	60.24	95.1	
6	- 0.125		3.08	4.86	63.32	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kızılkaya pembe		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	321
2	- 25	+ 8	8.19	14.20	8.19	14.2	
3	- 8	+ 2	19.03	32.99	27.22	47.2	
4	- 2	+ 0.5	12.73	22.07	39.95	69.2	
5	-0.5	+ 0.125	12.14	21.04	52.09	90.3	
6	- 0.125		5.60	9.71	57.69	100.0	

Tablo C.9 Kızılkaya pembe tûfûnde d = 9 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

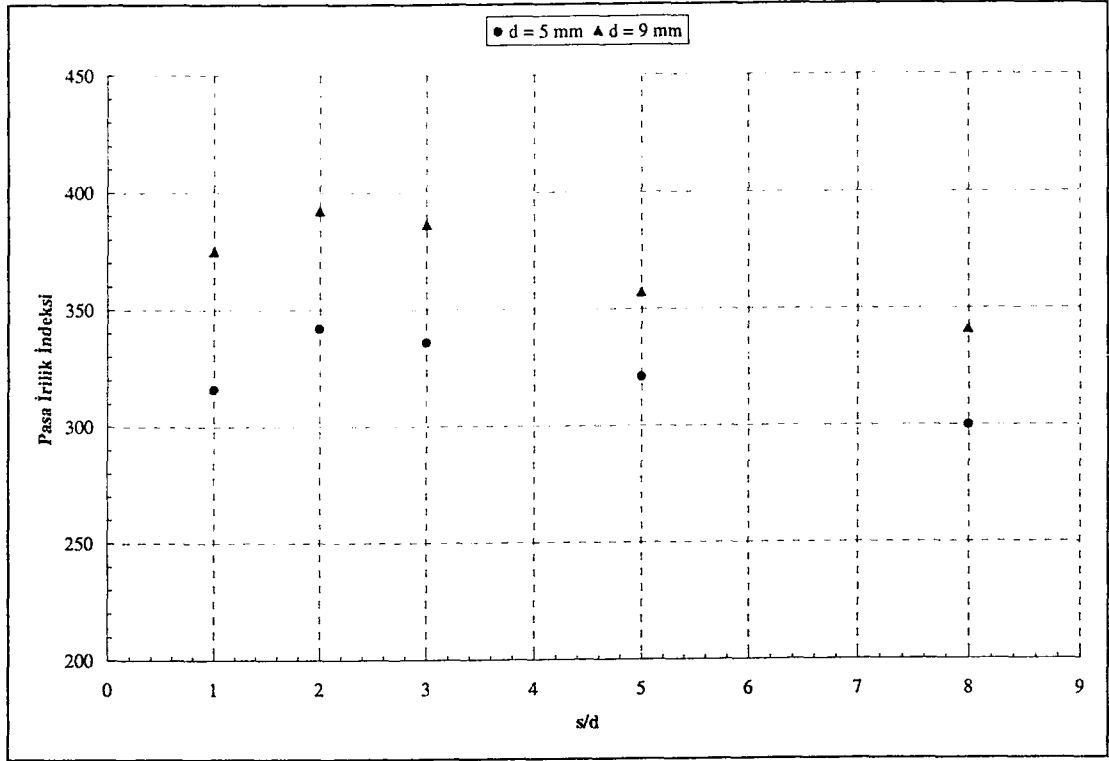
S (mm): Yardımsız			d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya pembe		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	341
2	- 25	+ 8	65.84	24.16	65.84	24.2	
3	- 8	+ 2	80.25	29.45	146.09	53.6	
4	- 2	+ 0.5	48.73	17.88	194.82	71.5	
5	-0.5	+ 0.125	53.96	19.80	248.78	91.3	
6	- 0.125		23.69	8.69	272.47	100.0	

S (mm): 9			d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya pembe		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	375
2	- 25	+ 8	60.60	36.56	60.60	36.6	
3	- 8	+ 2	45.55	27.48	106.15	64.0	
4	- 2	+ 0.5	24.91	15.03	131.06	79.1	
5	-0.5	+ 0.125	26.94	16.25	158.00	95.3	
6	- 0.125		7.77	4.69	165.77	100.0	

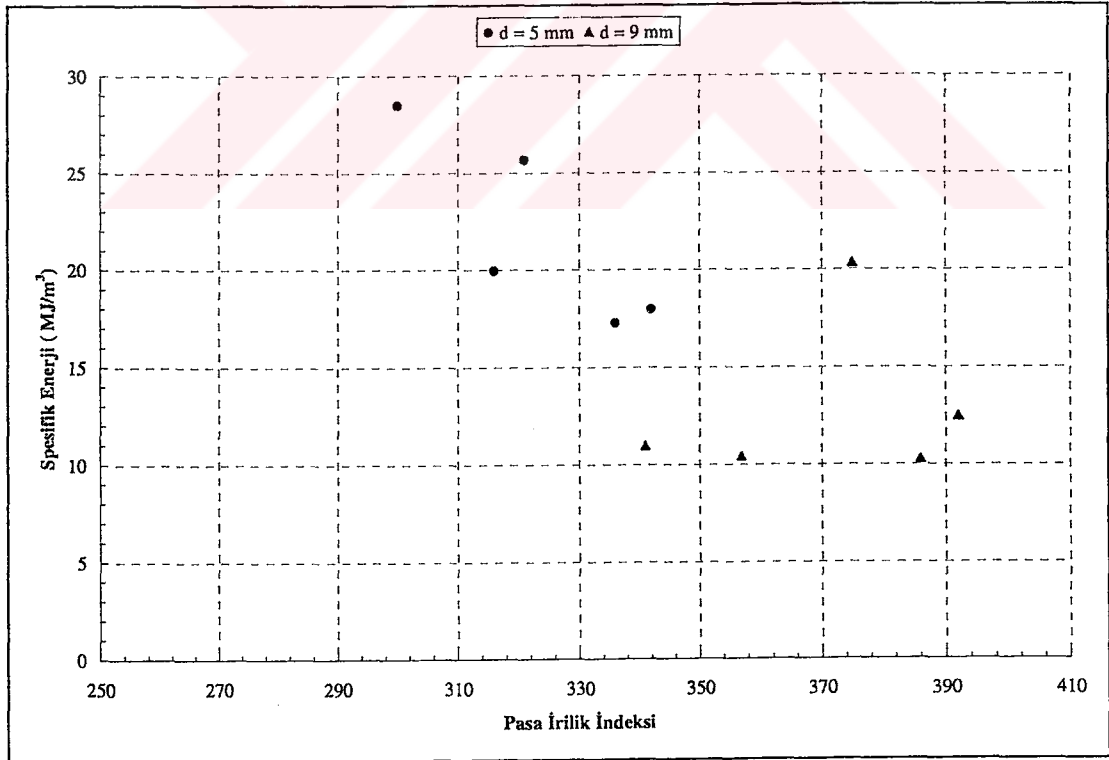
S (mm): 18		d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya pembe			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		4.60	2.01	4.60	2.0	392
2	- 25	+ 8	95.82	41.80	100.42	43.8	
3	- 8	+ 2	55.20	24.08	155.62	67.9	
4	- 2	+ 0.5	30.97	13.51	186.59	81.4	
5	-0.5	+ 0.125	35.06	15.29	221.65	96.7	
6	- 0.125		7.58	3.31	229.23	100.0	

S (mm): 27			d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya pembe		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		10.64	4.28	10.64	4.3	386
2	- 25	+ 8	93.69	37.69	104.33	42.0	
3	- 8	+ 2	58.63	23.58	162.96	65.6	
4	- 2	+ 0.5	33.07	13.30	196.03	78.9	
5	-0.5	+ 0.125	39.80	16.01	235.83	94.9	
6	- 0.125		12.77	5.14	248.60	100.0	

S (mm): 45		d (mm): 9		Kayaç: Kızılkaya pembe			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		6.49	3.09	6.49	3.1	357
2	- 25	+ 8	57.59	27.42	64.08	30.5	
3	- 8	+ 2	53.17	25.31	117.25	55.8	
4	- 2	+ 0.5	34.62	16.48	151.87	72.3	
5	-0.5	+ 0.125	47.46	22.59	199.33	94.9	
6	- 0.125		10.73	5.11	210.06	100.0	



Şekil C.9 Kızılkaya pembe tufünde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.10 Kızılkaya pembe tufünde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.10 Selime üst tûfûnde d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	260
2	- 25	+ 8	1.05	1.42	1.05	1.4	
3	- 8	+ 2	20.91	28.35	21.96	29.8	
4	- 2	+ 0.5	16.03	21.74	37.99	51.5	
5	-0.5	+ 0.125	18.93	25.67	56.92	77.2	
6	- 0.125		16.83	22.82	73.75	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	268
2	- 25	+ 8	2.16	3.19	2.16	3.2	
3	- 8	+ 2	21.63	31.93	23.79	35.1	
4	- 2	+ 0.5	13.68	20.19	37.47	55.3	
5	-0.5	+ 0.125	13.25	19.56	50.72	74.9	
6	- 0.125		17.02	25.13	67.74	100.0	

S (mm): 10		d (mm): 5		Kayaç: Selime üst			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	278
2	- 25	+ 8	5.09	6.63	5.09	6.6	
3	- 8	+ 2	23.45	30.56	28.54	37.2	
4	- 2	+ 0.5	15.03	19.59	43.57	56.8	
5	-0.5	+ 0.125	16.08	20.95	59.65	77.7	
6	- 0.125		17.09	22.27	76.74	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Selime üst		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	255
2	- 25	+ 8	1.34	1.73	1.34	1.7	
3	- 8	+ 2	22.61	29.12	23.95	30.8	
4	- 2	+ 0.5	16.35	21.06	40.30	51.9	
5	-0.5	+ 0.125	14.12	18.19	54.42	70.1	
6	- 0.125		23.22	29.91	77.64	100.0	

S (mm): 25		d (mm): 5		Kayaç: Selime üst			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	262
2	- 25	+ 8	2.73	5.29	2.73	5.3	
3	- 8	+ 2	13.13	25.46	15.86	30.7	
4	- 2	+ 0.5	10.63	20.61	26.49	51.4	
5	-0.5	+ 0.125	11.87	23.01	38.36	74.4	
6	- 0.125		13.22	25.63	51.58	100.0	

Tablo C.11 Selime üst tûfünde d = 9 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

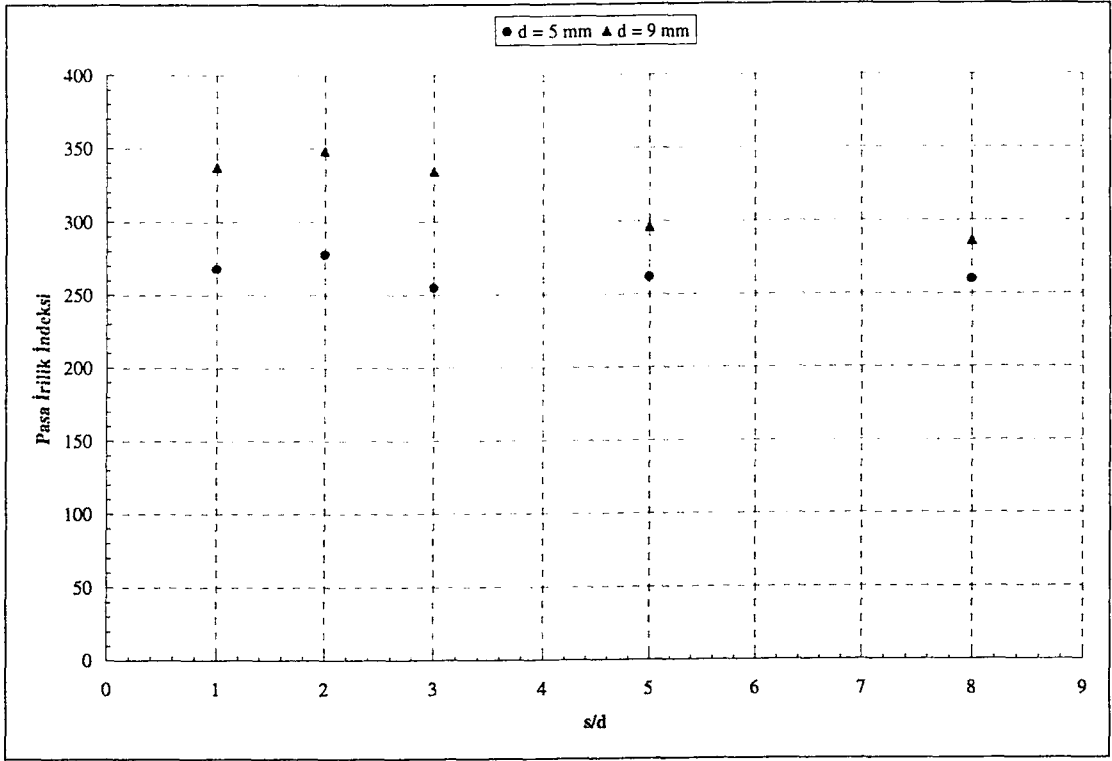
S (mm): Yardımsız			d (mm): 9		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	286
2	- 25	+ 8	22.99	15.44	22.99	15.4	
3	- 8	+ 2	29.63	19.90	52.62	35.3	
4	- 2	+ 0.5	28.00	18.81	80.62	54.1	
5	-0.5	+ 0.125	39.64	26.62	120.26	80.8	
6	- 0.125		28.63	19.23	148.89	100.0	

S (mm): 9			d (mm): 9		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	337
2	- 25	+ 8	46.91	29.09	46.91	29.1	
3	- 8	+ 2	38.53	23.89	85.44	53.0	
4	- 2	+ 0.5	24.45	15.16	109.89	68.1	
5	-0.5	+ 0.125	29.67	18.40	139.56	86.5	
6	- 0.125		21.71	13.46	161.27	100.0	

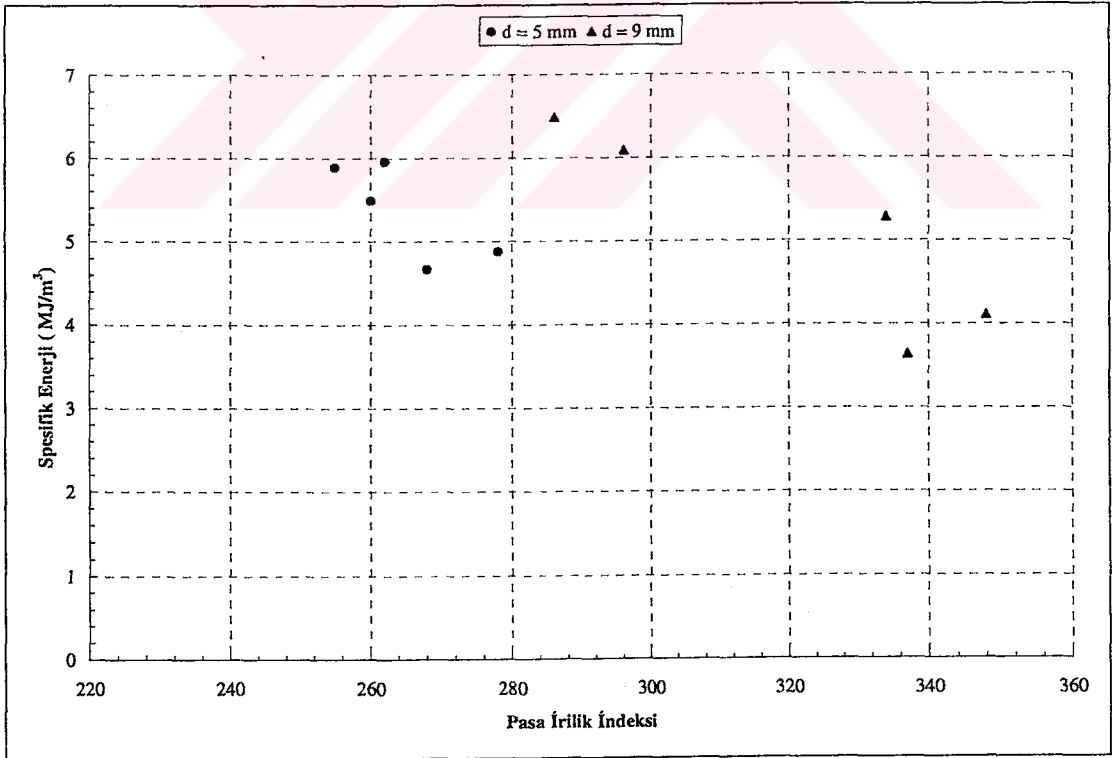
S (mm): 18			d (mm): 9		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	348
2	- 25	+ 8	48.43	35.27	48.43	35.3	
3	- 8	+ 2	28.67	20.88	77.10	56.1	
4	- 2	+ 0.5	18.41	13.41	95.51	69.6	
5	-0.5	+ 0.125	24.21	17.63	119.72	87.2	
6	- 0.125		17.60	12.82	137.32	100.0	

S (mm): 27			d (mm): 9		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	334
2	- 25	+ 8	54.97	31.32	54.97	31.3	
3	- 8	+ 2	32.27	18.39	87.24	49.7	
4	- 2	+ 0.5	26.67	15.20	113.91	64.9	
5	-0.5	+ 0.125	41.07	23.40	154.98	88.3	
6	- 0.125		20.51	11.69	175.49	100.0	

S (mm): 45			d (mm): 9		Kayaç: Selime üst		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	296
2	- 25	+ 8	15.41	15.53	15.41	15.5	
3	- 8	+ 2	22.40	22.58	37.81	38.1	
4	- 2	+ 0.5	18.42	18.57	56.23	56.7	
5	-0.5	+ 0.125	28.54	28.77	84.77	85.5	
6	- 0.125		14.43	14.55	99.20	100.0	



Şekil C.11 Selime üst tütünde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.12 Selime üst tütünde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.12 Stfa Dragos kıltaşında d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	374
2	- 25	+ 8	30.84	33.39	30.84	33.4	
3	- 8	+ 2	28.75	31.13	59.59	64.5	
4	- 2	+ 0.5	16.60	17.97	76.19	82.5	
5	-0.5	+ 0.125	10.35	11.21	86.54	93.7	
6	- 0.125		5.82	6.30	92.36	100.0	

S (mm): 5		d (mm): 5		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	367
2	- 25	+ 8	22.82	30.42	22.82	30.4	
3	- 8	+ 2	23.77	31.68	46.59	62.1	
4	- 2	+ 0.5	14.47	19.29	61.06	81.4	
5	-0.5	+ 0.125	8.77	11.69	69.83	93.1	
6	- 0.125		5.19	6.92	75.02	100.0	

S (mm): 10		d (mm): 5		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı			
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	400
2	- 25	+ 8	53.27	47.41	53.27	47.4	
3	- 8	+ 2	27.56	24.53	80.83	71.9	
4	- 2	+ 0.5	16.48	14.67	97.31	86.6	
5	-0.5	+ 0.125	8.74	7.78	106.05	94.4	
6	- 0.125		6.30	5.61	112.35	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	402
2	- 25	+ 8	56.18	47.47	56.18	47.5	
3	- 8	+ 2	30.50	25.77	86.68	73.2	
4	- 2	+ 0.5	16.02	13.54	102.70	86.8	
5	-0.5	+ 0.125	9.20	7.77	111.90	94.6	
6	- 0.125		6.44	5.44	118.34	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	387
2	- 25	+ 8	33.80	40.01	33.80	40.0	
3	- 8	+ 2	24.67	29.21	58.47	69.2	
4	- 2	+ 0.5	12.64	14.96	71.11	84.2	
5	-0.5	+ 0.125	8.20	9.71	79.31	93.9	
6	- 0.125		5.16	6.11	84.47	100.0	

Tablo C.13 Stfa Dragos kıltaşında d = 7 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

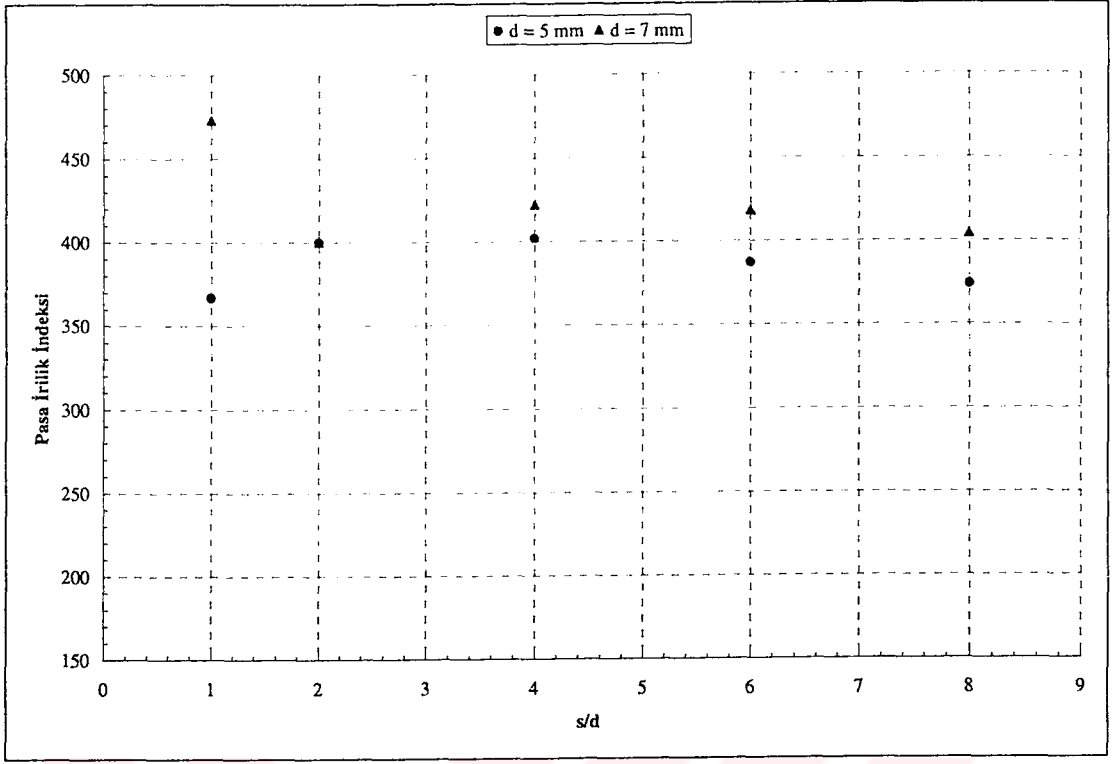
S (mm): Yardımsız			d (mm): 7		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		6.49	3.70	6.49	3.7	404
2	- 25	+ 8	67.75	38.67	74.24	42.4	
3	- 8	+ 2	55.88	31.89	130.12	74.3	
4	- 2	+ 0.5	24.33	13.89	154.45	88.2	
5	-0.5	+ 0.125	13.54	7.73	167.99	95.9	
6	- 0.125		7.22	4.12	175.21	100.0	

S (mm): 7			d (mm): 7		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		50.07	33.04	50.07	33.0	473
2	- 25	+ 8	49.86	32.90	99.93	65.9	
3	- 8	+ 2	28.07	18.52	128.00	84.5	
4	- 2	+ 0.5	12.50	8.25	140.50	92.7	
5	-0.5	+ 0.125	6.94	4.58	147.44	97.3	
6	- 0.125		4.10	2.71	151.54	100.0	

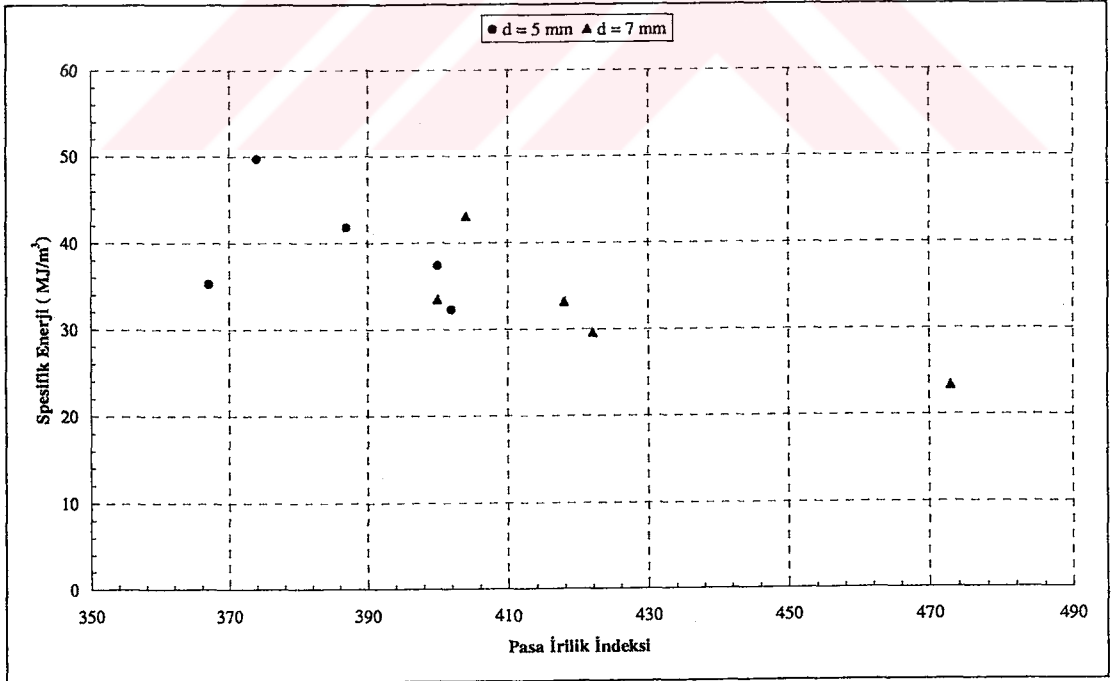
S (mm): 14		d (mm): 7		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	400
2	- 25	+ 8	58.49	46.14	58.49	46.1	
3	- 8	+ 2	33.60	26.50	92.09	72.6	
4	- 2	+ 0.5	17.80	14.04	109.89	86.7	
5	-0.5	+ 0.125	10.03	7.91	119.92	94.6	
6	- 0.125		6.86	5.41	126.78	100.0	

S (mm): 21			d (mm): 7		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		4.08	3.16	4.08	3.2	422
2	- 25	+ 8	66.34	51.33	70.42	54.5	
3	- 8	+ 2	30.78	23.82	101.20	78.3	
4	- 2	+ 0.5	14.71	11.38	115.91	89.7	
5	-0.5	+ 0.125	8.28	6.41	124.19	96.1	
6	- 0.125		5.04	3.90	129.23	100.0	

S (mm): 35			d (mm): 7		Kayaç: Stfa Dragos kıltaşı		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		14.98	14.15	14.98	14.1	418
2	- 25	+ 8	33.65	31.78	48.63	45.9	
3	- 8	+ 2	30.02	28.35	78.65	74.3	
4	- 2	+ 0.5	14.83	14.01	93.48	88.3	
5	-0.5	+ 0.125	7.85	7.41	101.33	95.7	
6	- 0.125		4.56	4.31	105.89	100.0	



Şekil C.13 Sfta dragos kıltaşında yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.14 Sfta dragos kıltaşında yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.14 Kumtaşı1 d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

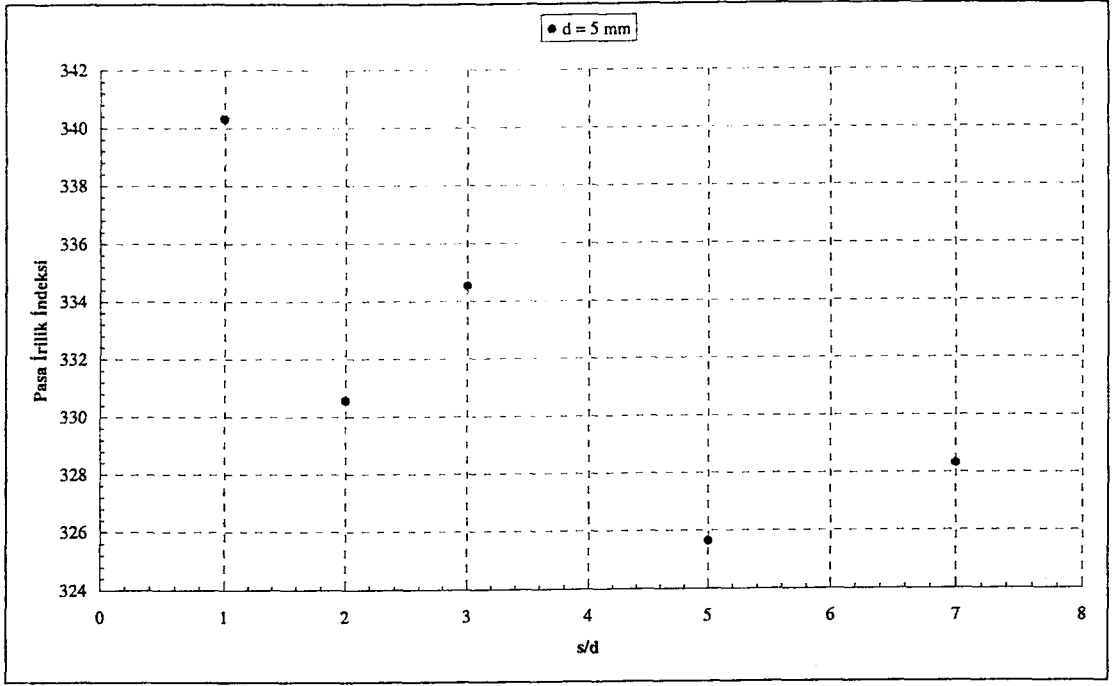
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 1		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	328
2	- 25	+ 8	14.92	18.37	14.92	18.4	
3	- 8	+ 2	26.03	32.05	40.95	50.4	
4	- 2	+ 0.5	16.02	19.72	56.97	70.1	
5	-0.5	+ 0.125	15.62	19.23	72.59	89.4	
6	- 0.125		8.63	10.63	81.22	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 1		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	340
2	- 25	+ 8	12.92	19.74	12.92	19.7	
3	- 8	+ 2	23.18	35.42	36.10	55.2	
4	- 2	+ 0.5	12.66	19.34	48.76	74.5	
5	-0.5	+ 0.125	10.74	16.41	59.50	90.9	
6	- 0.125		5.95	9.09	65.45	100.0	

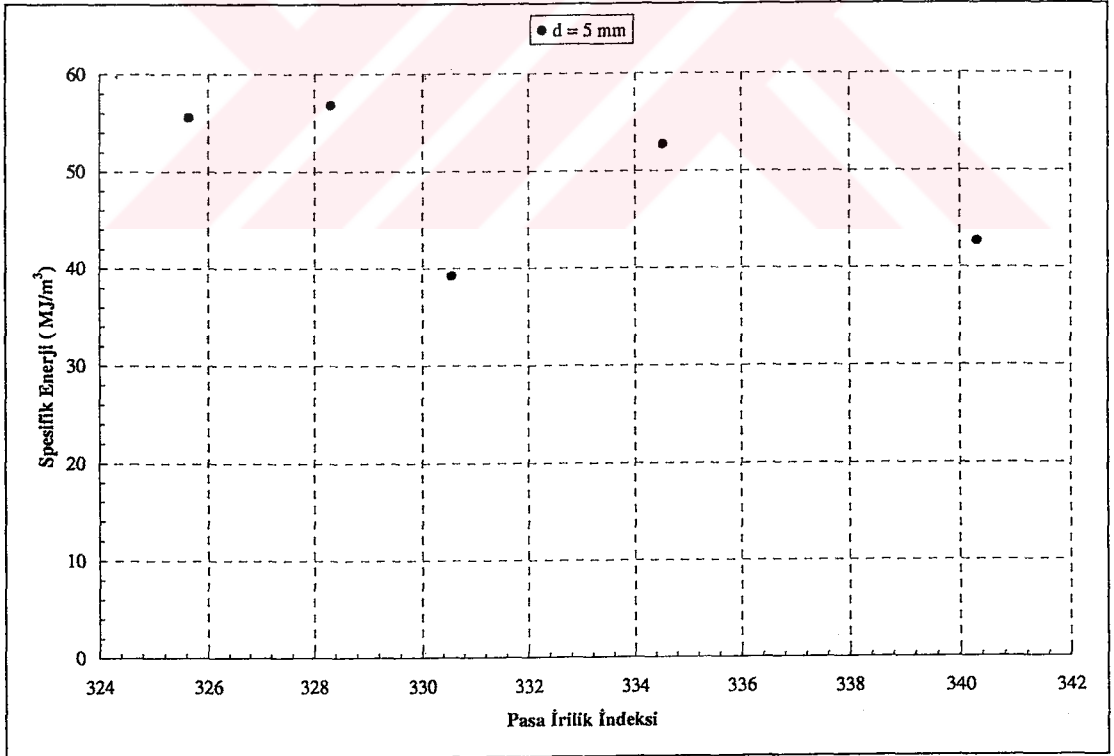
S (mm): 10		d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 1			
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	331
2	- 25	+ 8	13.11	17.27	13.11	17.3	
3	- 8	+ 2	25.85	34.06	38.96	51.3	
4	- 2	+ 0.5	15.41	20.30	54.37	71.6	
5	-0.5	+ 0.125	14.19	18.70	68.56	90.3	
6	- 0.125		7.34	9.67	75.90	100.0	

S (mm): 15		d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 1			
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	335
2	- 25	+ 8	16.41	21.99	16.41	22.0	
3	- 8	+ 2	22.43	30.05	38.84	52.0	
4	- 2	+ 0.5	14.99	20.08	53.83	72.1	
5	-0.5	+ 0.125	12.14	16.26	65.97	88.4	
6	- 0.125		8.67	11.62	74.64	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 1		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	326
2	- 25	+ 8	9.17	17.69	9.17	17.7	
3	- 8	+ 2	16.60	32.03	25.77	49.7	
4	- 2	+ 0.5	10.21	19.70	35.98	69.4	
5	-0.5	+ 0.125	10.05	19.39	46.03	88.8	
6	- 0.125		5.80	11.19	51.83	100.0	



Şekil C.15 Kumtaşı1 de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.16 Kumtaşı1 de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.15 Kumtaşı 4 d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

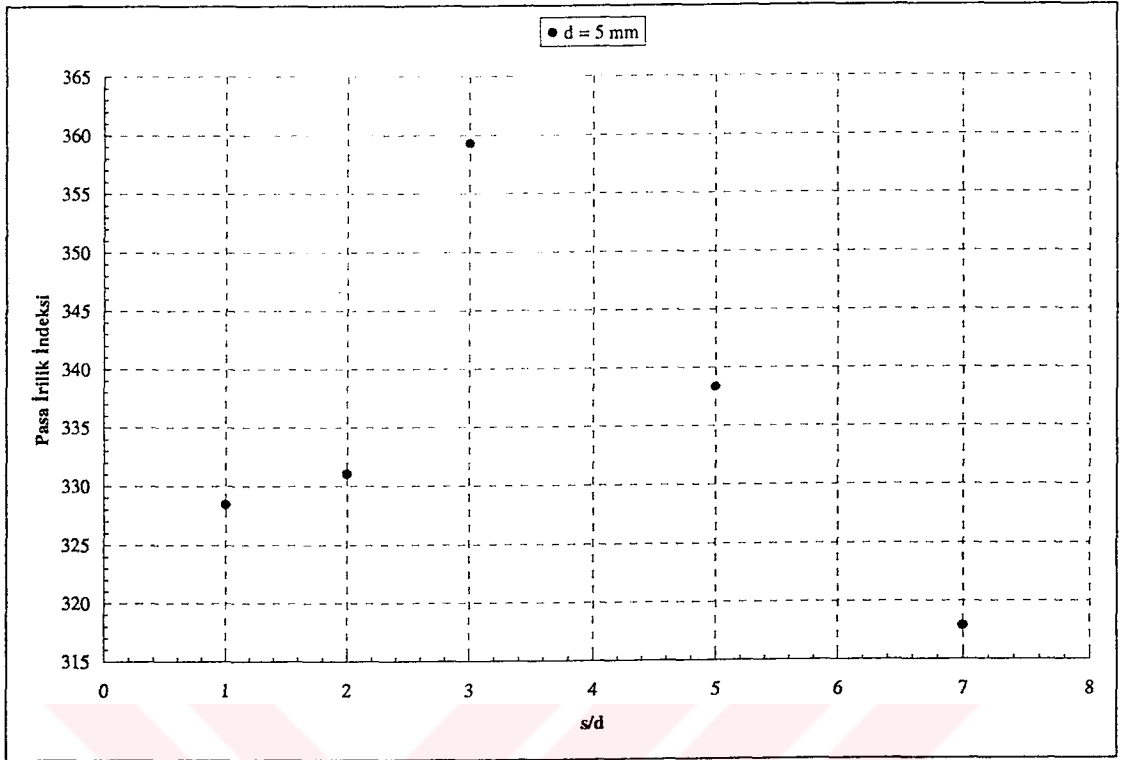
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	318
2	- 25	+ 8	5.76	9.78	5.76	9.8	
3	- 8	+ 2	23.91	40.60	29.67	50.4	
4	- 2	+ 0.5	13.75	23.35	43.42	73.7	
5	-0.5	+ 0.125	6.04	10.26	49.46	84.0	
6	- 0.125		9.43	16.01	58.89	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	328
2	- 25	+ 8	5.67	10.97	5.67	11.0	
3	- 8	+ 2	22.65	43.84	28.32	54.8	
4	- 2	+ 0.5	11.15	21.58	39.47	76.4	
5	-0.5	+ 0.125	5.10	9.87	44.57	86.3	
6	- 0.125		7.10	13.74	51.67	100.0	

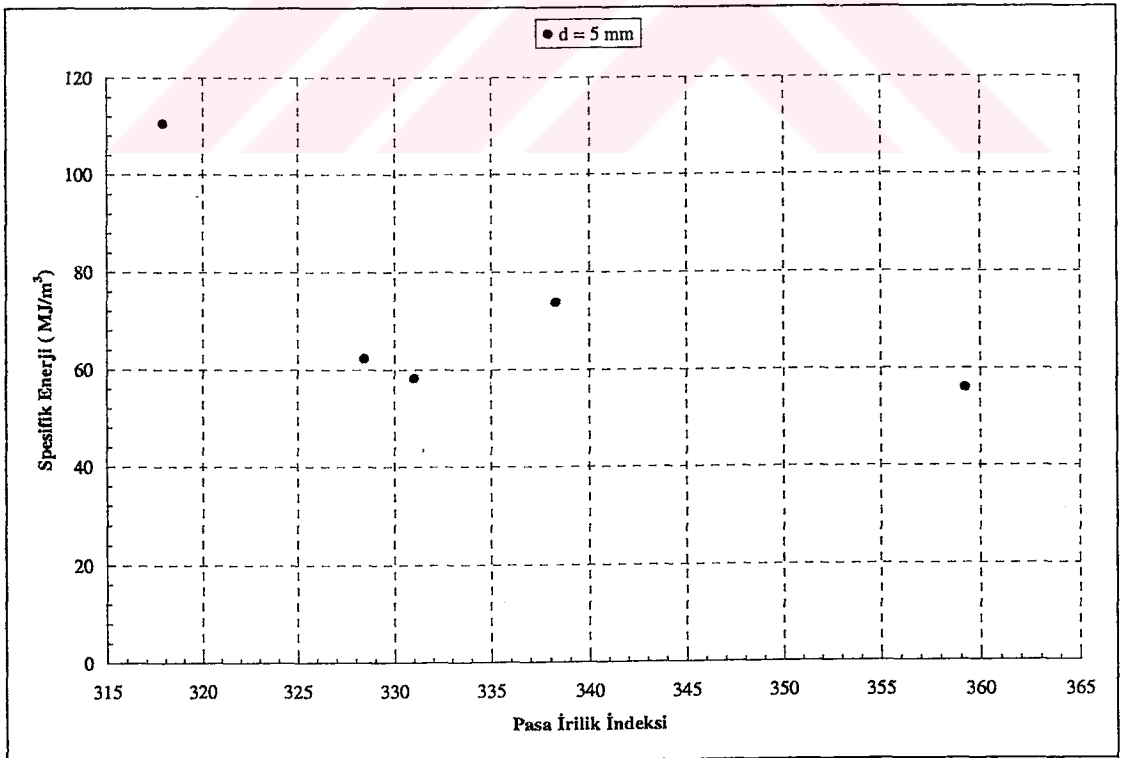
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	331
2	- 25	+ 8	7.98	12.79	7.98	12.8	
3	- 8	+ 2	26.76	42.91	34.74	55.7	
4	- 2	+ 0.5	13.07	20.96	47.81	76.7	
5	-0.5	+ 0.125	5.76	9.24	53.57	85.9	
6	- 0.125		8.80	14.11	62.37	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	359
2	- 25	+ 8	17.54	22.38	17.54	22.4	
3	- 8	+ 2	33.14	42.29	50.68	64.7	
4	- 2	+ 0.5	13.03	16.63	63.71	81.3	
5	-0.5	+ 0.125	7.52	9.60	71.23	90.9	
6	- 0.125		7.13	9.10	78.36	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	338
2	- 25	+ 8	9.97	15.32	9.97	15.3	
3	- 8	+ 2	27.22	41.83	37.19	57.1	
4	- 2	+ 0.5	13.06	20.07	50.25	77.2	
5	-0.5	+ 0.125	7.43	11.42	57.68	88.6	
6	- 0.125		7.40	11.37	65.08	100.0	



Şekil C.17 Kumtaşı4 de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.18 Kumtaşı4 de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.16 Silttaşı 5 d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

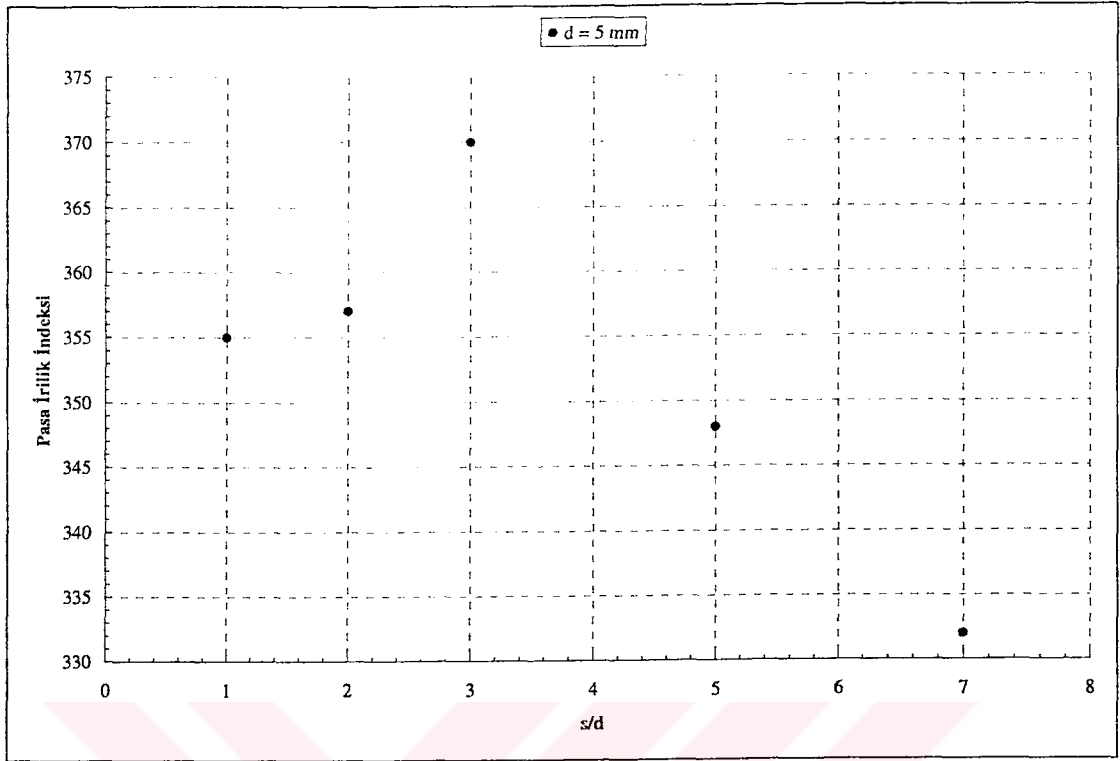
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Silttaşı 5		Pasa İriliik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	332
2	- 25	+ 8	10.74	13.33	10.74	13.3	
3	- 8	+ 2	34.29	42.57	45.03	55.9	
4	- 2	+ 0.5	16.54	20.53	61.57	76.4	
5	-0.5	+ 0.125	7.83	9.72	69.40	86.2	
6	- 0.125		11.15	13.84	80.55	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Silttaşı 5		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	355
2	- 25	+ 8	11.94	17.62	11.94	17.6	
3	- 8	+ 2	31.49	46.46	43.43	64.1	
4	- 2	+ 0.5	11.97	17.66	55.40	81.7	
5	-0.5	+ 0.125	6.44	9.50	61.84	91.2	
6	- 0.125		5.94	8.76	67.78	100.0	

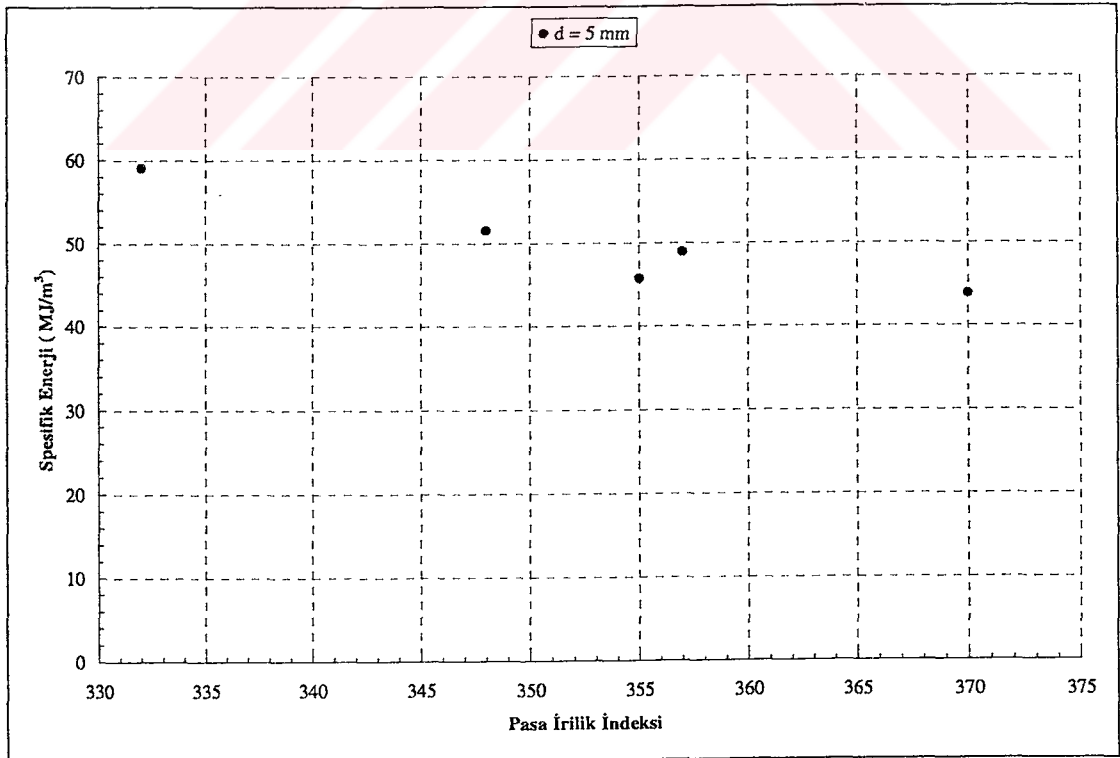
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Silttaşı 5		Pasa İriliik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	357
2	- 25	+ 8	17.99	23.95	17.99	24.0	
3	- 8	+ 2	28.35	37.74	46.34	61.7	
4	- 2	+ 0.5	14.20	18.91	60.54	80.6	
5	-0.5	+ 0.125	7.90	10.52	68.44	91.1	
6	- 0.125		6.67	8.88	75.11	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Silttaşı 5		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	370
2	- 25	+ 8	26.06	33.08	26.06	33.1	
3	- 8	+ 2	24.55	31.16	50.61	64.2	
4	- 2	+ 0.5	13.10	16.63	63.71	80.9	
5	-0.5	+ 0.125	8.29	10.52	72.00	91.4	
6	- 0.125		6.78	8.61	78.78	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Silttaşı 5		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	348
2	- 25	+ 8	13.64	20.30	13.64	20.3	
3	- 8	+ 2	26.48	39.40	40.12	59.7	
4	- 2	+ 0.5	12.43	18.50	52.55	78.2	
5	-0.5	+ 0.125	7.90	11.76	60.45	90.0	
6	- 0.125		6.75	10.04	67.20	100.0	



Şekil C.19 Silttaş15 de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.20 Silttaş15 de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.17 Kireçtaşı d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

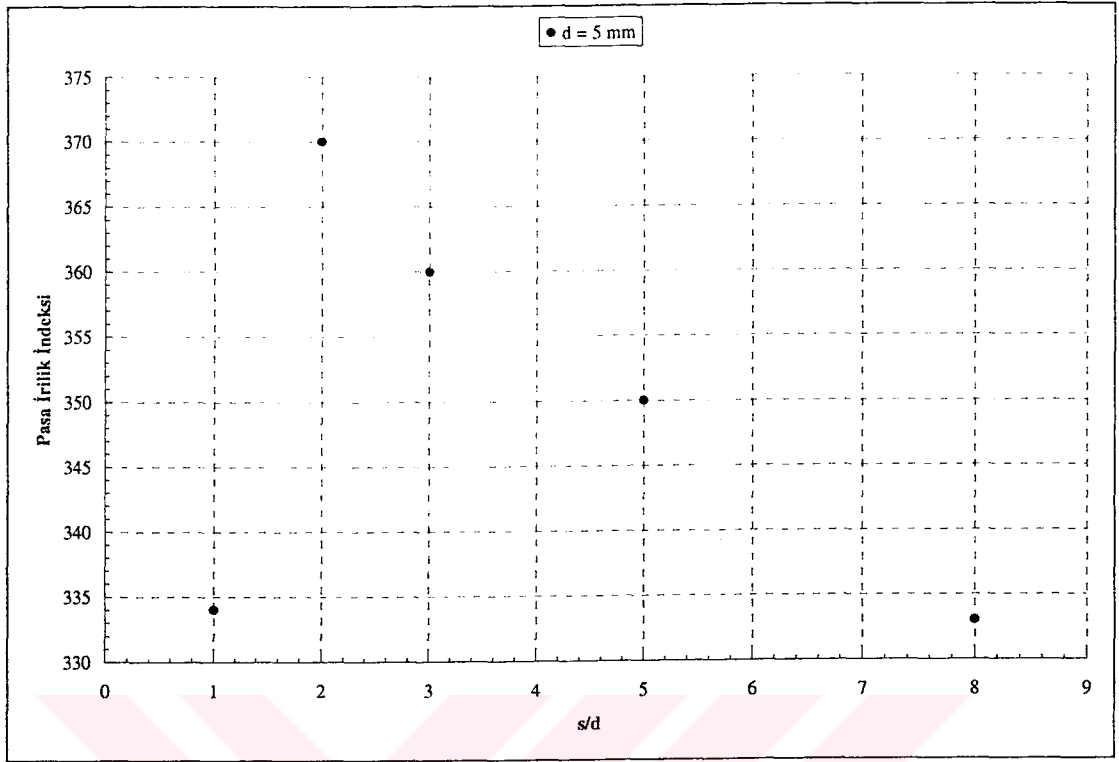
S (mm): Yardımsız		d (mm): 5		Kayaç: Kireçtaşı			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	333
2	- 25	+ 8	7.29	9.50	7.29	9.5	
3	- 8	+ 2	34.96	45.54	42.25	55.0	
4	- 2	+ 0.5	17.79	23.17	60.04	78.2	
5	-0.5	+ 0.125	9.43	12.28	69.47	90.5	
6	- 0.125		7.30	9.51	76.77	100.0	

S (mm): 5		d (mm): 5		Kayaç: Kireçtaşı			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İriliik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	334
2	- 25	+ 8	6.38	10.52	6.38	10.5	
3	- 8	+ 2	27.58	45.46	33.96	56.0	
4	- 2	+ 0.5	13.81	22.76	47.77	78.7	
5	-0.5	+ 0.125	6.15	10.14	53.92	88.9	
6	- 0.125		6.75	11.13	60.67	100.0	

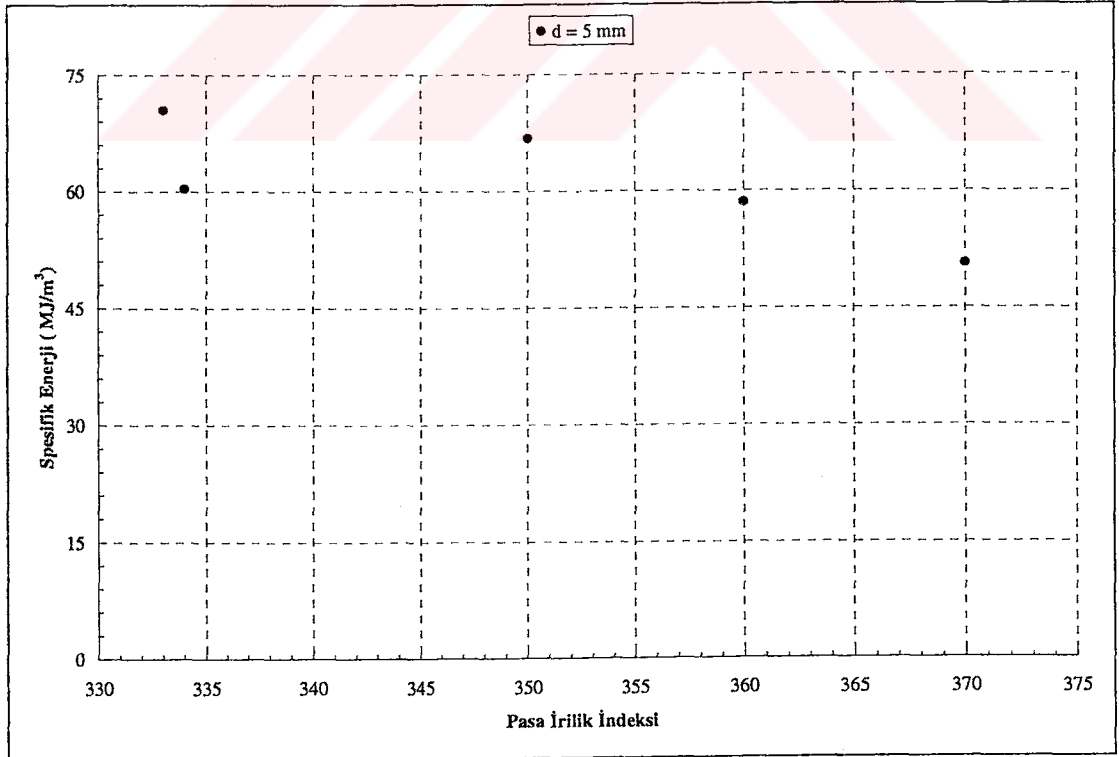
S (mm): 10		d (mm): 5		Kayaç: Kireçtaşı			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	370
2	- 25	+ 8	18.85	25.59	18.85	25.6	
3	- 8	+ 2	29.21	39.66	48.06	65.2	
4	- 2	+ 0.5	14.36	19.49	62.42	84.7	
5	-0.5	+ 0.125	6.86	9.31	69.28	94.1	
6	- 0.125		4.38	5.95	73.66	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Kireçtaşı		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	360
2	- 25	+ 8	15.49	21.65	15.49	21.7	
3	- 8	+ 2	29.35	41.03	44.84	62.7	
4	- 2	+ 0.5	14.77	20.65	59.61	83.3	
5	-0.5	+ 0.125	6.26	8.75	65.87	92.1	
6	- 0.125		5.67	7.93	71.54	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kireçtaşı		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	350
2	- 25	+ 8	8.74	16.44	8.74	16.4	
3	- 8	+ 2	23.26	43.75	32.00	60.2	
4	- 2	+ 0.5	11.12	20.91	43.12	81.1	
5	-0.5	+ 0.125	6.10	11.47	49.22	92.6	
6	- 0.125		3.95	7.43	53.17	100.0	



Şekil C.21 Kireçtaşın da yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.22 Kireçtaşın da yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.18 Kumtaşı 2 d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

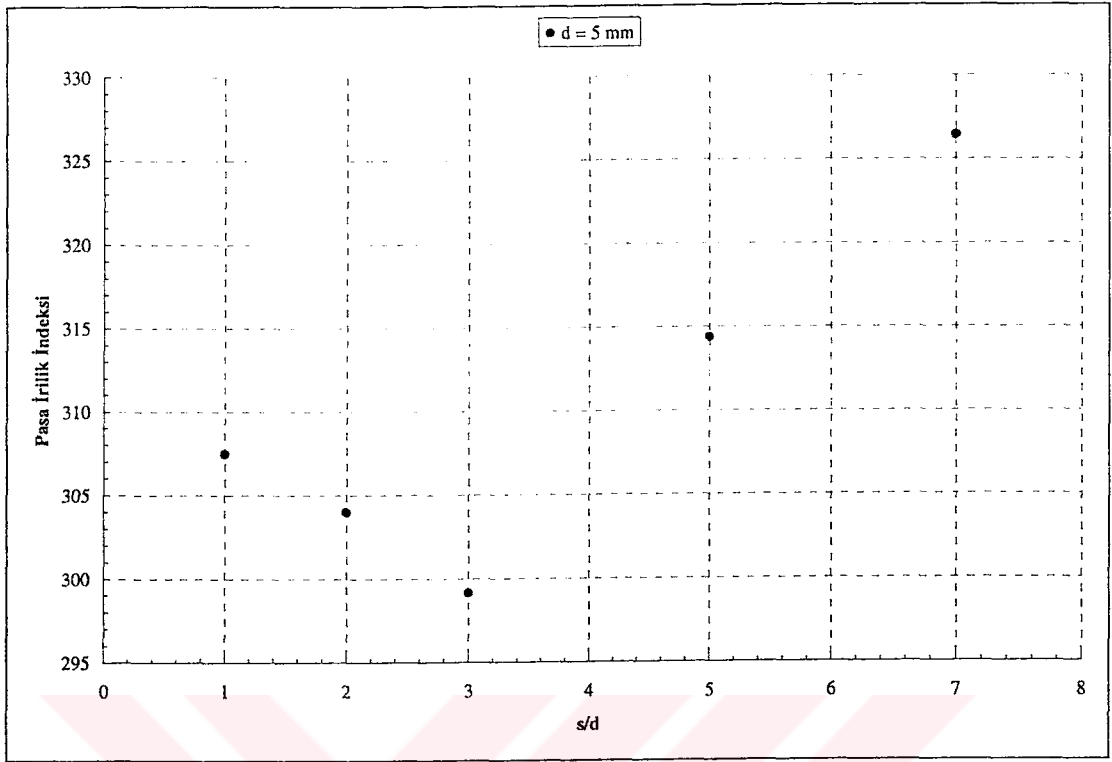
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 2		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	326
2	- 25	+ 8	7.10	14.59	7.10	14.6	
3	- 8	+ 2	19.27	39.59	26.37	54.2	
4	- 2	+ 0.5	8.98	18.45	35.35	72.6	
5	-0.5	+ 0.125	6.07	12.47	41.42	85.1	
6	- 0.125		7.26	14.91	48.68	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 2		Pasa İriliik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	307
2	- 25	+ 8	2.88	7.21	2.88	7.2	
3	- 8	+ 2	15.95	39.95	18.83	47.2	
4	- 2	+ 0.5	8.77	21.97	27.60	69.1	
5	-0.5	+ 0.125	5.91	14.80	33.51	83.9	
6	- 0.125		6.41	16.06	39.92	100.0	

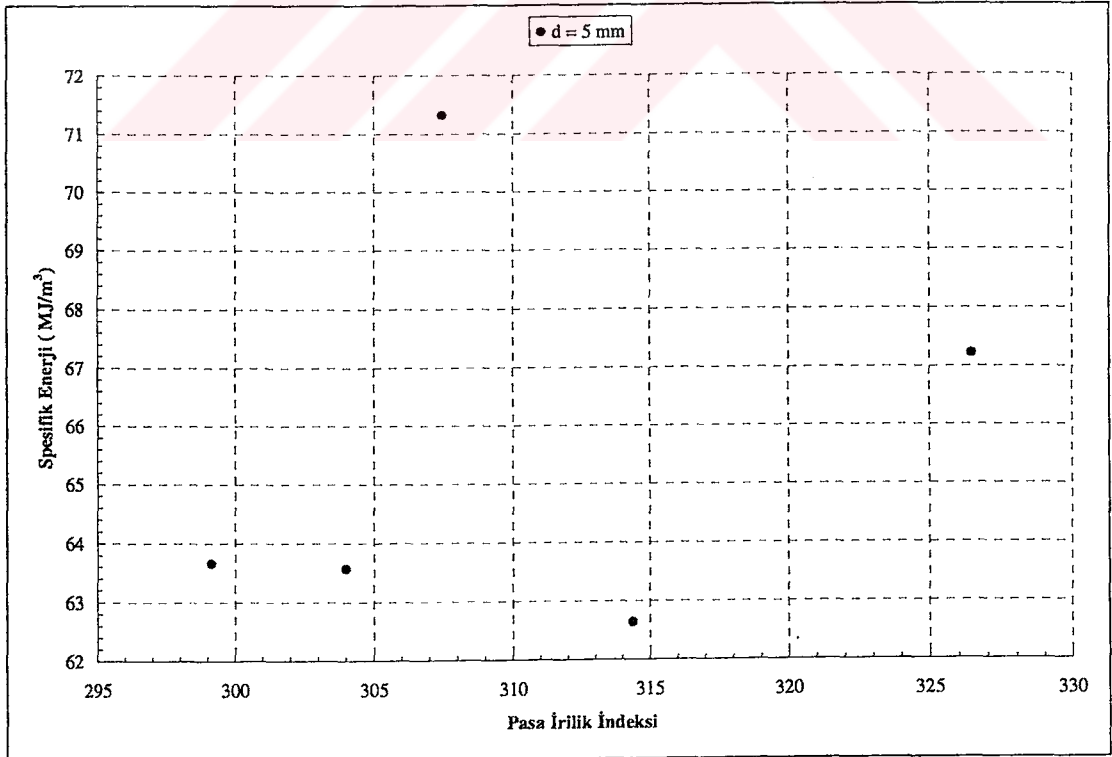
S (mm): 10		d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 2			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	304
2	- 25	+ 8	4.63	11.33	4.63	11.3	
3	- 8	+ 2	12.76	31.22	17.39	42.5	
4	- 2	+ 0.5	9.08	22.22	26.47	64.8	
5	-0.5	+ 0.125	8.41	20.58	34.88	85.3	
6	- 0.125		5.99	14.66	40.87	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 2		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	299
2	- 25	+ 8	2.75	7.67	2.75	7.7	
3	- 8	+ 2	12.52	34.90	15.27	42.6	
4	- 2	+ 0.5	8.28	23.08	23.55	65.7	
5	-0.5	+ 0.125	6.31	17.59	29.86	83.2	
6	- 0.125		6.01	16.75	35.87	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kumtaşı 2		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	314
2	- 25	+ 8	5.96	13.73	5.96	13.7	
3	- 8	+ 2	14.92	34.38	20.88	48.1	
4	- 2	+ 0.5	8.59	19.79	29.47	67.9	
5	-0.5	+ 0.125	7.26	16.73	36.73	84.6	
6	- 0.125		6.67	15.37	43.40	100.0	



Şekil C.23 Kumtaşı2 de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.24 Kumtaşı2 de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.19 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş1 d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

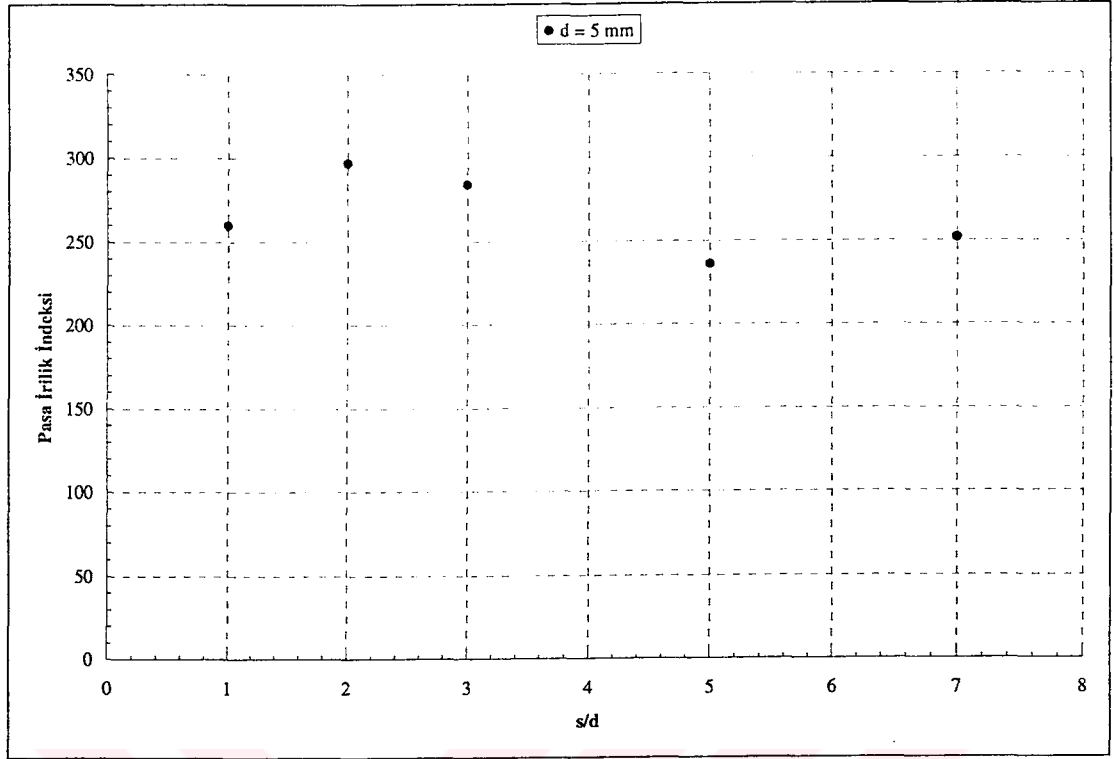
S (mm): Yardımsız		d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 1			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	252
2	- 25	+ 8	2.07	1.61	2.07	1.6	
3	- 8	+ 2	22.58	17.52	24.65	19.1	
4	- 2	+ 0.5	41.07	31.87	65.72	51.0	
5	-0.5	+ 0.125	37.48	29.09	103.20	80.1	
6	- 0.125		25.66	19.91	128.86	100.0	

S (mm): 5		d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 1			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	260
2	- 25	+ 8	3.98	5.50	3.98	5.5	
3	- 8	+ 2	13.60	18.80	17.58	24.3	
4	- 2	+ 0.5	21.17	29.26	38.75	53.6	
5	-0.5	+ 0.125	16.62	22.97	55.37	76.5	
6	- 0.125		16.98	23.47	72.35	100.0	

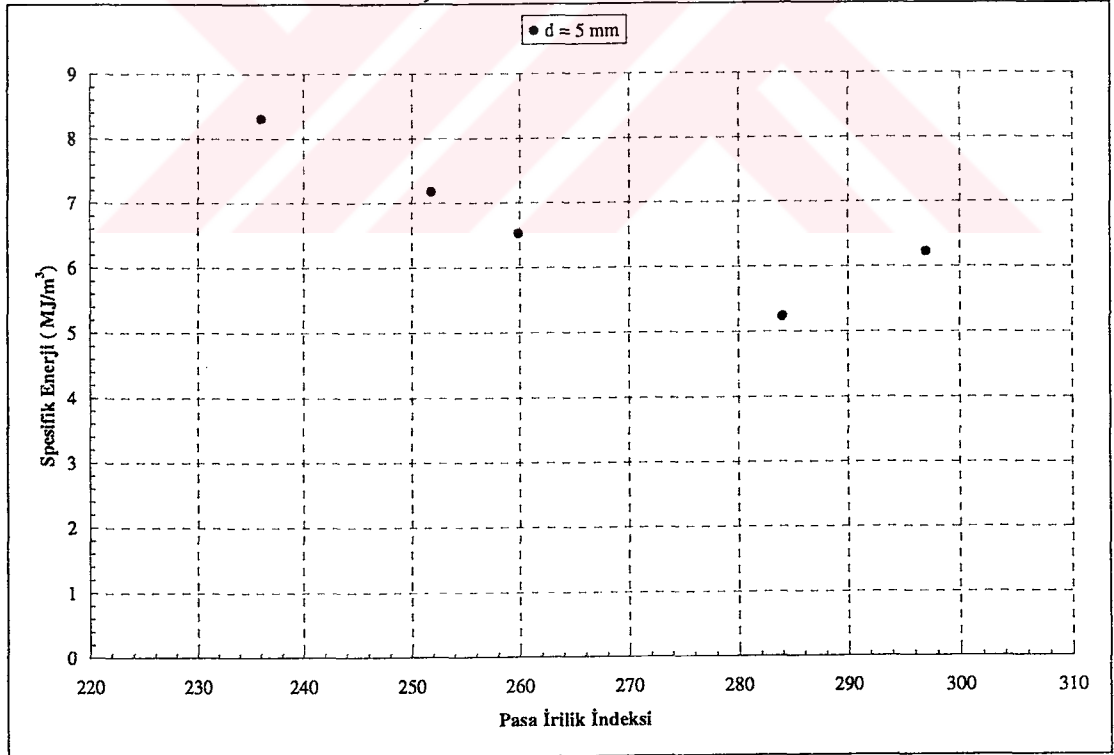
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 1		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	297
2	- 25	+ 8	12.48	9.64	12.48	9.6	
3	- 8	+ 2	36.09	27.88	48.57	37.5	
4	- 2	+ 0.5	34.59	26.72	83.16	64.2	
5	-0.5	+ 0.125	27.71	21.41	110.87	85.7	
6	- 0.125		18.57	14.35	129.44	100.0	

S (mm): 15		d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 1			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	284
2	- 25	+ 8	9.11	10.16	9.11	10.2	
3	- 8	+ 2	22.14	24.68	31.25	34.8	
4	- 2	+ 0.5	26.43	29.46	57.68	64.3	
5	-0.5	+ 0.125	9.35	10.42	67.03	74.7	
6	- 0.125		22.67	25.27	89.70	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 1		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	236
2	- 25	+ 8	0.68	0.93	0.68	0.9	
3	- 8	+ 2	11.29	15.36	11.97	16.3	
4	- 2	+ 0.5	22.03	29.97	34.00	46.3	
5	-0.5	+ 0.125	19.36	26.34	53.36	72.6	
6	- 0.125		20.15	27.41	73.51	100.0	



Şekil C.25 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti tüvenan roş1 de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.26 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti tüvenan roş1 de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.20 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti Tüvenan Roş2 d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

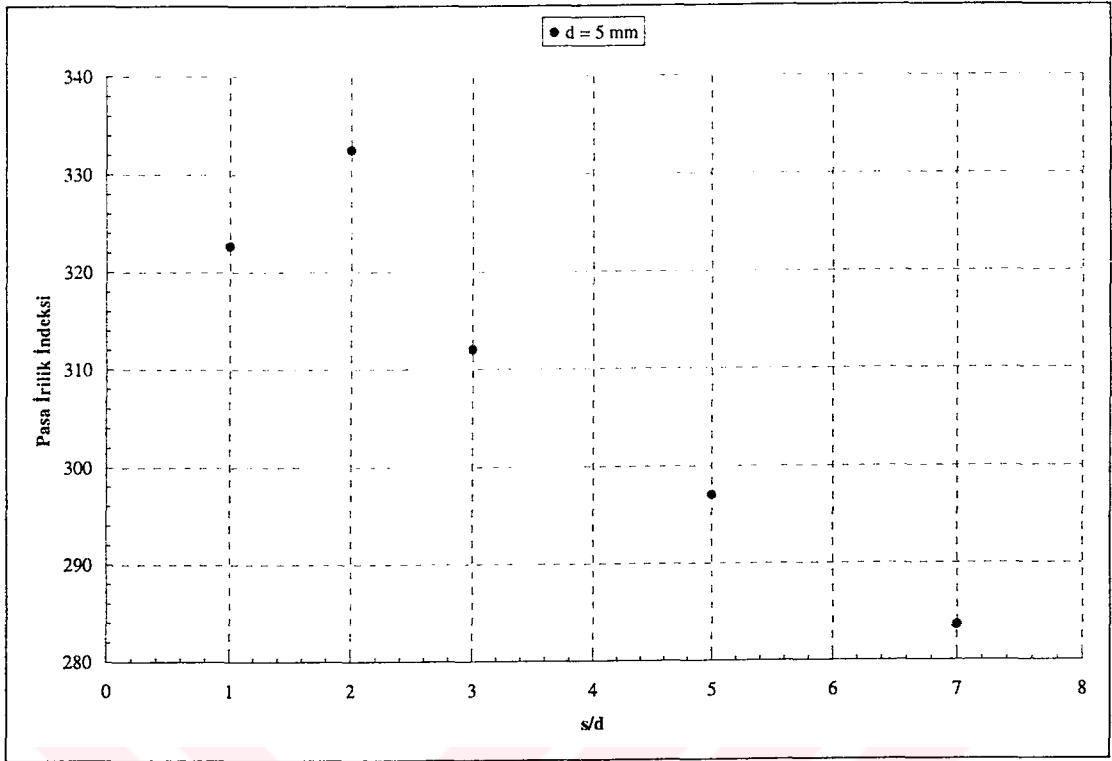
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 2		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	284
2	- 25	+ 8	9.09	7.03	9.09	7.0	
3	- 8	+ 2	34.88	26.98	43.97	34.0	
4	- 2	+ 0.5	32.29	24.98	76.26	59.0	
5	-0.5	+ 0.125	31.78	24.58	108.04	83.6	
6	- 0.125		21.24	16.43	129.28	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 2		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	323
2	- 25	+ 8	20.47	19.63	20.47	19.6	
3	- 8	+ 2	31.18	29.90	51.65	49.5	
4	- 2	+ 0.5	18.69	17.92	70.34	67.5	
5	-0.5	+ 0.125	19.41	18.61	89.75	86.1	
6	- 0.125		14.53	13.93	104.28	100.0	

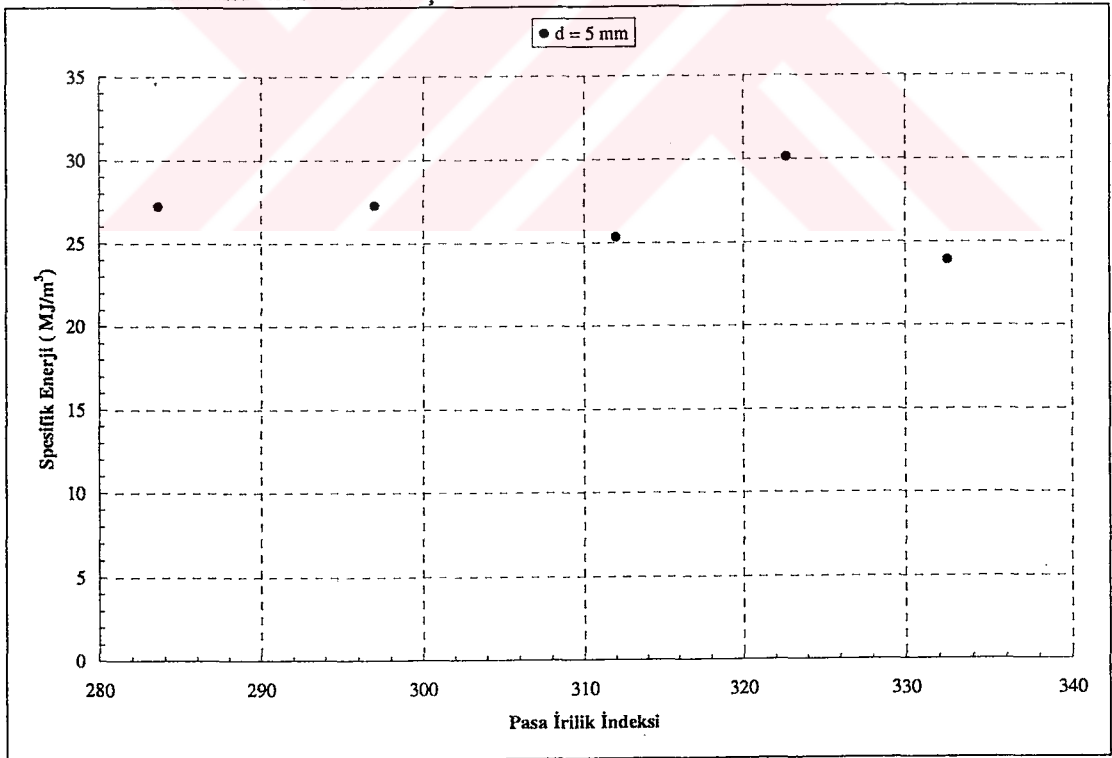
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 2		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	333
2	- 25	+ 8	37.12	25.81	37.12	25.8	
3	- 8	+ 2	35.78	24.88	72.90	50.7	
4	- 2	+ 0.5	27.17	18.89	100.07	69.6	
5	-0.5	+ 0.125	24.27	16.87	124.34	86.4	
6	- 0.125		19.49	13.55	143.83	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 2		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	312
2	- 25	+ 8	17.07	18.01	17.07	18.0	
3	- 8	+ 2	27.49	29.00	44.56	47.0	
4	- 2	+ 0.5	17.26	18.21	61.82	65.2	
5	-0.5	+ 0.125	15.68	16.54	77.50	81.8	
6	- 0.125		17.29	18.24	94.79	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Tüvenan Roş 2		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	297
2	- 25	+ 8	20.02	15.40	20.02	15.4	
3	- 8	+ 2	33.77	25.98	53.79	41.4	
4	- 2	+ 0.5	26.82	20.64	80.61	62.0	
5	-0.5	+ 0.125	20.99	16.15	101.60	78.2	
6	- 0.125		28.36	21.82	129.96	100.0	



Şekil C.27 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti tüvenan roşl de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.28 Pınarbaşı-Pulpınar kromiti tüvenan roşl de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.21 Pınarbaşı-Pulpınar Kavak kromit cevheri d = 5 mm.'de yapılan, elek analizi verileri

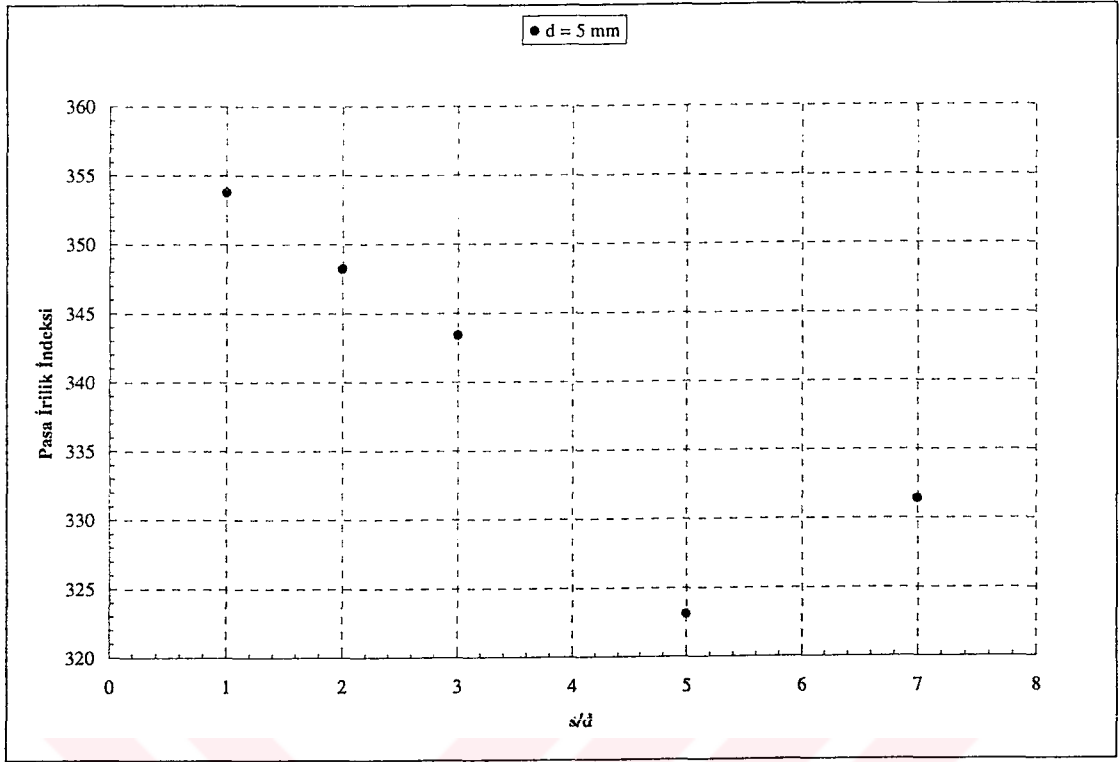
S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Kavak cevheri		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	331
2	- 25	+ 8	27.46	23.66	27.46	23.7	
3	- 8	+ 2	37.20	32.05	64.66	55.7	
4	- 2	+ 0.5	17.91	15.43	82.57	71.1	
5	-0.5	+ 0.125	11.33	9.76	93.90	80.9	
6	- 0.125		22.16	19.09	116.06	100.0	

S (mm): 5		d (mm): 5		Kayaç: Kavak cevheri			
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İriliik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	354
2	- 25	+ 8	31.44	31.01	31.44	31.0	
3	- 8	+ 2	32.81	32.36	64.25	63.4	
4	- 2	+ 0.5	13.39	13.21	77.64	76.6	
5	-0.5	+ 0.125	6.31	6.22	83.95	82.8	
6	- 0.125		17.43	17.19	101.38	100.0	

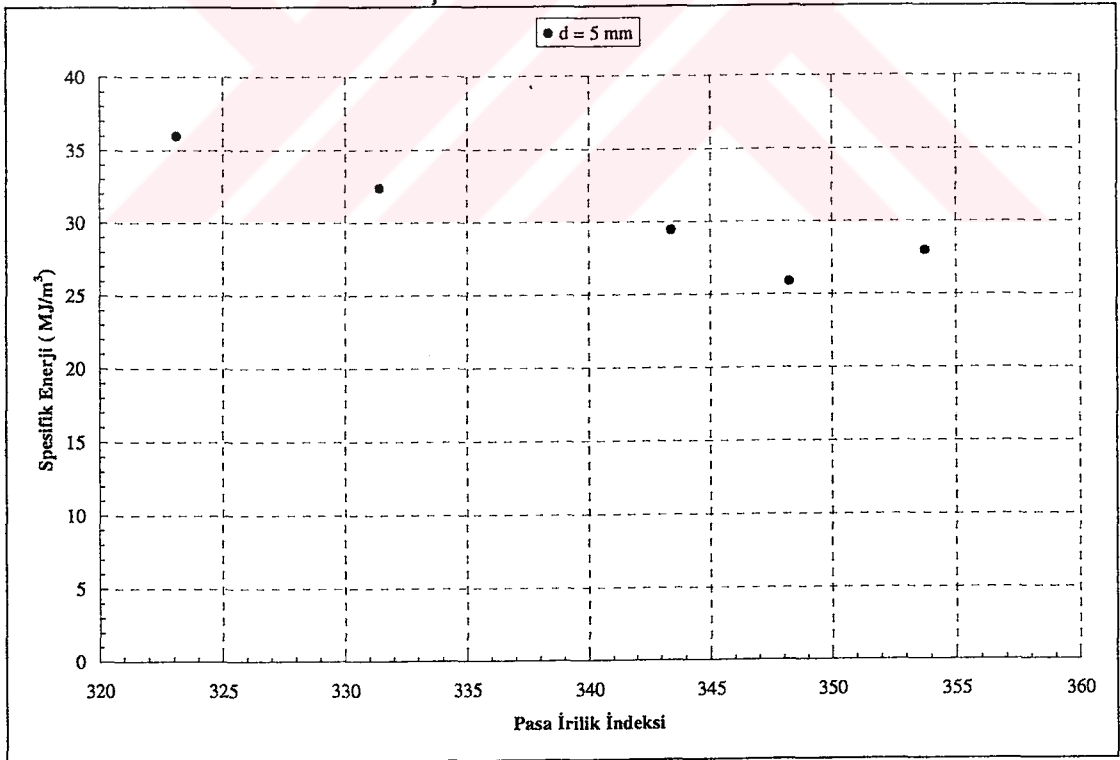
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Kavak cevheri		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	348
2	- 25	+ 8	29.33	27.44	29.33	27.4	
3	- 8	+ 2	36.40	34.06	65.73	61.5	
4	- 2	+ 0.5	14.62	13.68	80.35	75.2	
5	-0.5	+ 0.125	9.52	8.91	89.87	84.1	
6	- 0.125		17.00	15.91	106.87	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Kavak cevheri		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	343
2	- 25	+ 8	25.25	26.76	25.25	26.8	
3	- 8	+ 2	30.26	32.08	55.51	58.8	
4	- 2	+ 0.5	13.13	13.92	68.64	72.8	
5	-0.5	+ 0.125	11.60	12.30	80.24	85.1	
6	- 0.125		14.10	14.95	94.34	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Kavak cevheri		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	323
2	- 25	+ 8	9.34	16.16	9.34	16.2	
3	- 8	+ 2	20.89	36.14	30.23	52.3	
4	- 2	+ 0.5	9.84	17.02	40.07	69.3	
5	-0.5	+ 0.125	9.25	16.00	49.32	85.3	
6	- 0.125		8.48	14.67	57.80	100.0	



Şekil C.29 Pınarbaşı-Pulpınar Kavak kromit cevherinde yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.30 Pınarbaşı-Pulpınar Kavak kromit cevherinde yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.22 Pınarbaşı-Pulpınar Serpantin yankayacı, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

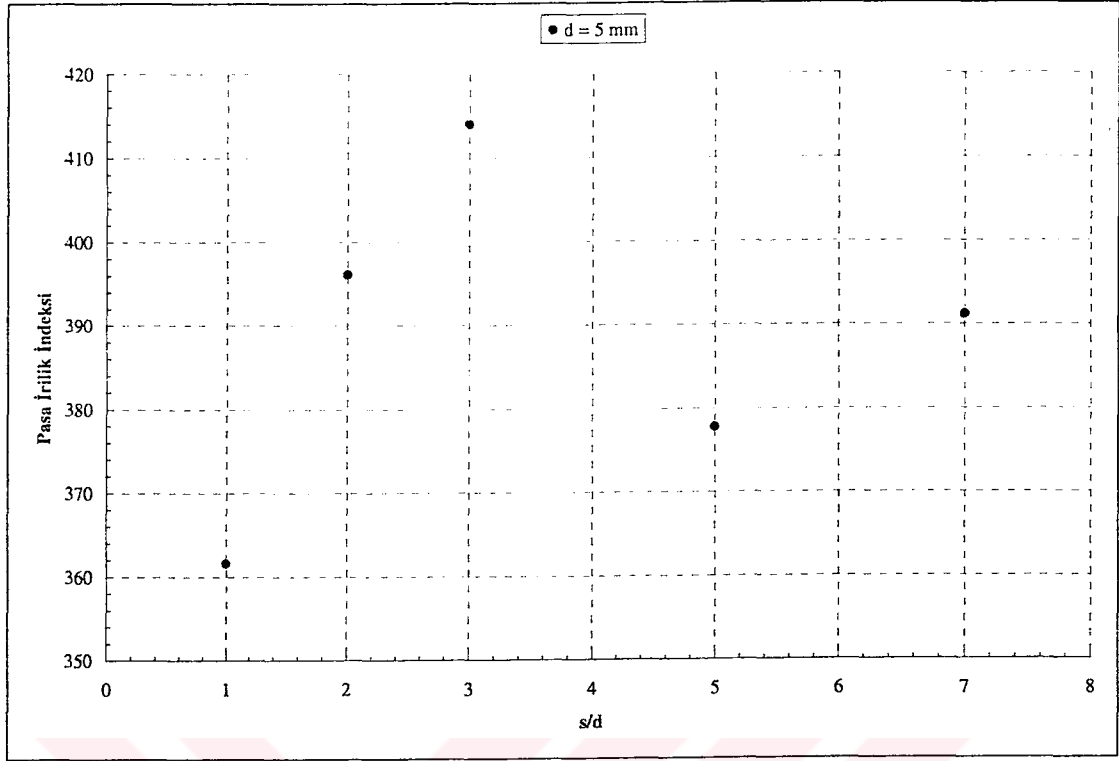
S (mm): Yardımsız		d (mm): 5		Kayaç: Serpantin			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	391
2	- 25	+ 8	33.56	35.28	33.56	35.3	
3	- 8	+ 2	37.66	39.59	71.22	74.9	
4	- 2	+ 0.5	13.13	13.80	84.35	88.7	
5	-0.5	+ 0.125	3.50	3.68	87.85	92.4	
6	- 0.125		7.27	7.64	95.12	100.0	

S (mm): 5		d (mm): 5		Kayaç: Serpantin			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	362
2	- 25	+ 8	12.34	20.83	12.34	20.8	
3	- 8	+ 2	27.70	46.77	40.04	67.6	
4	- 2	+ 0.5	10.40	17.56	50.44	85.2	
5	-0.5	+ 0.125	1.69	2.85	52.13	88.0	
6	- 0.125		7.10	11.99	59.23	100.0	

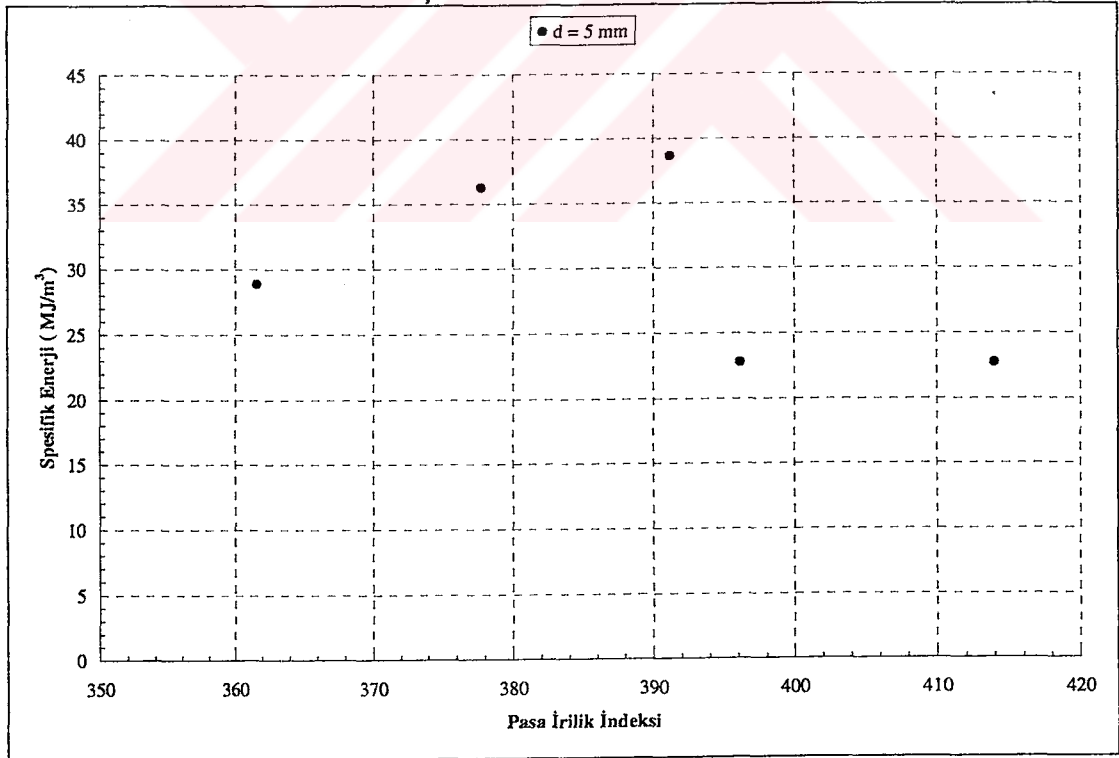
S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Serpantin		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	396
2	- 25	+ 8	41.68	41.41	41.68	41.4	
3	- 8	+ 2	33.34	33.12	75.02	74.5	
4	- 2	+ 0.5	14.20	14.11	89.22	88.6	
5	-0.5	+ 0.125	2.93	2.91	92.15	91.6	
6	- 0.125		8.50	8.45	100.65	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Serpantin		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		4.68	6.19	4.68	6.2	414
2	- 25	+ 8	31.05	41.07	35.73	47.3	
3	- 8	+ 2	23.88	31.58	59.61	78.8	
4	- 2	+ 0.5	8.77	11.60	68.38	90.4	
5	-0.5	+ 0.125	0.94	1.24	69.32	91.7	
6	- 0.125		6.29	8.32	75.61	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Serpantin		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	378
2	- 25	+ 8	15.13	28.83	15.13	28.8	
3	- 8	+ 2	21.43	40.83	36.56	69.7	
4	- 2	+ 0.5	8.38	15.97	44.94	85.6	
5	-0.5	+ 0.125	4.19	7.98	49.13	93.6	
6	- 0.125		3.35	6.38	52.48	100.0	



Şekil C.31 Pınarbaşı-Pulpınar Serpantin yankayacında yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.32 Pınarbaşı-Pulpınar Serpantin yankayacında yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.23 Pınarbaşı-Pulpınar Harsburgit yankayacı, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

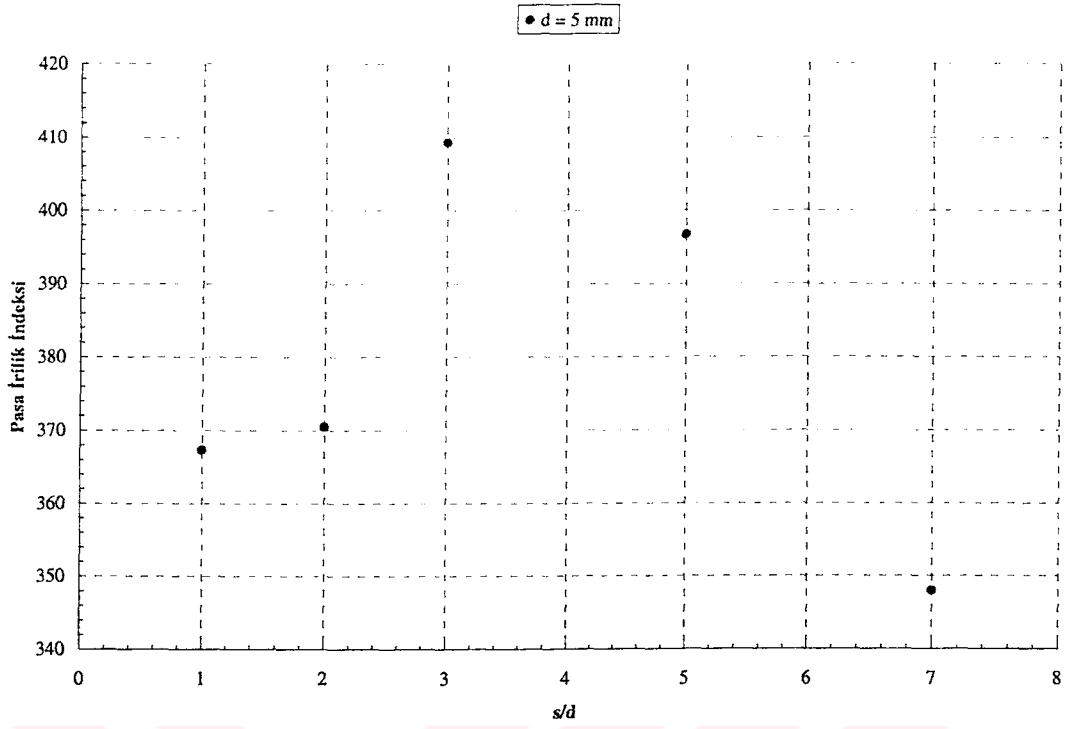
S (mm): Yardımsız		d (mm): 5		Kayaç: Harsburgit			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	348
2	- 25	+ 8	8.95	16.60	8.95	16.6	
3	- 8	+ 2	24.64	45.69	33.59	62.3	
4	- 2	+ 0.5	10.67	19.78	44.26	82.1	
5	-0.5	+ 0.125	2.66	4.93	46.92	87.0	
6	- 0.125		7.01	13.00	53.93	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Harsburgit		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	367
2	- 25	+ 8	13.27	24.71	13.27	24.7	
3	- 8	+ 2	22.79	42.43	36.06	67.1	
4	- 2	+ 0.5	9.02	16.79	45.08	83.9	
5	-0.5	+ 0.125	4.09	7.61	49.17	91.5	
6	- 0.125		4.54	8.45	53.71	100.0	

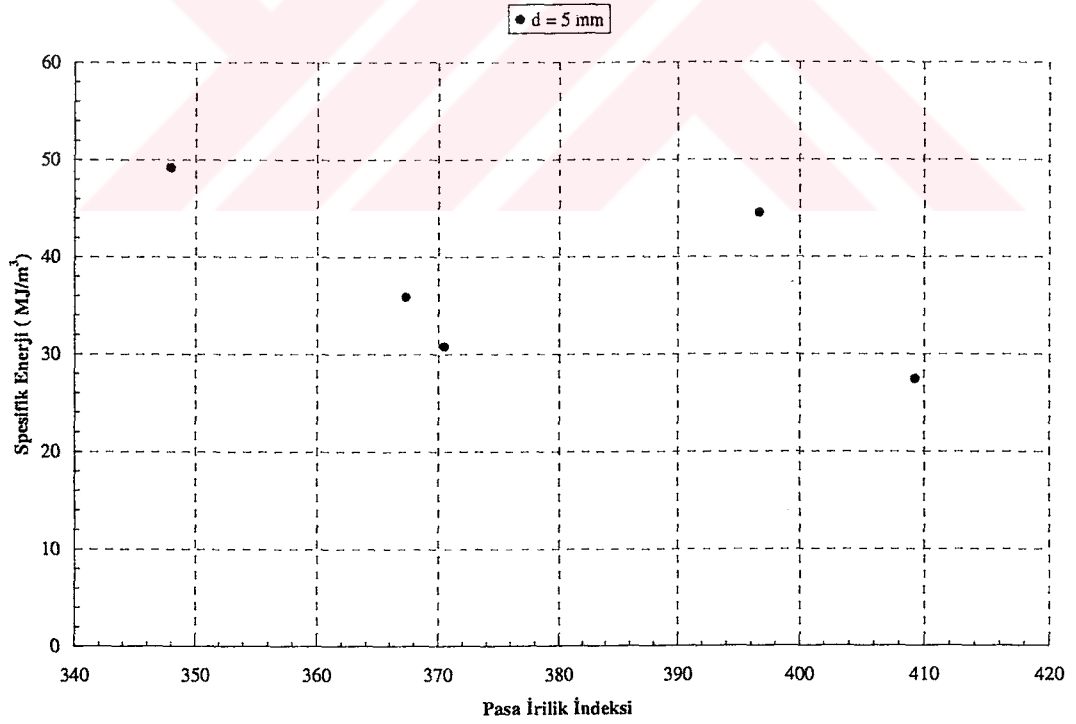
S (mm): 10		d (mm): 5		Kayaç: Harsburgit			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	370
2	- 25	+ 8	10.73	24.94	10.73	24.9	
3	- 8	+ 2	18.53	43.07	29.26	68.0	
4	- 2	+ 0.5	7.07	16.43	36.33	84.4	
5	-0.5	+ 0.125	3.71	8.62	40.04	93.1	
6	- 0.125		2.98	6.93	43.02	100.0	

S (mm): 15		d (mm): 5		Kayaç: Harsburgit			
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	409
2	- 25	+ 8	10.33	43.53	10.33	43.5	
3	- 8	+ 2	8.33	35.10	18.66	78.6	
4	- 2	+ 0.5	2.94	12.39	21.60	91.0	
5	-0.5	+ 0.125	1.21	5.10	22.81	96.1	
6	- 0.125		0.92	3.88	23.73	100.0	

S (mm): 25		d (mm): 5		Kayaç: Harsburgit			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	397
2	- 25	+ 8	6.90	32.52	6.90	32.5	
3	- 8	+ 2	9.62	45.33	16.52	77.9	
4	- 2	+ 0.5	2.65	12.49	19.17	90.3	
5	-0.5	+ 0.125	1.20	5.66	20.37	96.0	
6	- 0.125		0.85	4.01	21.22	100.0	



Şekil C.33 Pınarbaşı-Pulpınar Harsburgit yankayacında yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki



Şekil C.34 Pınarbaşı-Pulpınar Harsburgit yankayacında yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

Tablo C.24 Beypazarı TronaU4, d=5 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

S (mm): Yardımsız			d (mm): 5		Kayaç: Trona U4		
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	353
2	- 25	+ 8	32.48	27.91	32.48	27.9	
3	- 8	+ 2	37.17	31.94	69.65	59.9	
4	- 2	+ 0.5	15.34	13.18	84.99	73.0	
5	-0.5	+ 0.125	22.04	18.94	107.03	92.0	
6	- 0.125		9.33	8.02	116.36	100.0	

S (mm): 5			d (mm): 5		Kayaç: Trona U4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	345
2	- 25	+ 8	13.97	23.18	13.97	23.2	
3	- 8	+ 2	20.21	33.54	34.18	56.7	
4	- 2	+ 0.5	9.51	15.78	43.69	72.5	
5	-0.5	+ 0.125	11.90	19.75	55.59	92.3	
6	- 0.125		4.67	7.75	60.26	100.0	

S (mm): 10			d (mm): 5		Kayaç: Trona U4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	372
2	- 25	+ 8	32.34	37.27	32.34	37.3	
3	- 8	+ 2	24.75	28.52	57.09	65.8	
4	- 2	+ 0.5	9.73	11.21	66.82	77.0	
5	-0.5	+ 0.125	13.01	14.99	79.83	92.0	
6	- 0.125		6.94	8.00	86.77	100.0	

S (mm): 15			d (mm): 5		Kayaç: Trona U4		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	347
2	- 25	+ 8	21.16	26.53	21.16	26.5	
3	- 8	+ 2	24.13	30.25	45.29	56.8	
4	- 2	+ 0.5	11.76	14.74	57.05	71.5	
5	-0.5	+ 0.125	16.54	20.74	73.59	92.3	
6	- 0.125		6.17	7.74	79.76	100.0	

S (mm): 25			d (mm): 5		Kayaç: Trona U4		
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		Pasa İrilik İndeksi
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		0.00	0.00	0.00	0.0	357
2	- 25	+ 8	28.27	31.13	28.27	31.1	
3	- 8	+ 2	26.25	28.90	54.52	60.0	
4	- 2	+ 0.5	12.15	13.38	66.67	73.4	
5	-0.5	+ 0.125	17.60	19.38	84.27	92.8	
6	- 0.125		6.55	7.21	90.82	100.0	

Tablo C.25 Beypazarı TronaU4, d=9 mm.'de yapılan, kaya kesme deneylerinin toplu verileri

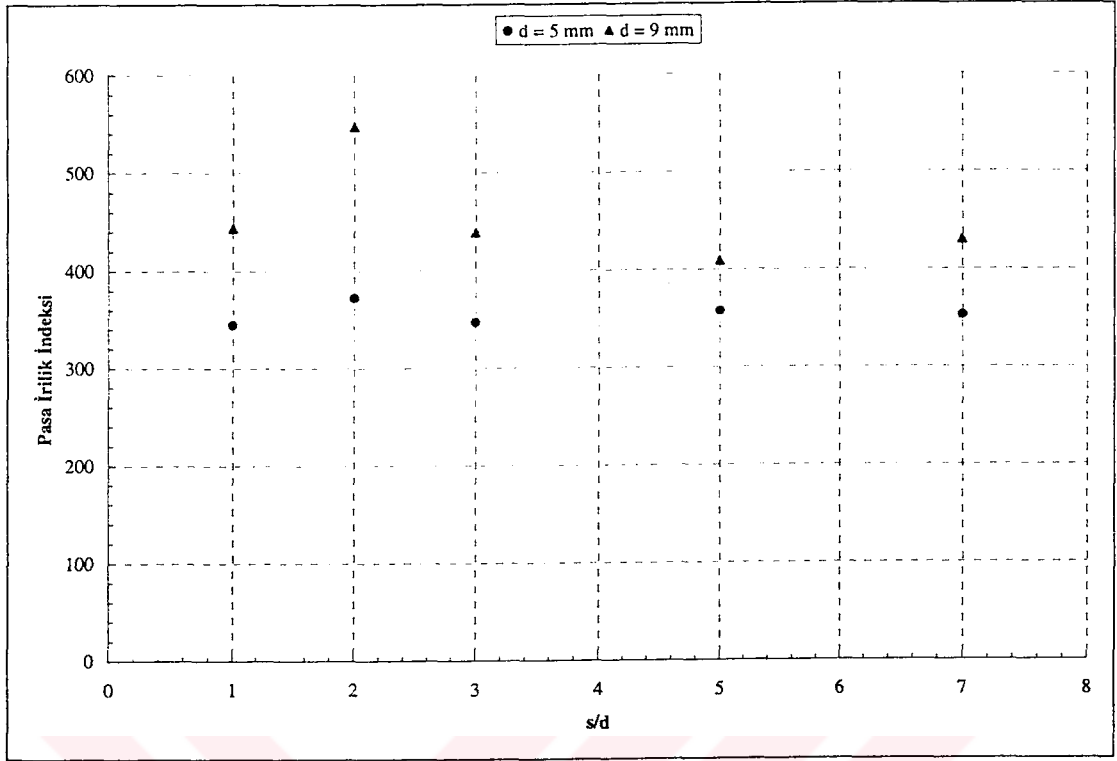
S (mm): Yardımsız			d (mm): 9		Kayaç: Trona U4		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		50.90	15.13	50.90	15.1	430
2	- 25	+ 8	148.43	44.11	199.33	59.2	
3	- 8	+ 2	63.26	18.80	262.59	78.0	
4	- 2	+ 0.5	22.91	6.81	285.50	84.8	
5	-0.5	+ 0.125	25.33	7.53	310.83	92.4	
6	- 0.125		25.68	7.63	336.51	100.0	

S (mm): 9			d (mm): 9		Kayaç: Trona U4		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		25.42	18.87	25.42	18.9	444
2	- 25	+ 8	61.72	45.82	87.14	64.7	
3	- 8	+ 2	20.17	14.97	107.31	79.7	
4	- 2	+ 0.5	9.73	7.22	117.04	86.9	
5	-0.5	+ 0.125	8.77	6.51	125.81	93.4	
6	- 0.125		8.89	6.60	134.70	100.0	

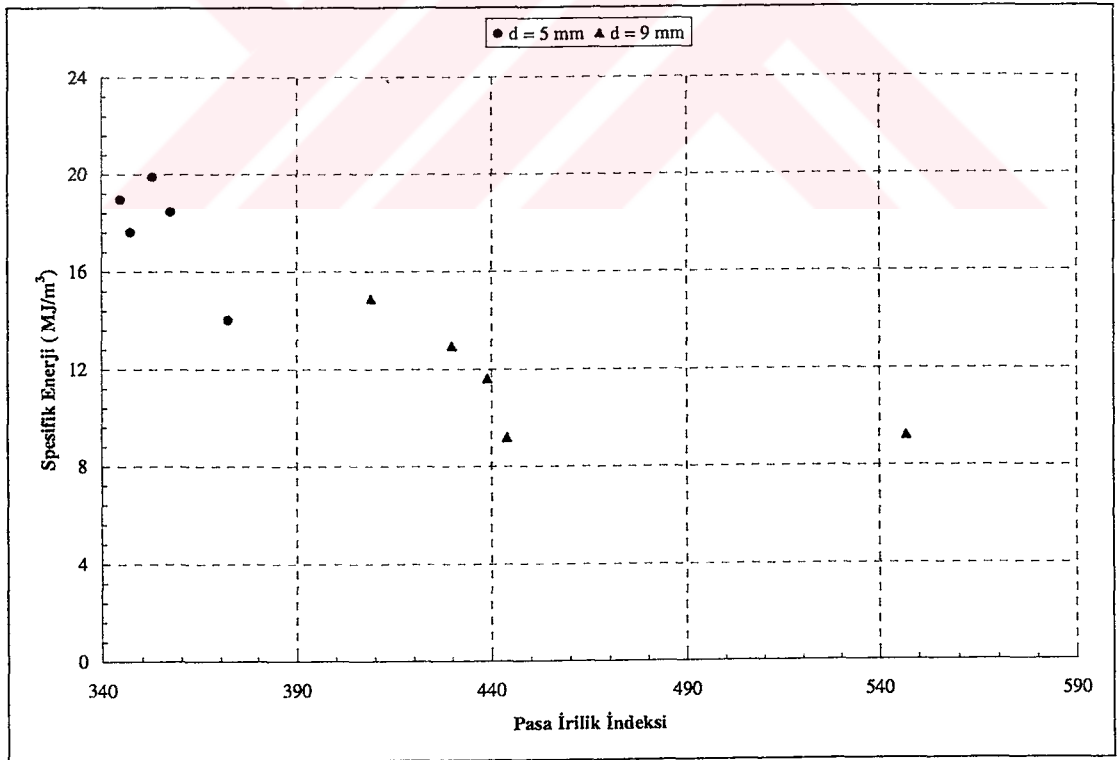
S (mm): 18		d (mm): 9		Kayaç: Trona U4			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		30.06	16.03	30.06	16.0	457
2	- 25	+ 8	99.76	53.19	129.82	69.2	
3	- 8	+ 2	29.89	15.94	159.71	85.2	
4	- 2	+ 0.5	10.45	5.57	170.16	90.7	
5	-0.5	+ 0.125	10.42	5.56	180.58	96.3	
6	- 0.125		6.97	3.72	187.55	100.0	

S (mm): 27			d (mm): 9		Kayaç: Trona U4		Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu (mm)		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
					Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		30.38	15.24	30.38	15.2	439
2	- 25	+ 8	89.41	44.86	119.79	60.1	
3	- 8	+ 2	40.54	20.34	160.33	80.4	
4	- 2	+ 0.5	12.80	6.42	173.13	86.9	
5	-0.5	+ 0.125	18.48	9.27	191.61	96.1	
6	- 0.125		7.70	3.86	199.31	100.0	

S (mm): 45		d (mm): 9		Kayaç: Trona U4			Pasa İrilik İndeksi
No	Elek Boyutu		Kaya Ağırlığı (gr)	Yüzde Kalan (%)	Kümülatif		
	(mm)				Ağırlık (gr)	Kalan (%)	
1	+ 25		14.14	14.80	14.14	14.8	409
2	- 25	+ 8	33.23	34.79	47.37	49.6	
3	- 8	+ 2	21.22	22.22	68.59	71.8	
4	- 2	+ 0.5	7.17	7.51	75.76	79.3	
5	-0.5	+ 0.125	13.39	14.02	89.15	93.3	
6	- 0.125		6.36	6.66	95.51	100.0	

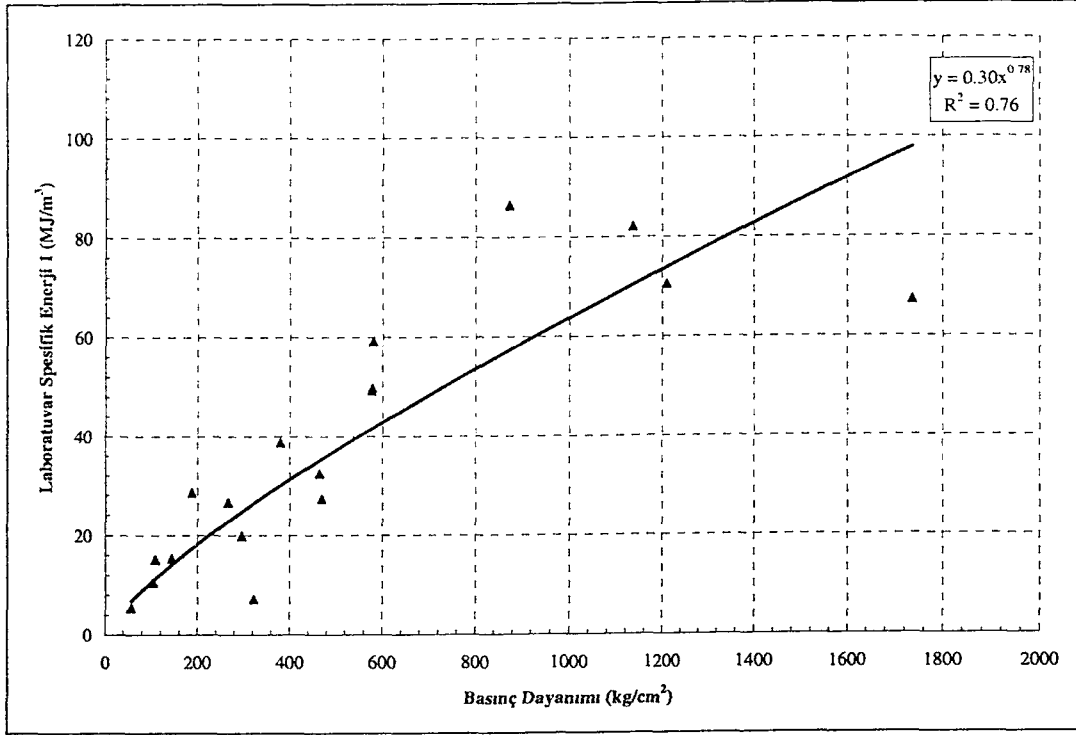


Şekil C.35 Beypazarı TronaU4de yapılan s/d ile pasa irilik indeksi arasındaki ilişki

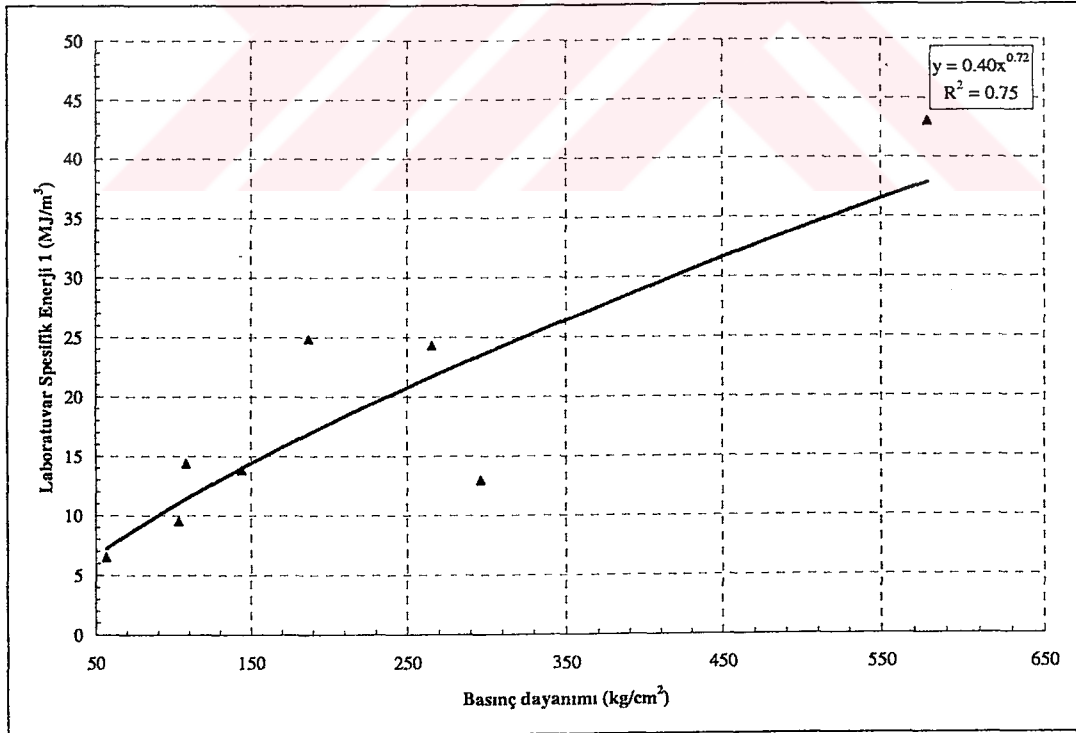


Şekil C.36 Beypazarı TronaU4de yapılan pasa irilik indeksi ile spesifik enerji arasındaki ilişki

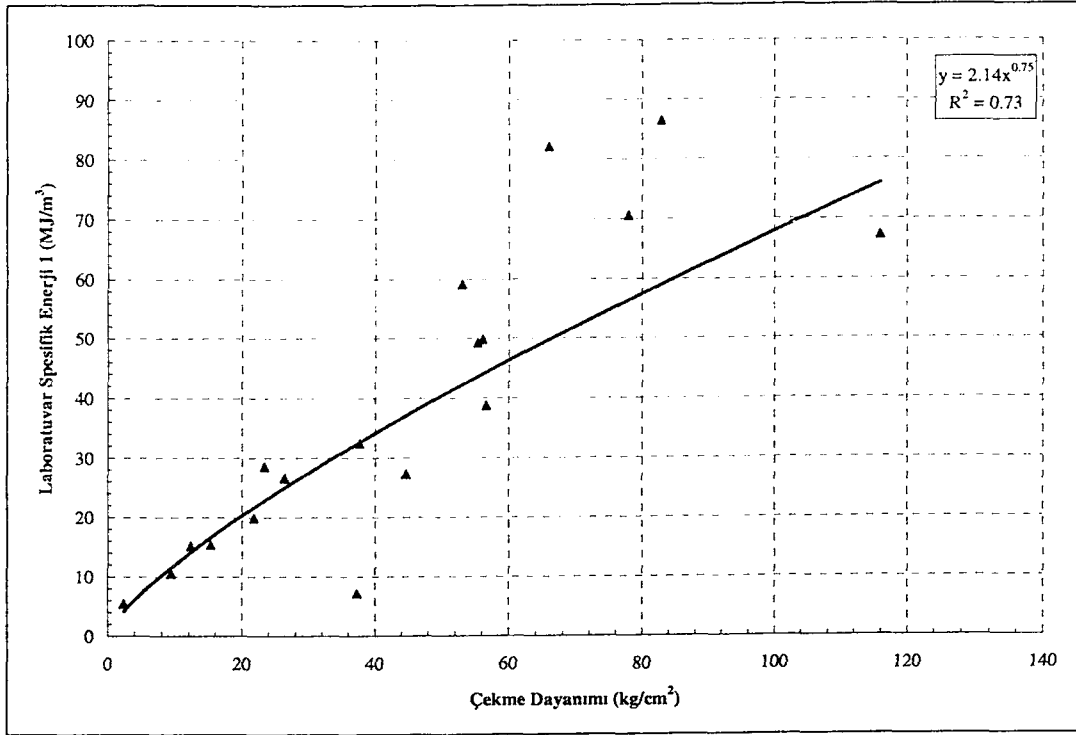
EK D: İstatistik Analizi Kullanılarak Elde Edilen Toplu İstatistik Sonuçlarının
Grafikleri



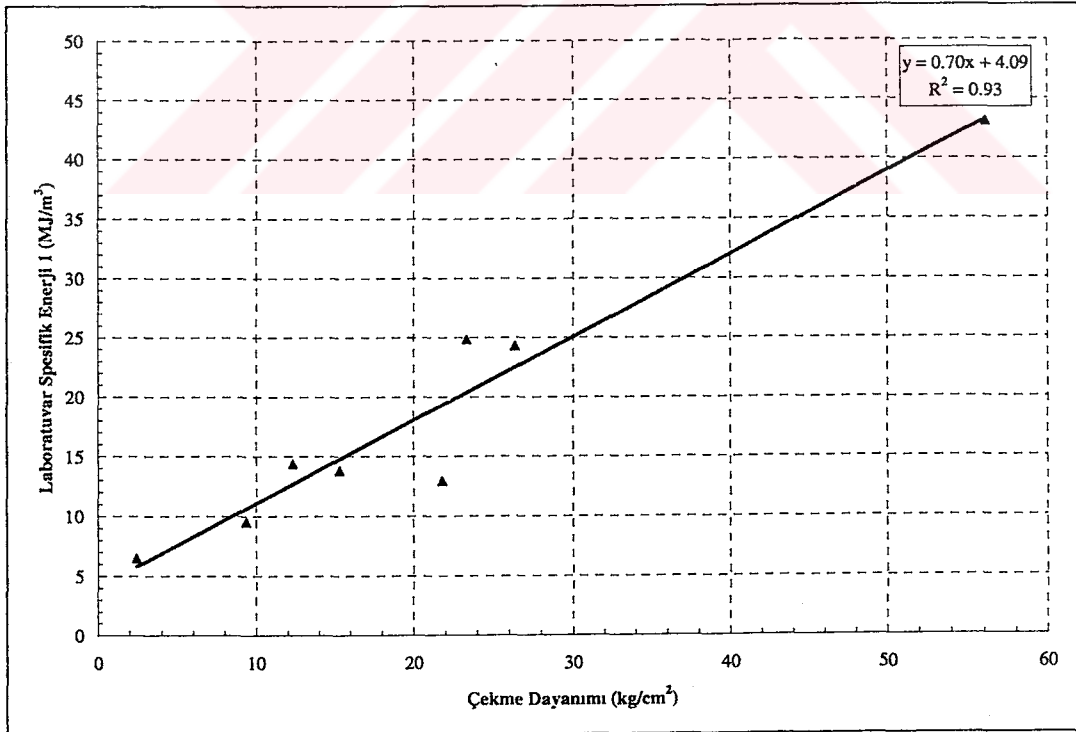
Şekil D.1 d = 5 mm’de yapılan, SEI laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



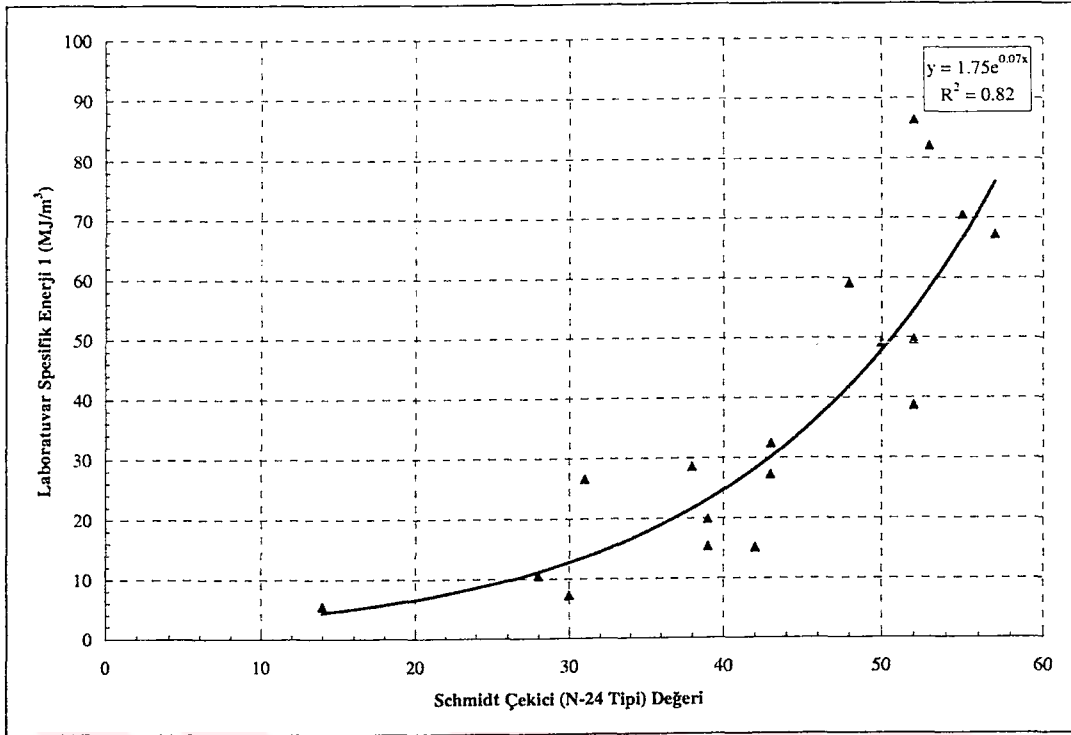
Şekil D.2 d = 9 mm’de yapılan, SEI laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



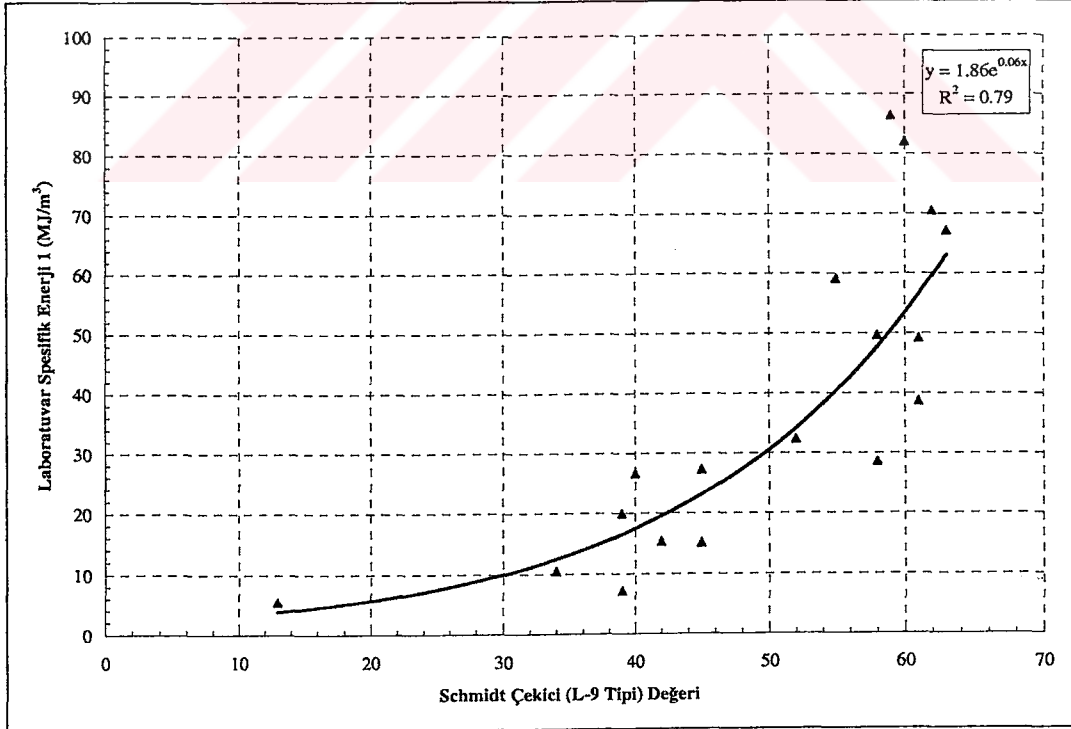
Şekil D.3 $d = 5$ mm'de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



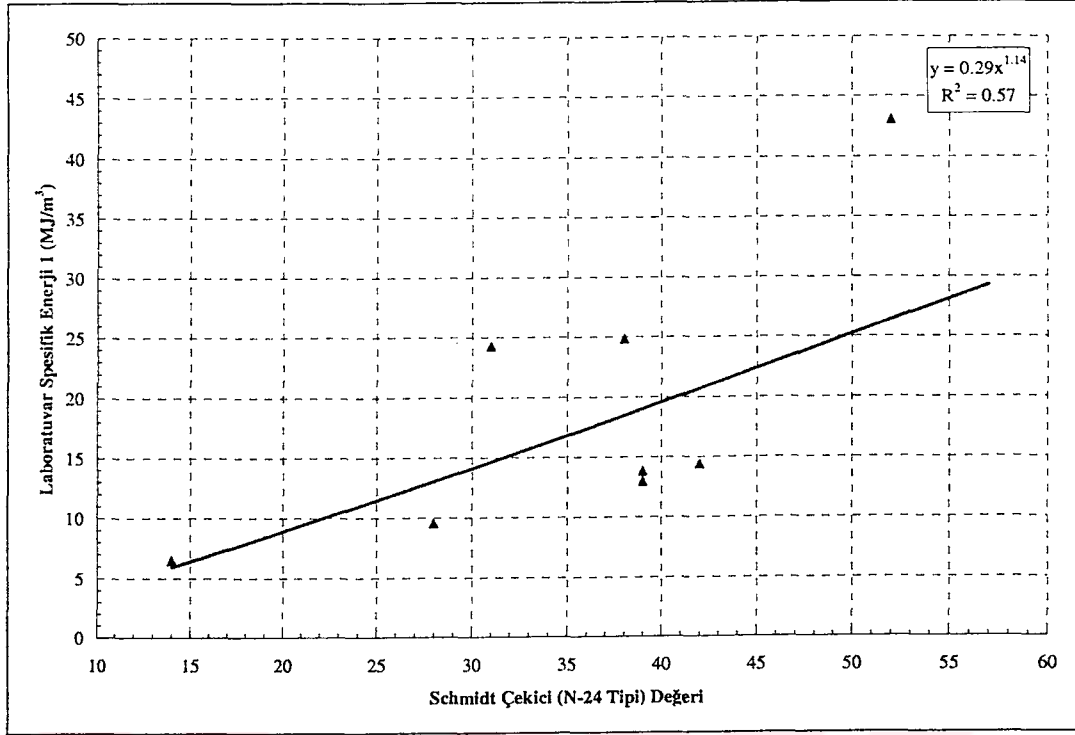
Şekil D.4 $d = 9$ mm'de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



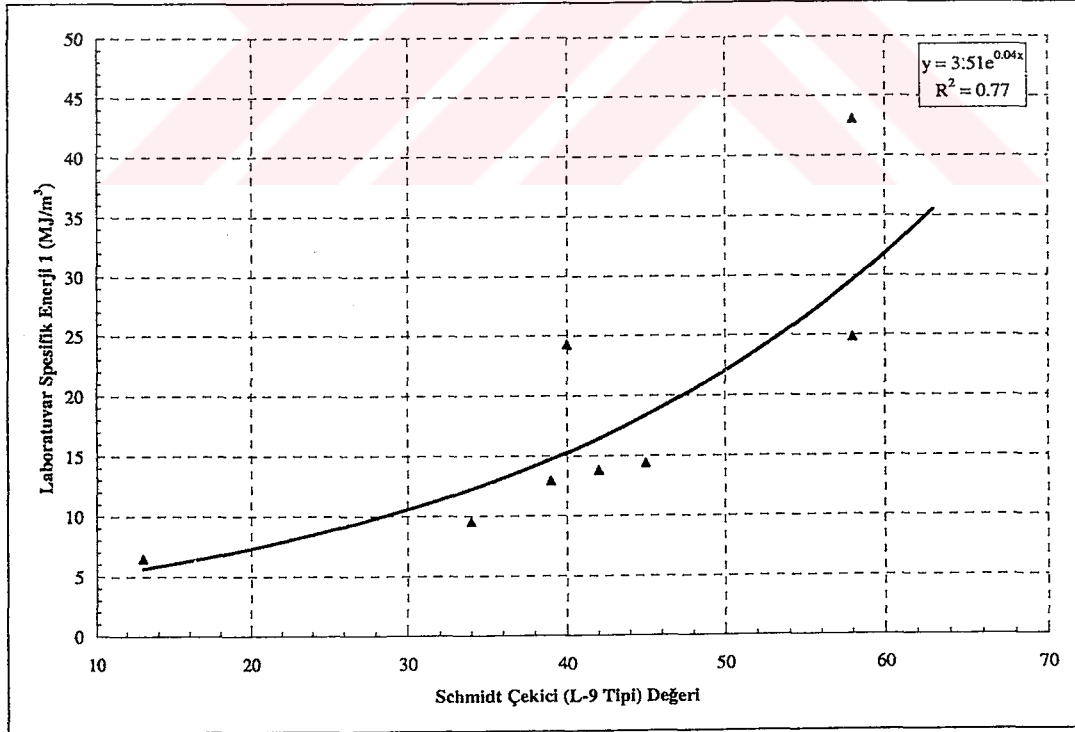
Şekil D.5 d = 5 mm’de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



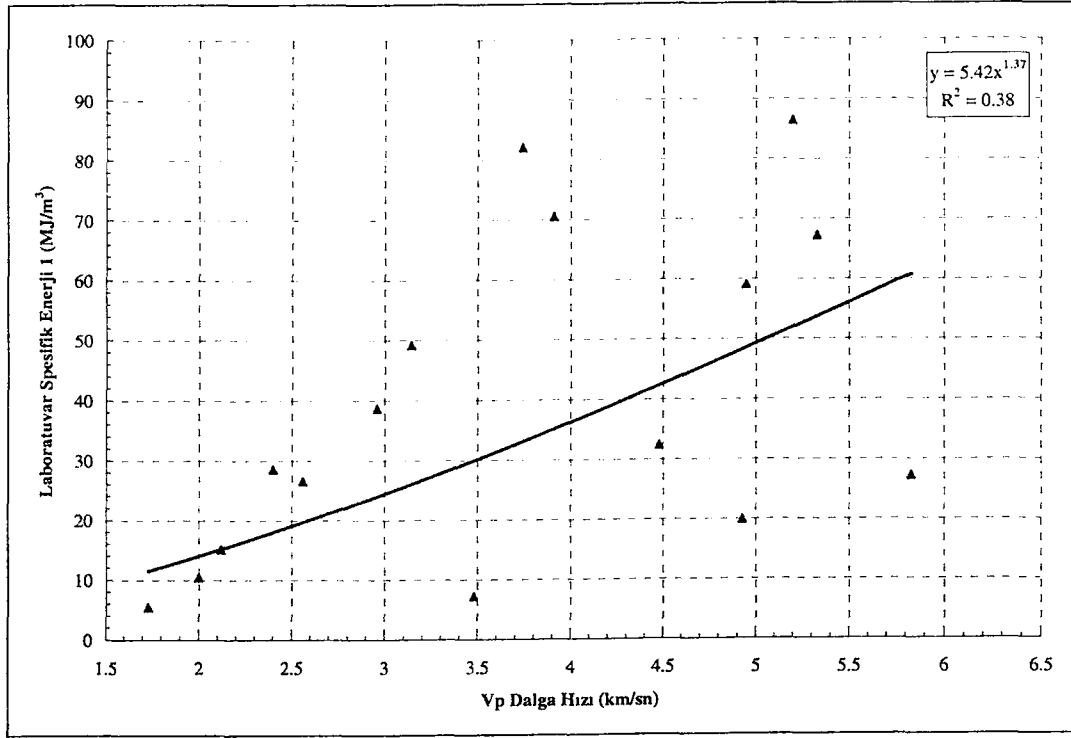
Şekil D.6 d = 5 mm’de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



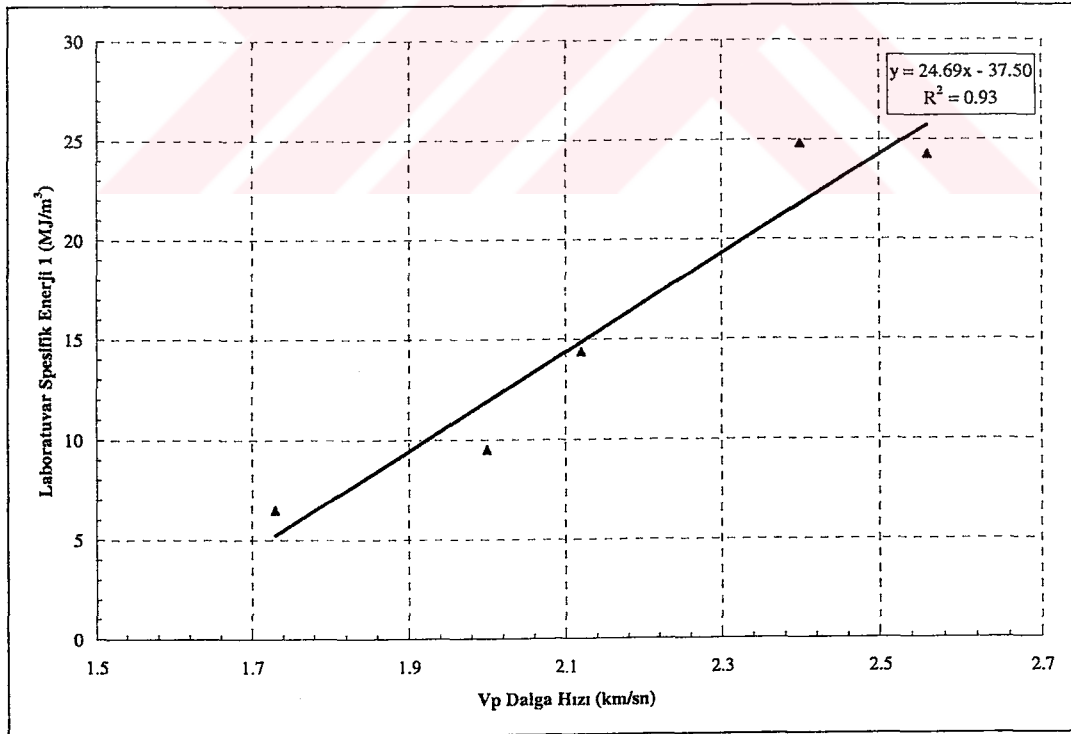
Şekil D.7 d = 9 mm’de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



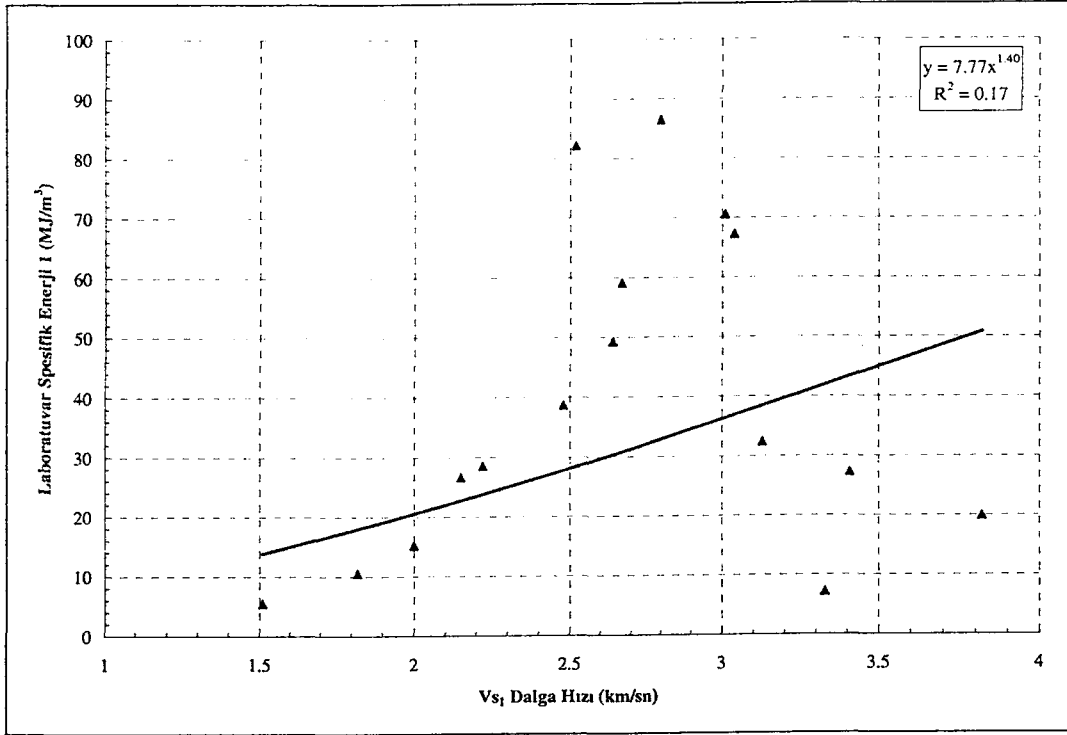
Şekil D.8 d = 9 mm’de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



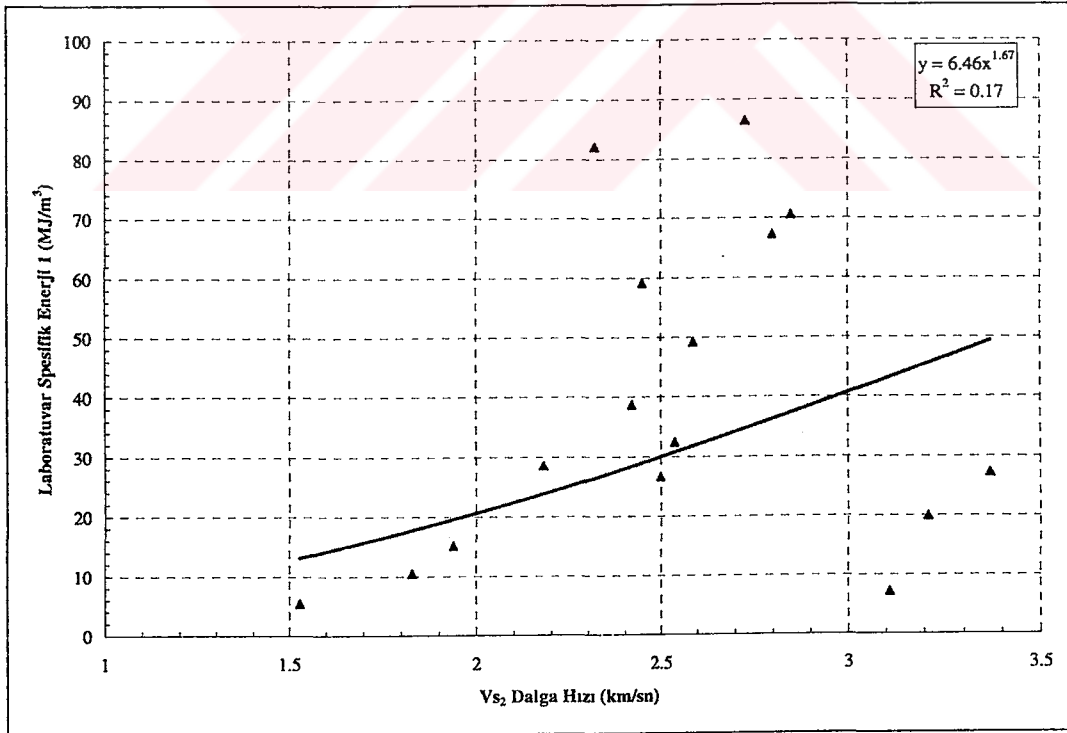
Şekil D.9 d = 5 mm’de yapılan, SEI laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



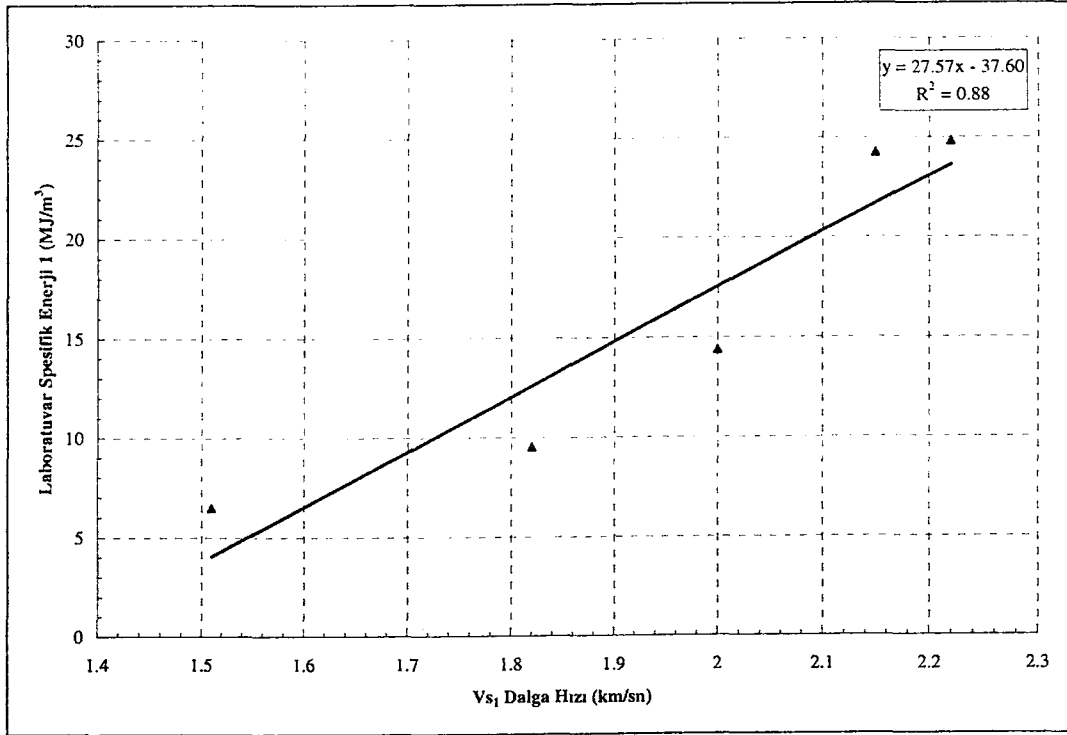
Şekil D.10 d = 9 mm’de yapılan, SEI laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



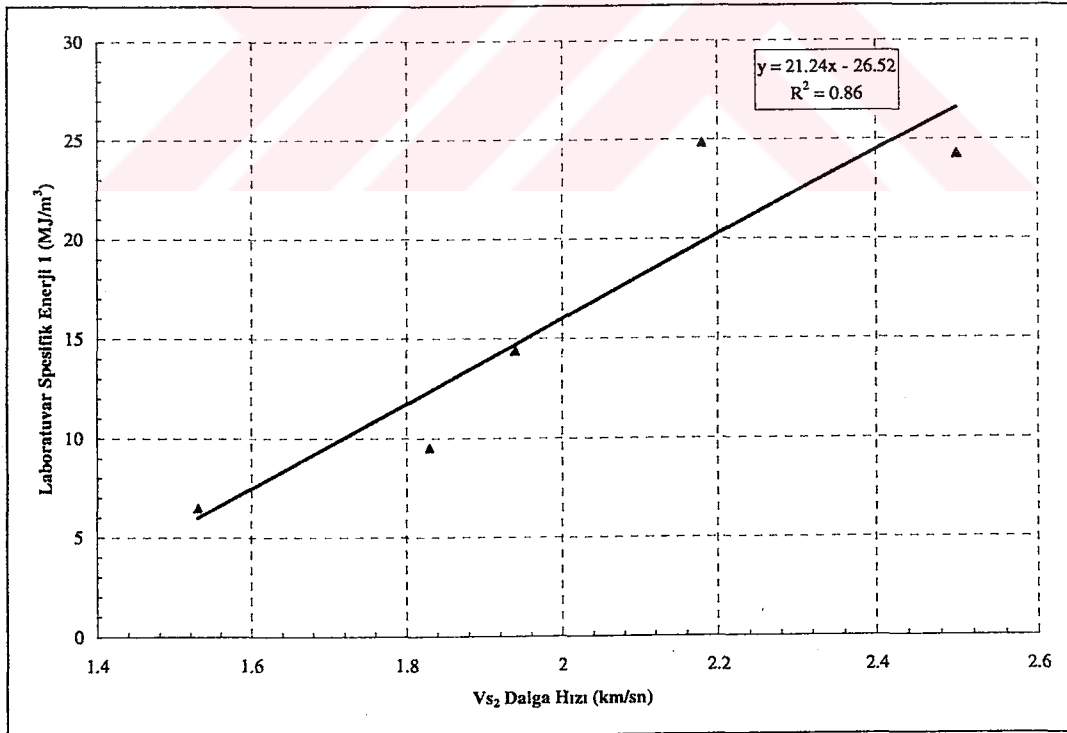
Şekil D.11 d = 5 mm’de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vs1 dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



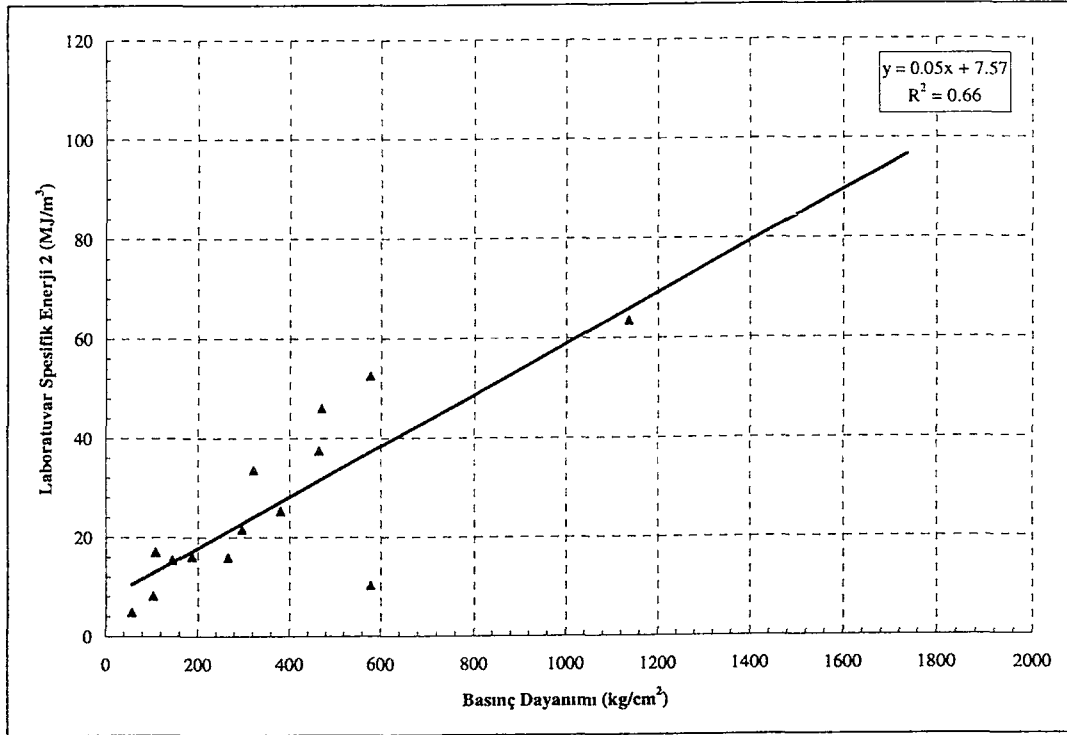
Şekil D.12 d = 5 mm’de yapılan, SE1 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vs2 dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



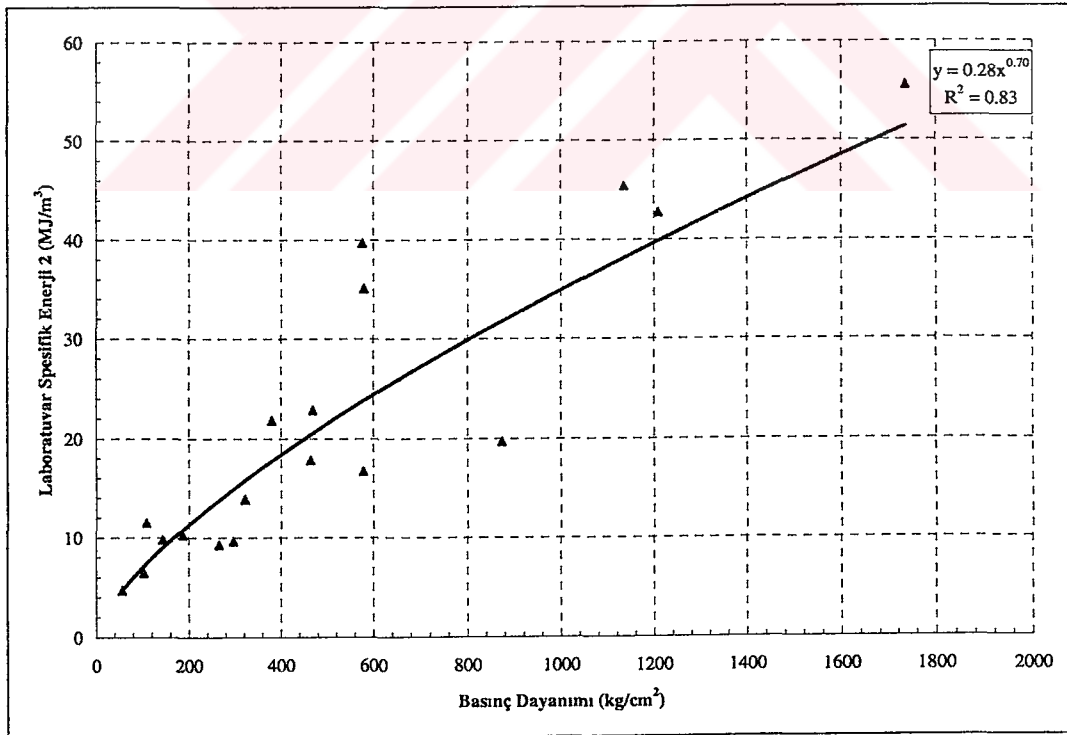
Şekil D.13 $d = 9$ mm’de yapılan, SEI laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s1} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



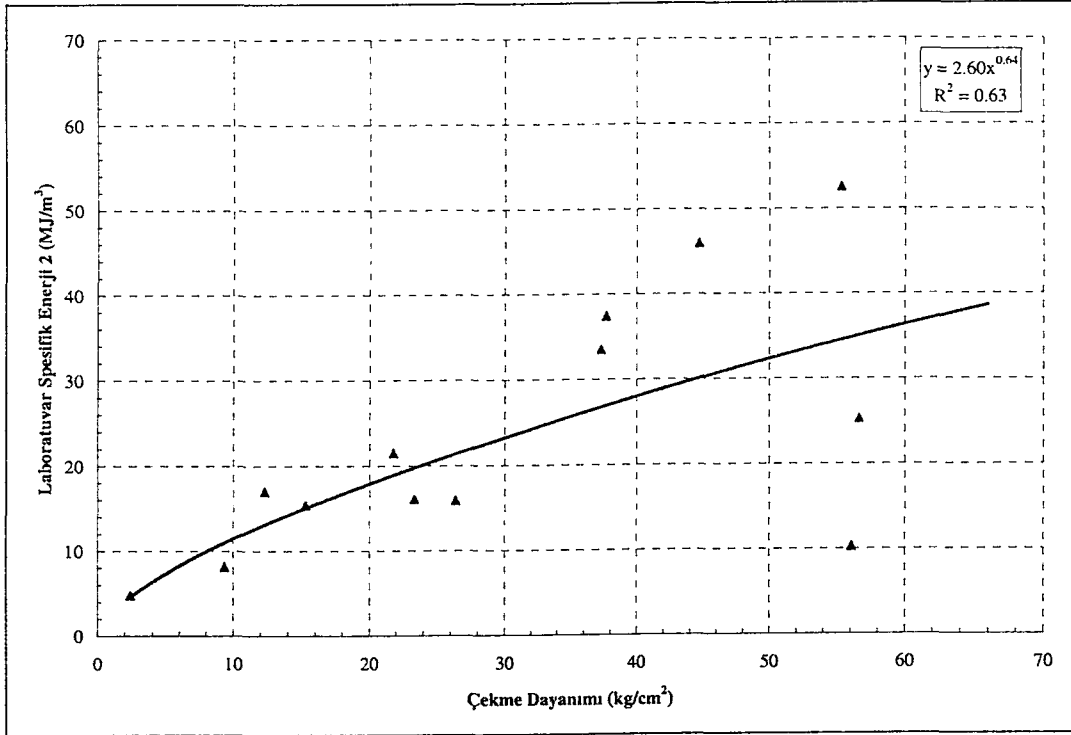
Şekil D.14 $d = 9$ mm’de yapılan, SEI laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s2} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



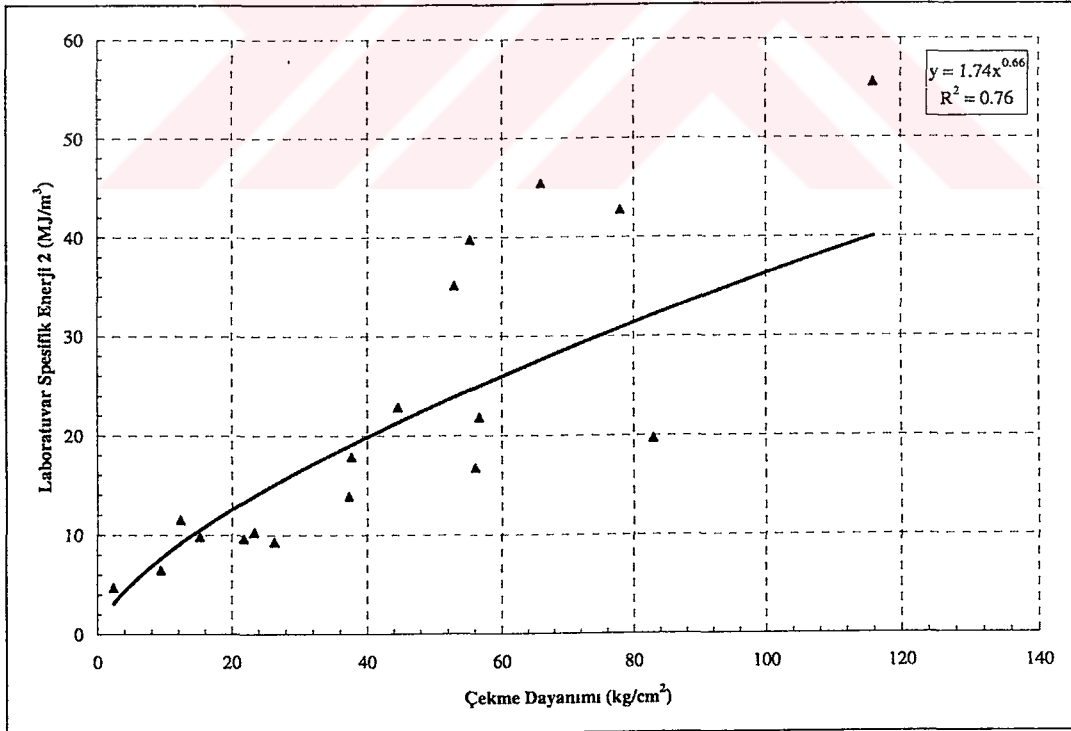
Şekil D.15 d = 5 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



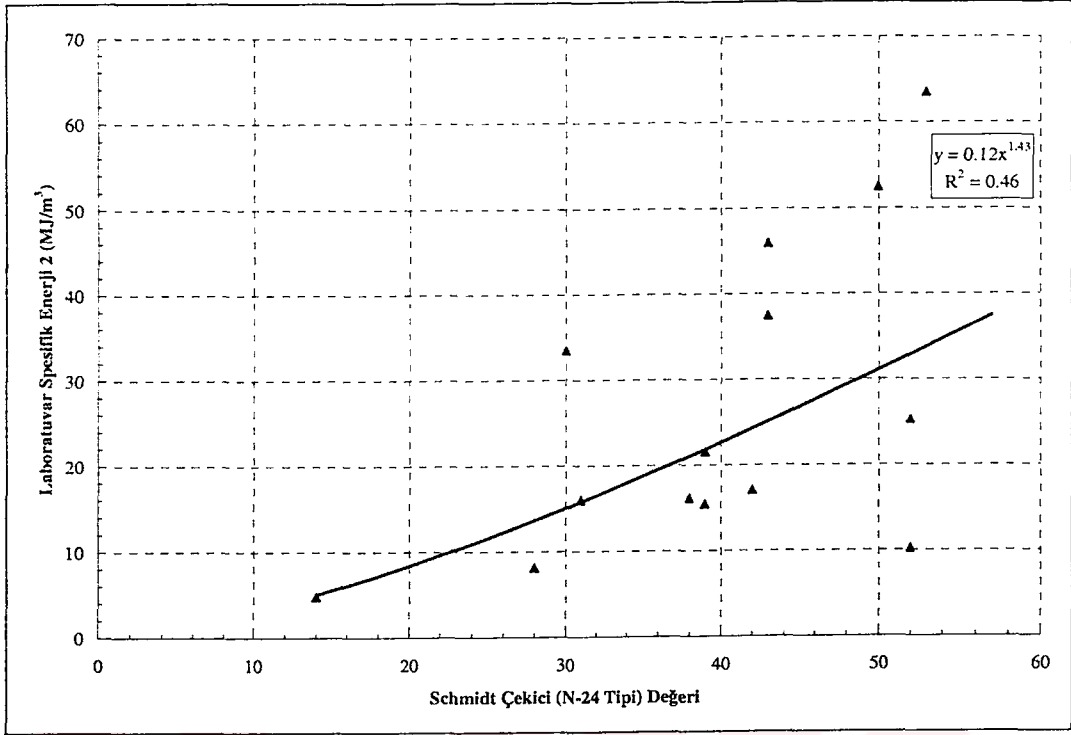
Şekil D.16 d = 9 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



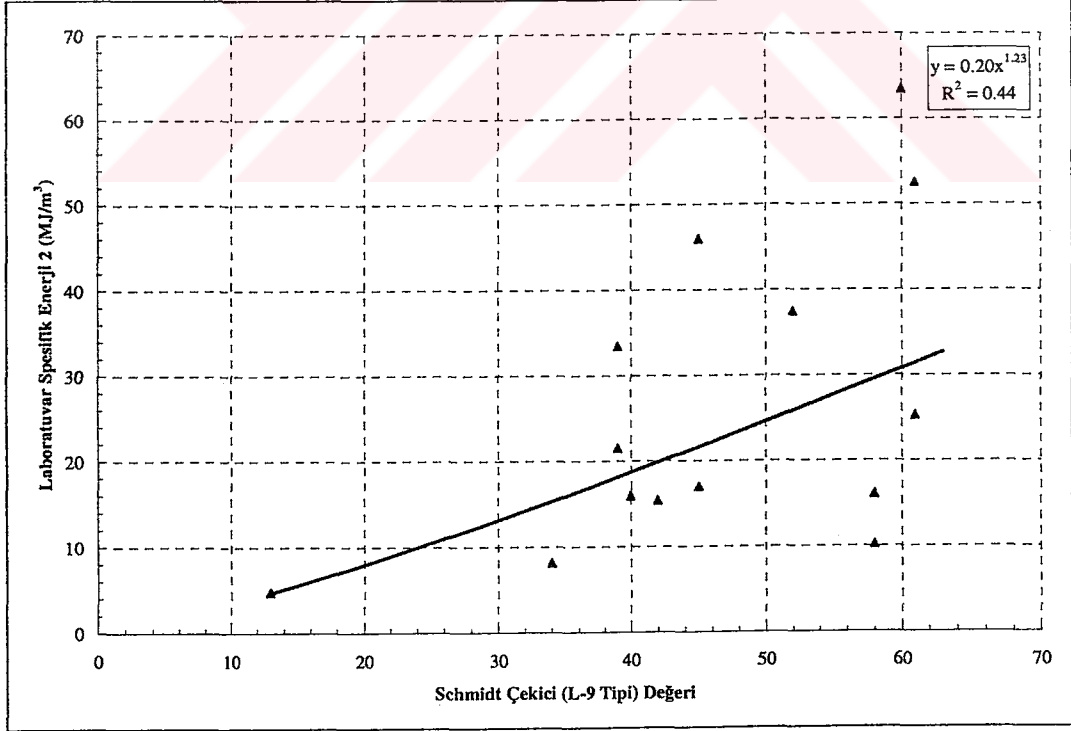
Şekil D.17 d = 5 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



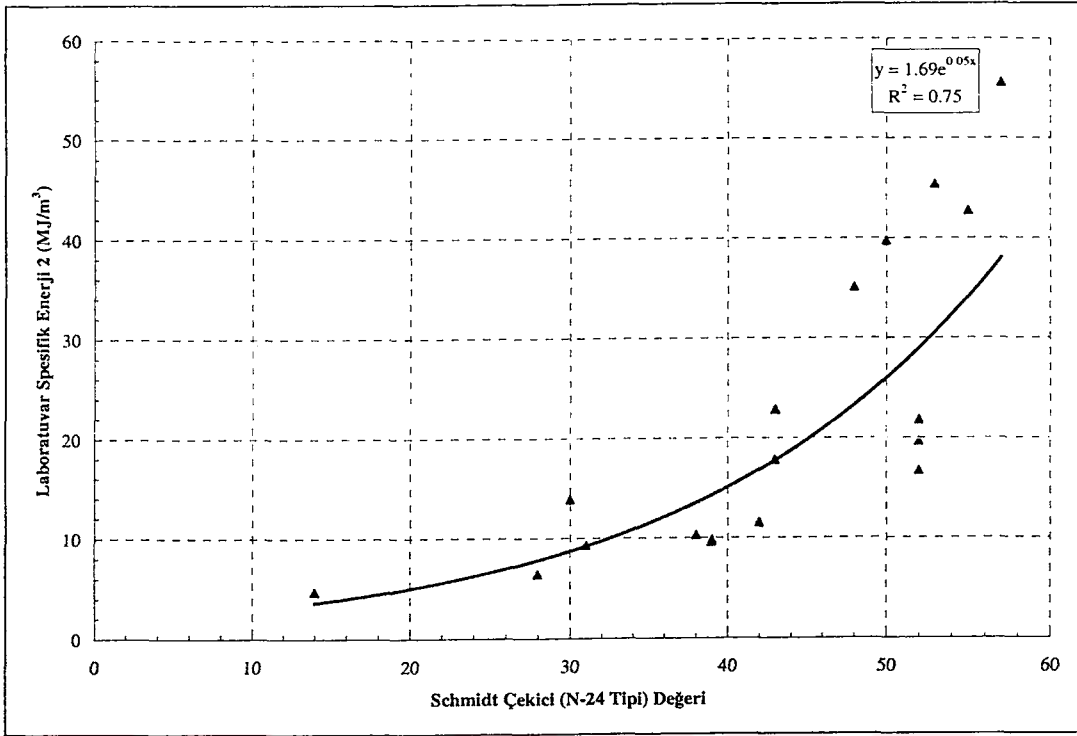
Şekil D.18 d = 9 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



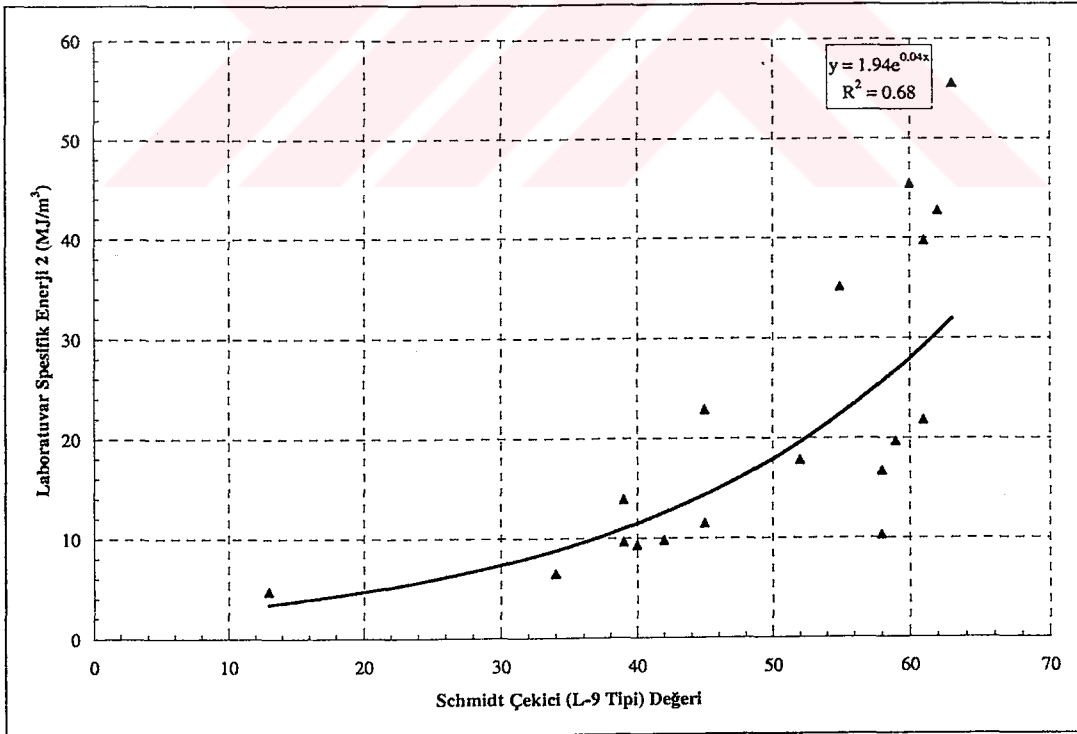
Şekil D.19 $d = 5$ mm'de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



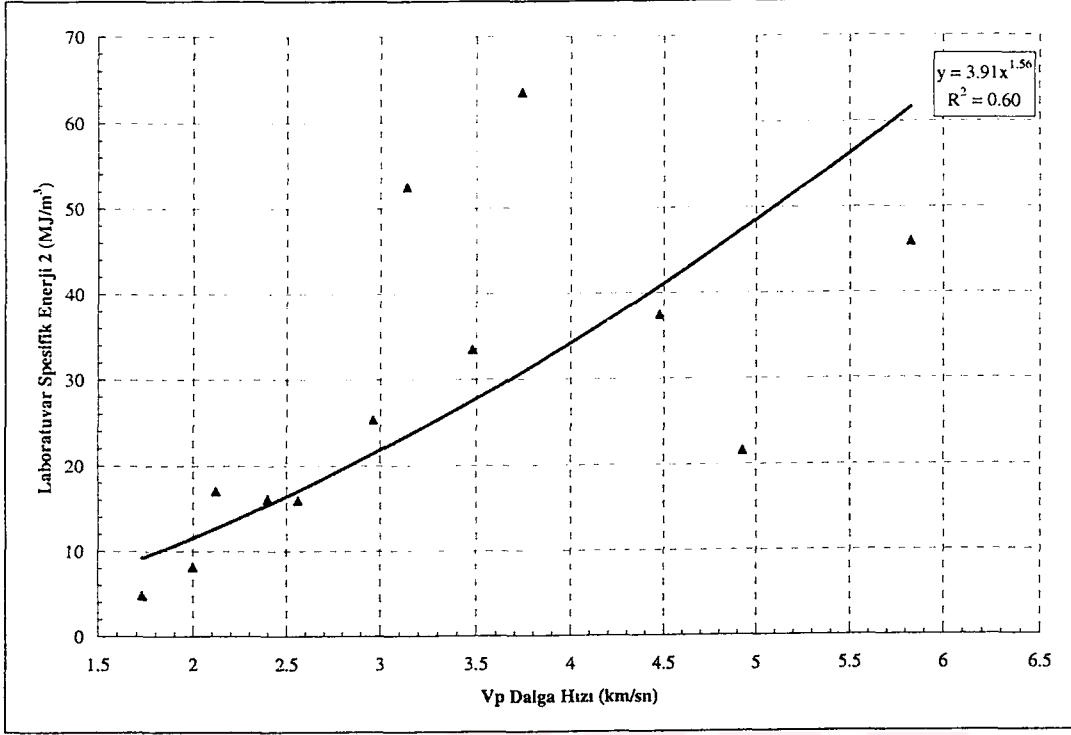
Şekil D.20 $d = 5$ mm'de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



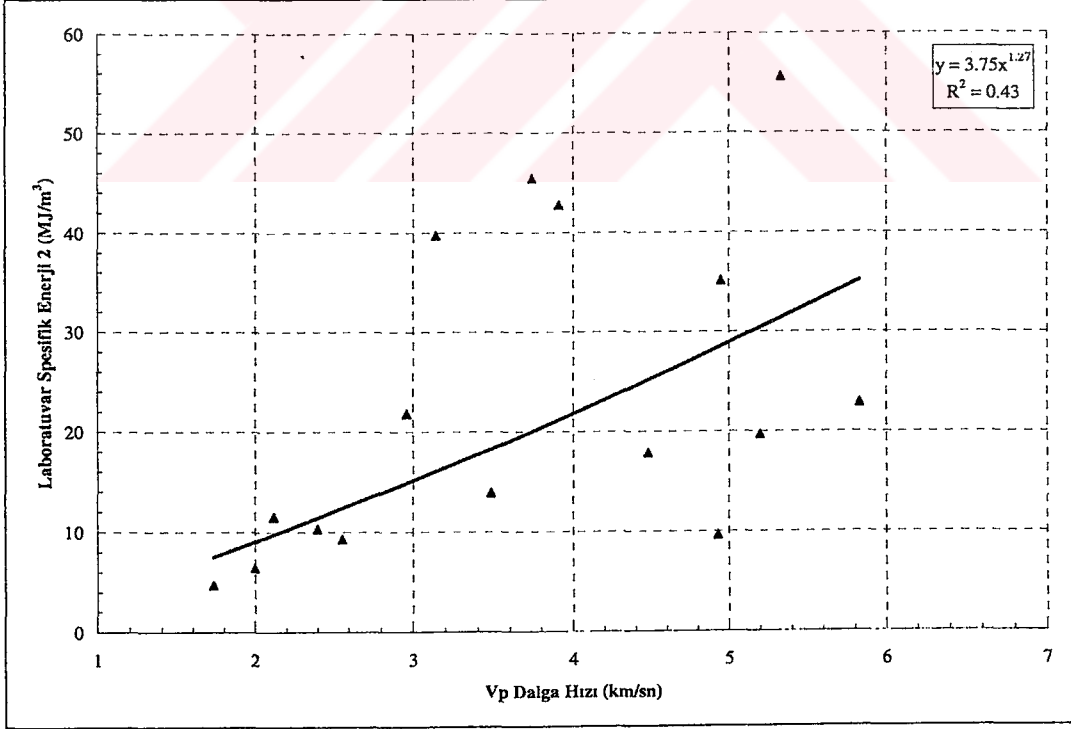
Şekil D.21 $d = 9$ mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



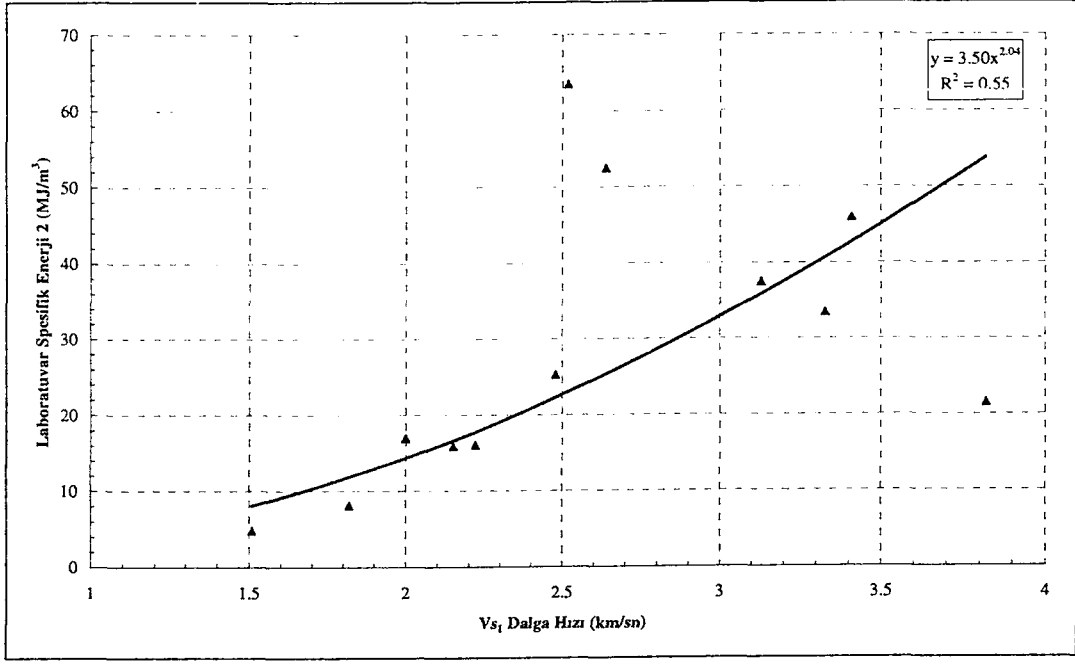
Şekil D.22 $d = 9$ mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



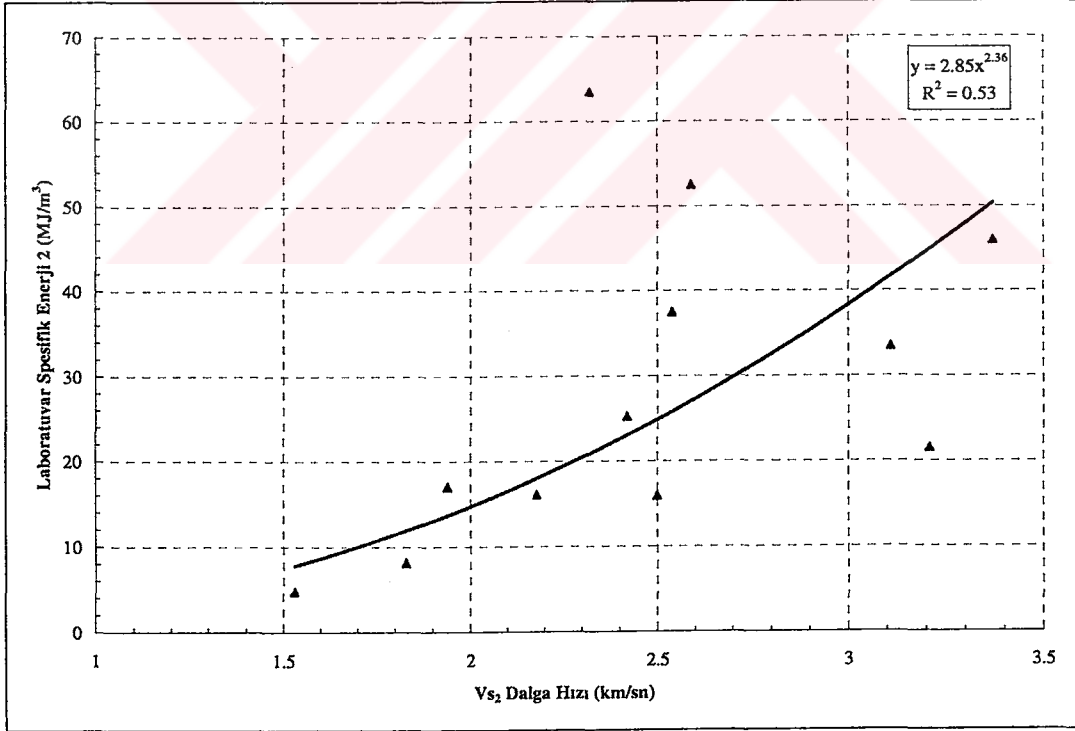
Şekil D.23 d = 5 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



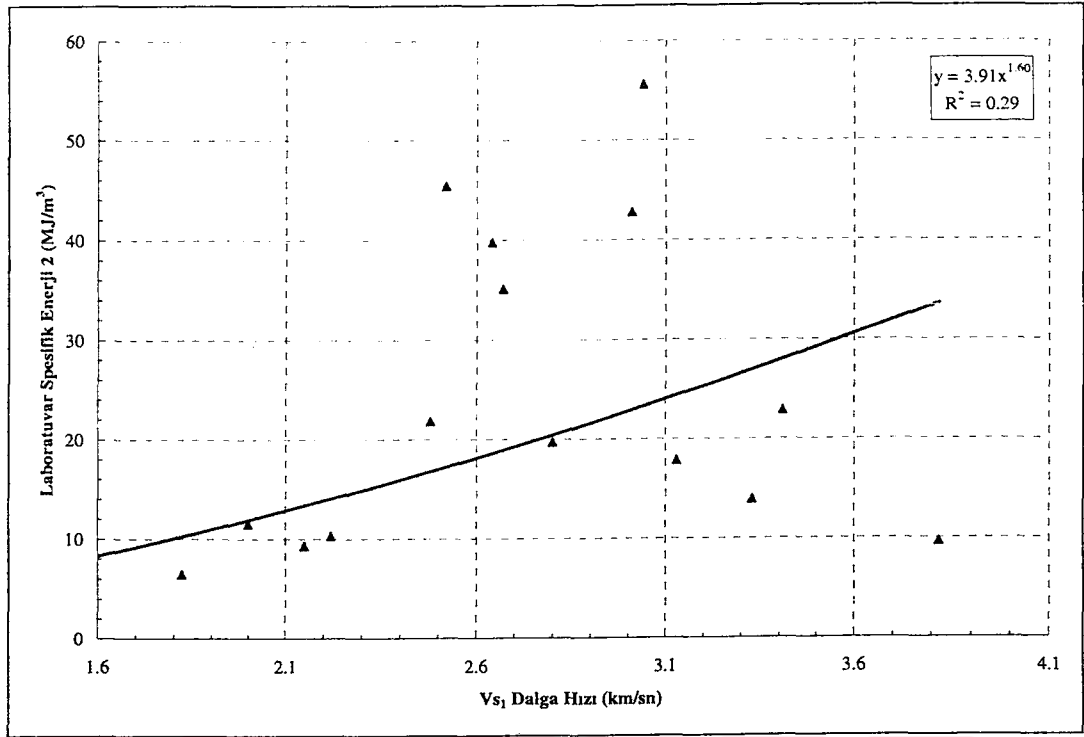
Şekil D.24 d = 9 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



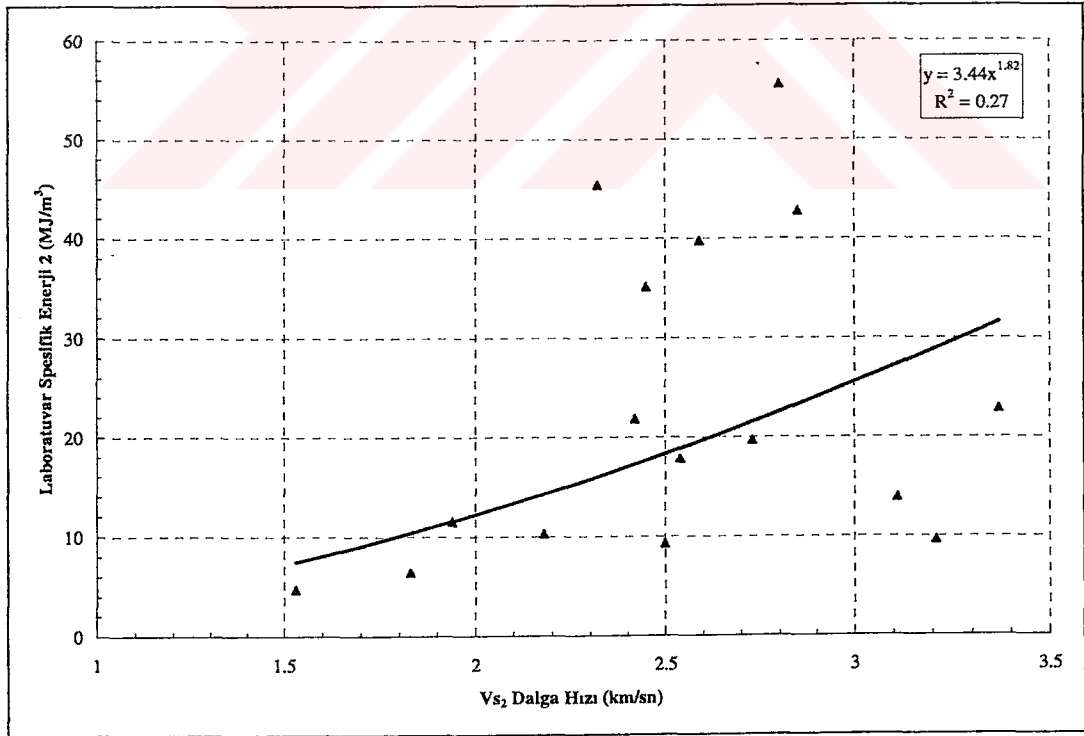
Şekil D.25 $d = 5$ mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s1} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



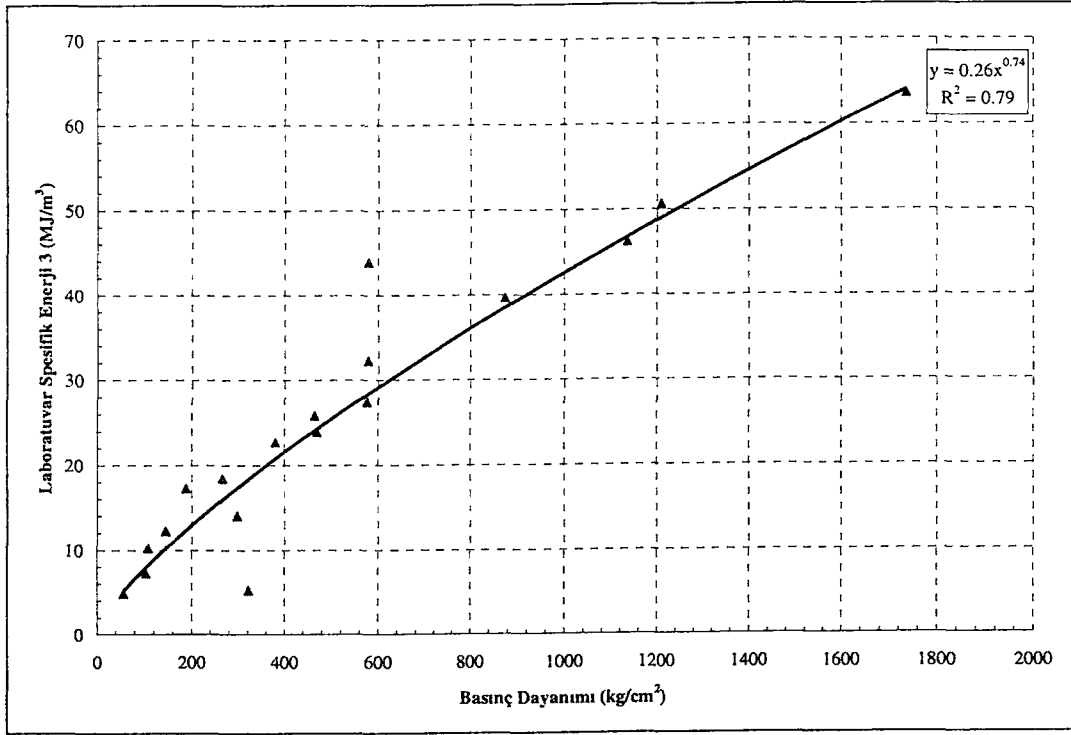
Şekil D.26 $d = 5$ mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s2} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



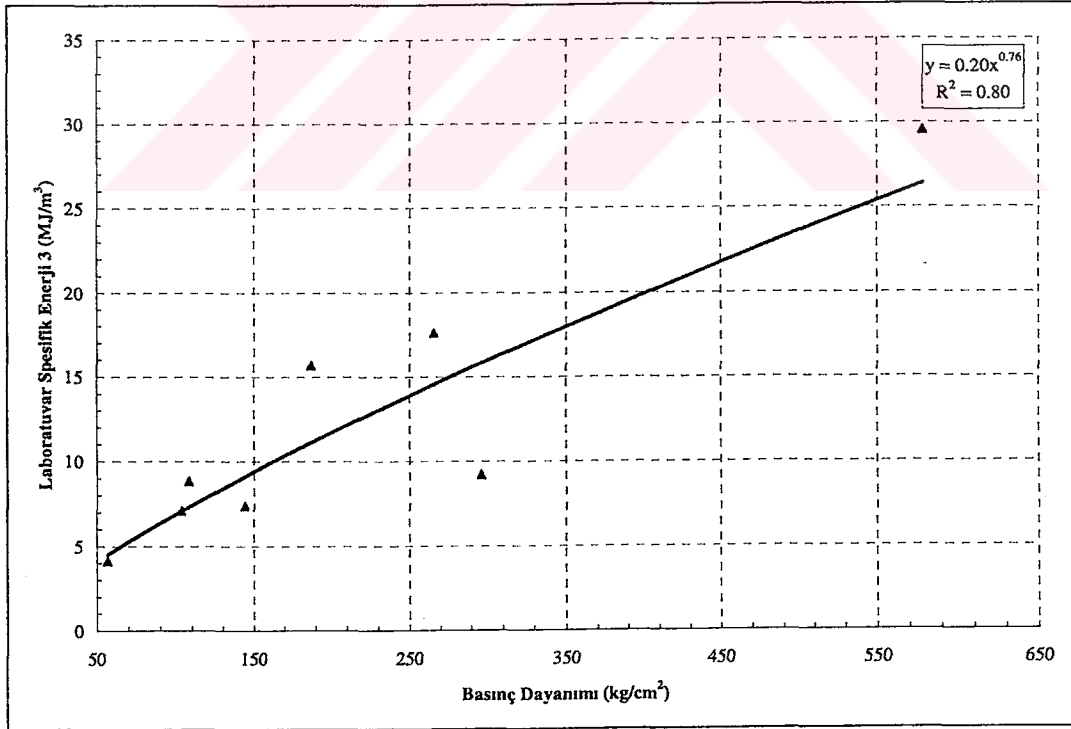
Şekil D.27 d = 9 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vs1 dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



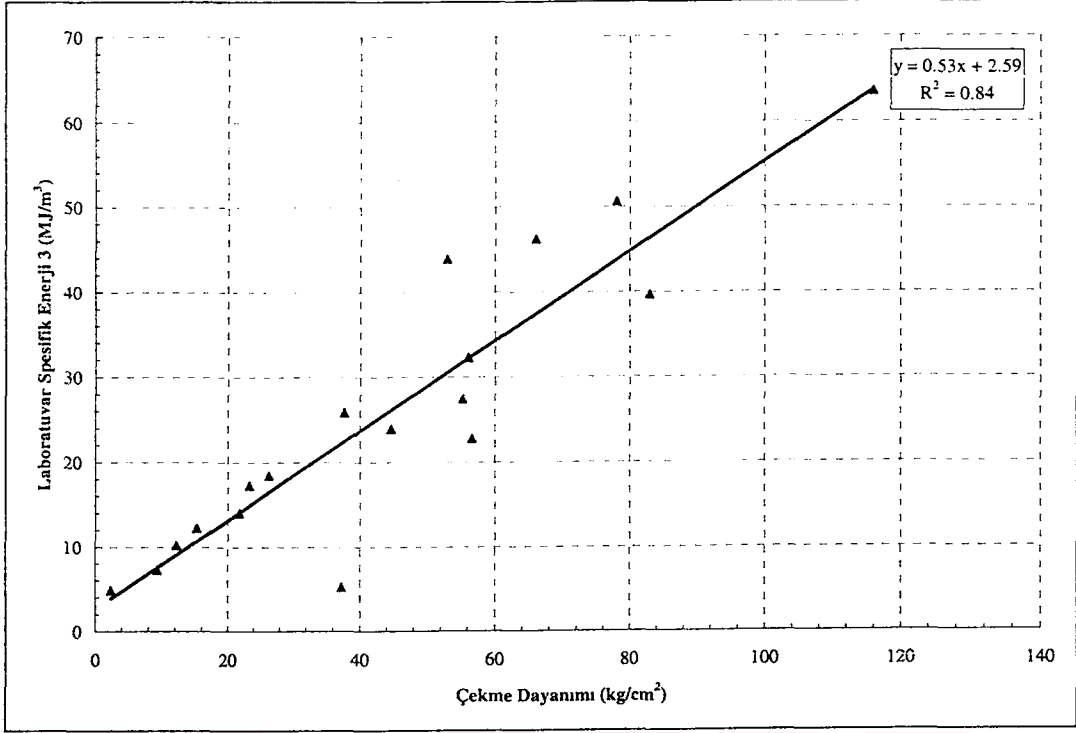
Şekil D.28 d = 9 mm’de yapılan, SE2 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vs2 dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



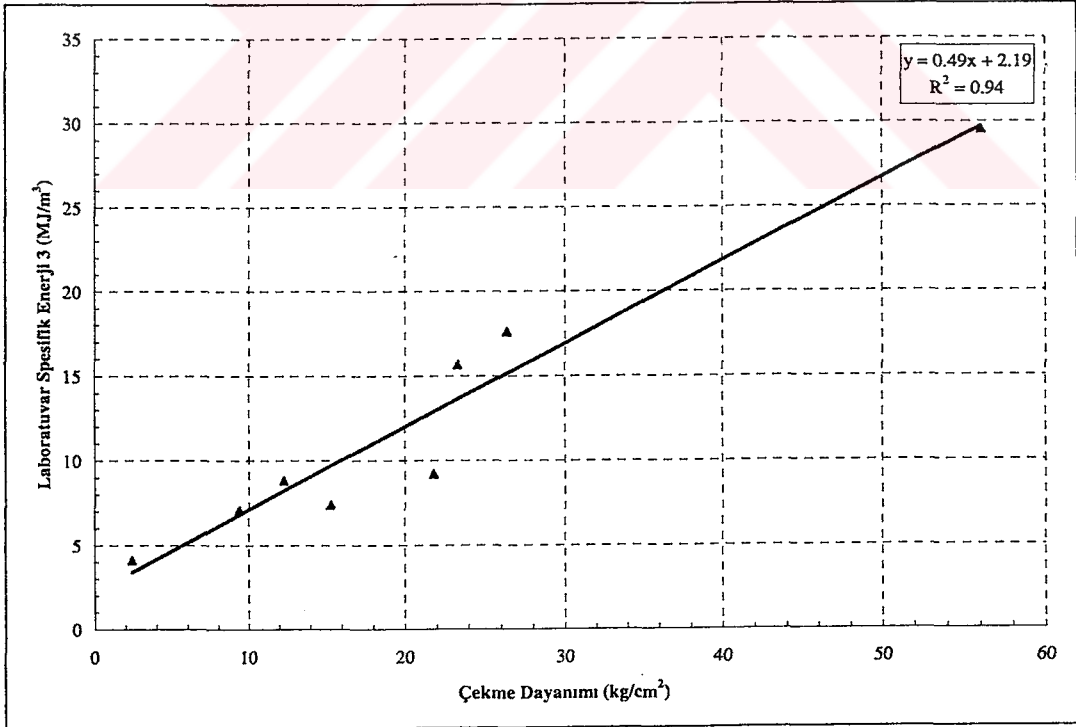
Şekil D.29 $d = 5 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



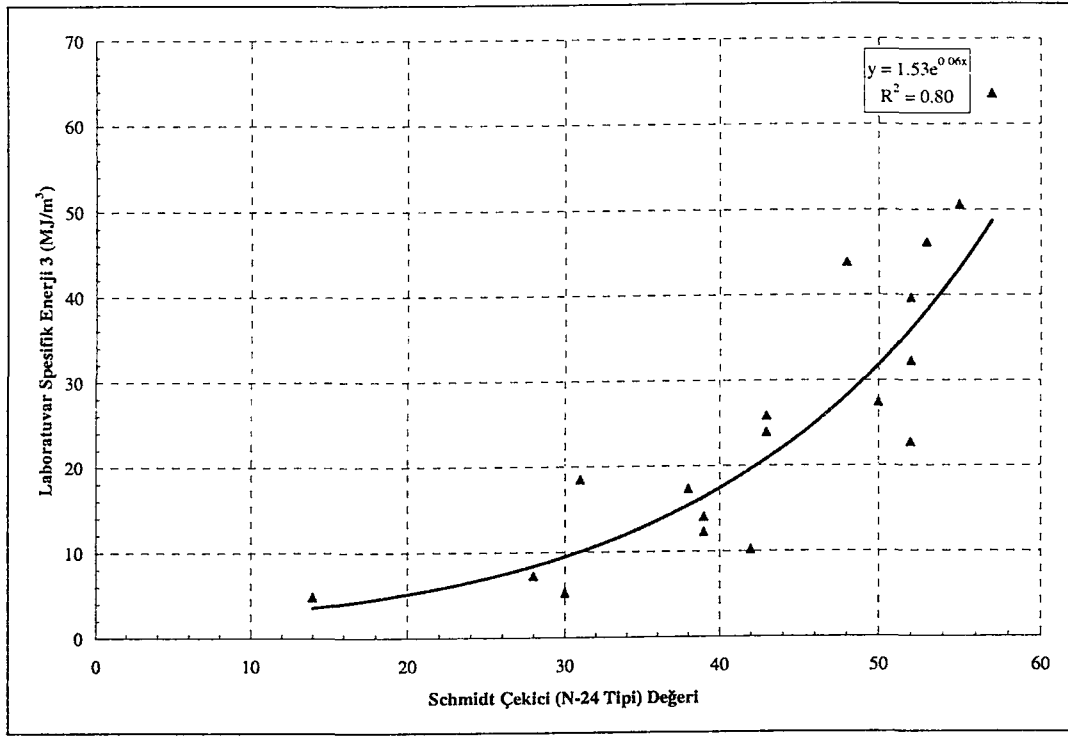
Şekil D.30 $d = 9 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



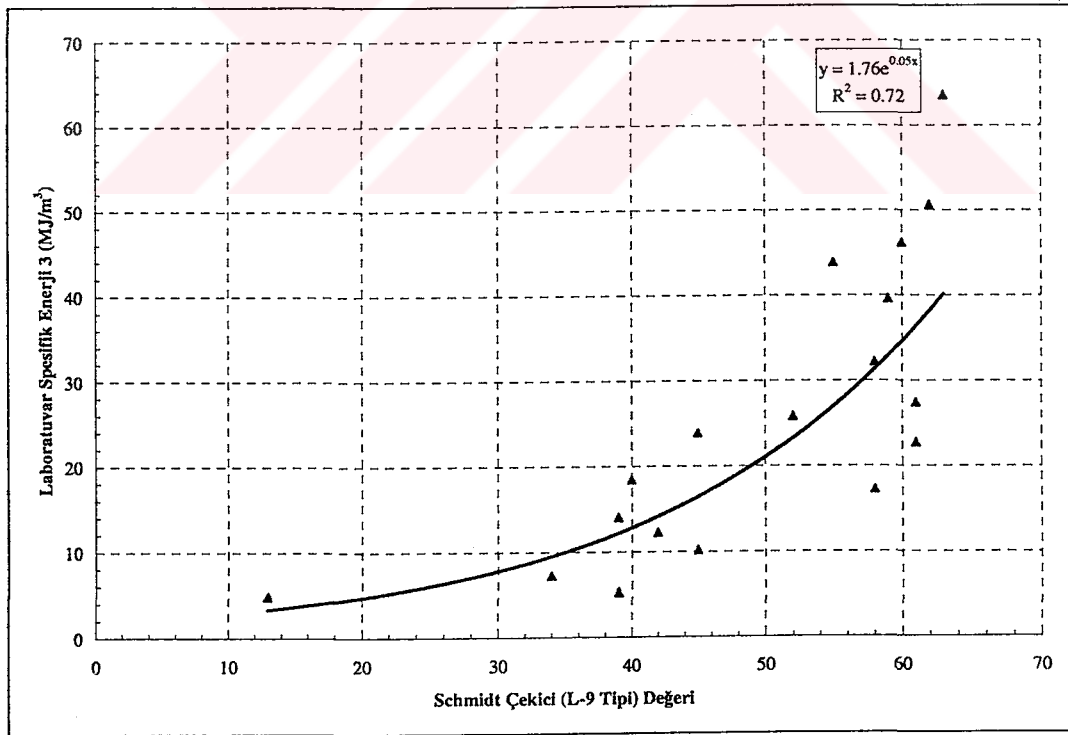
Şekil D.31 $d = 5 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



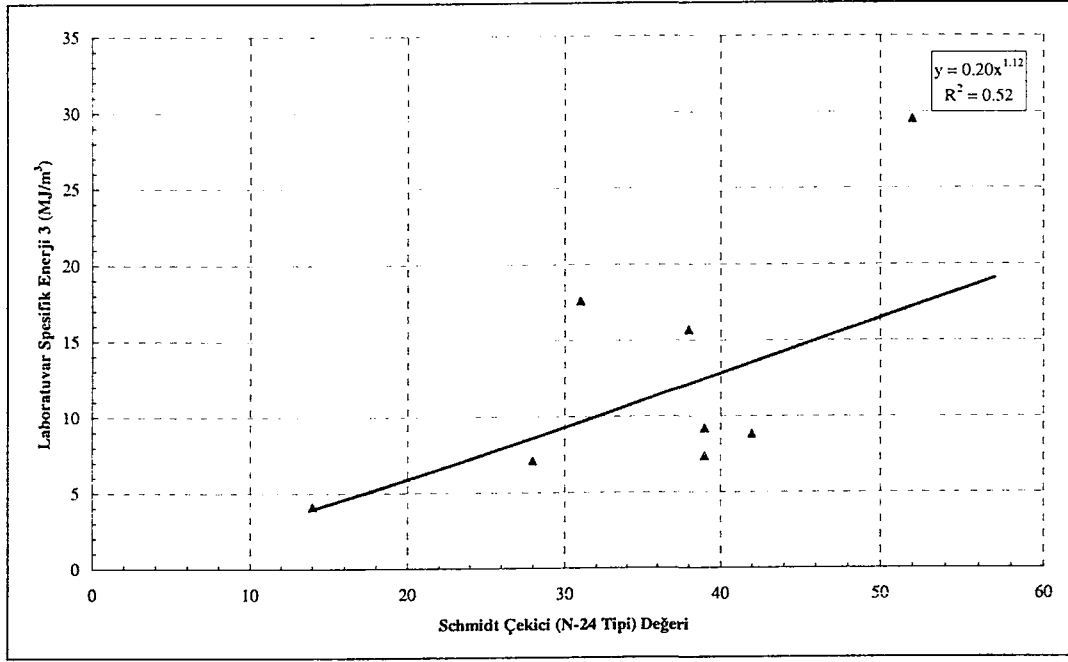
Şekil D.32 $d = 9 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



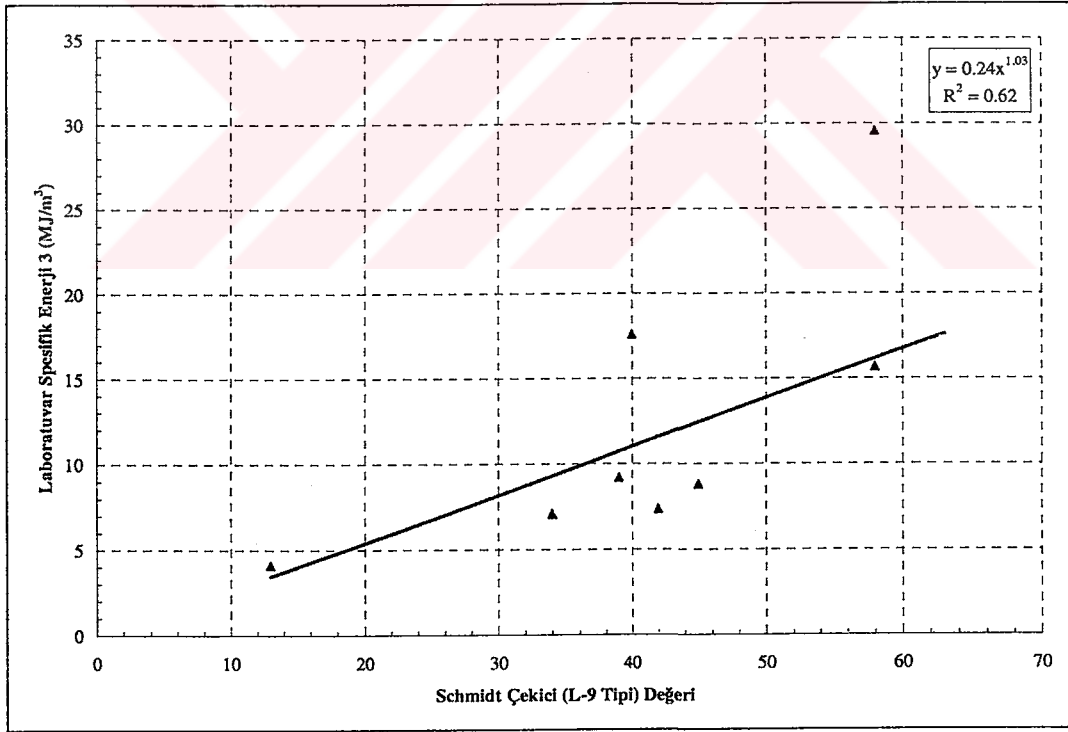
Şekil D.33 d = 5 mm’de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



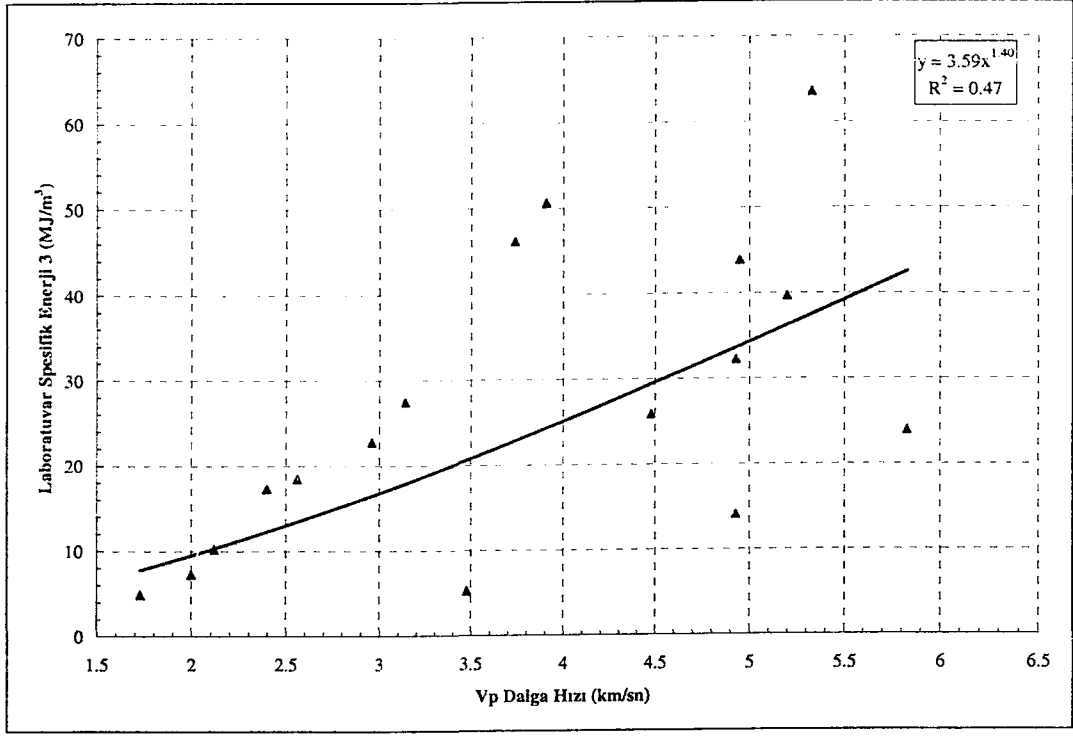
Şekil D.34 d = 5 mm’de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



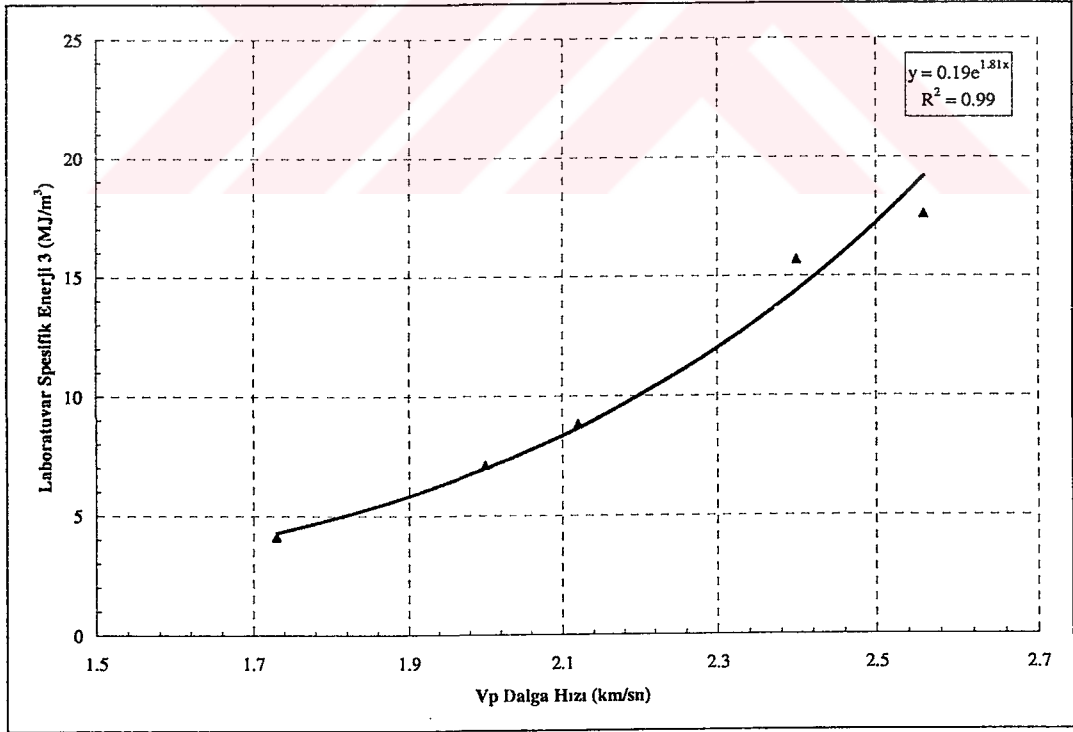
Şekil D.35 $d = 9 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



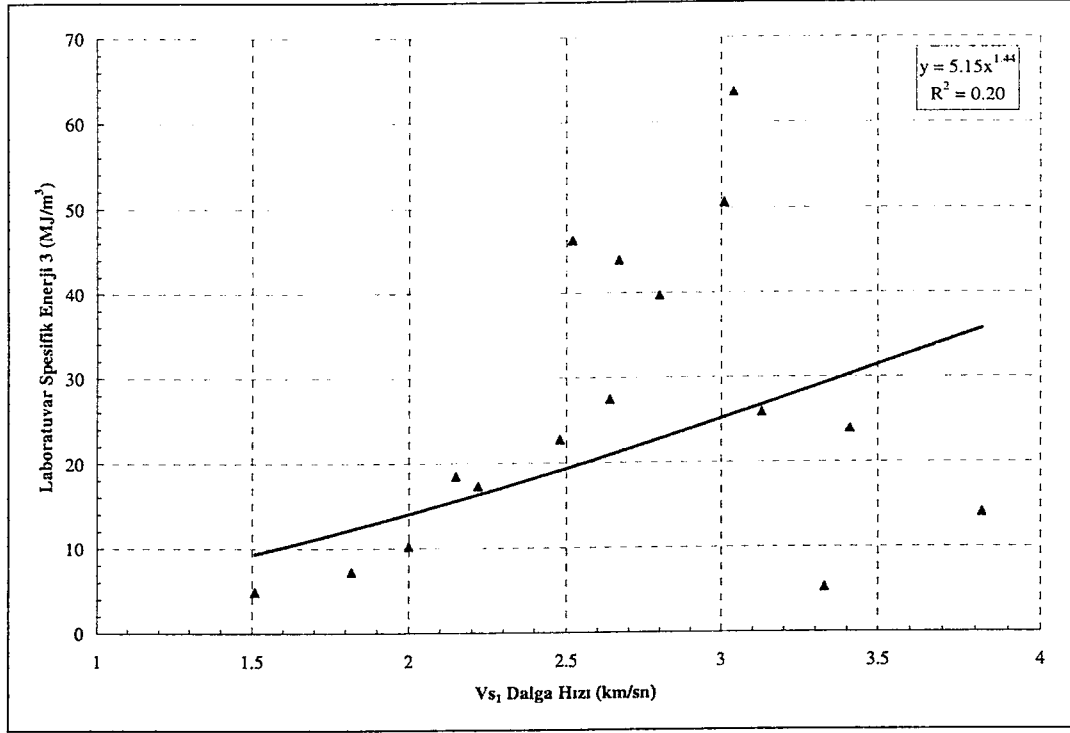
Şekil D.36 $d = 9 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



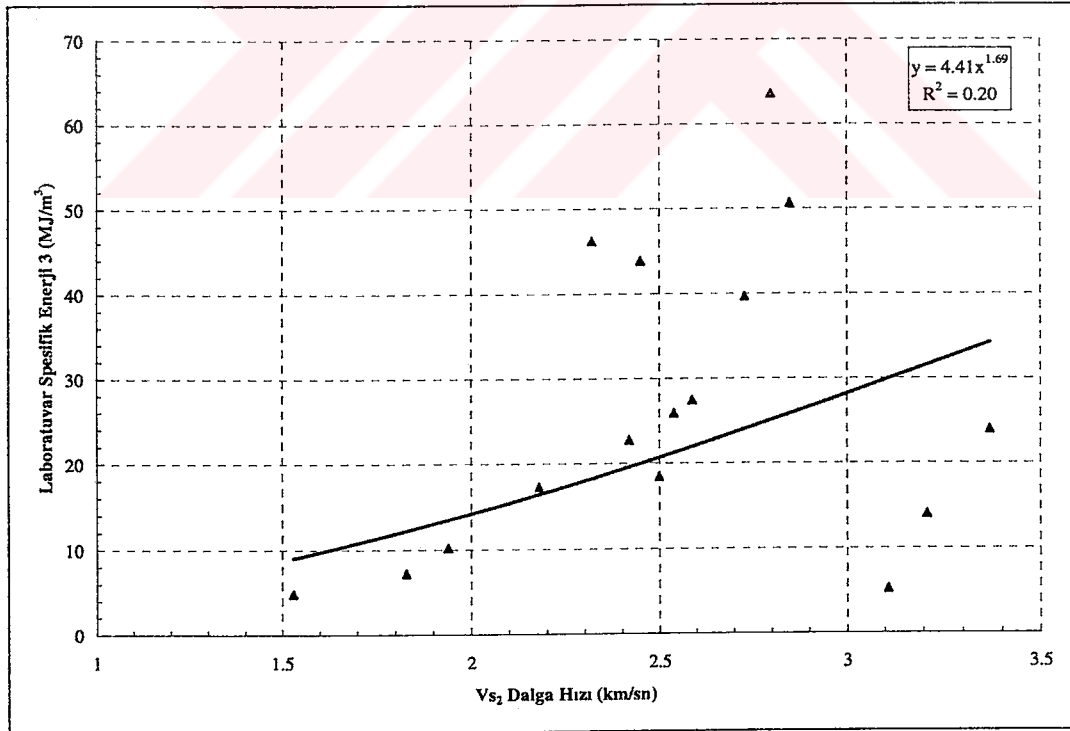
Şekil D.37 d = 5 mm’de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



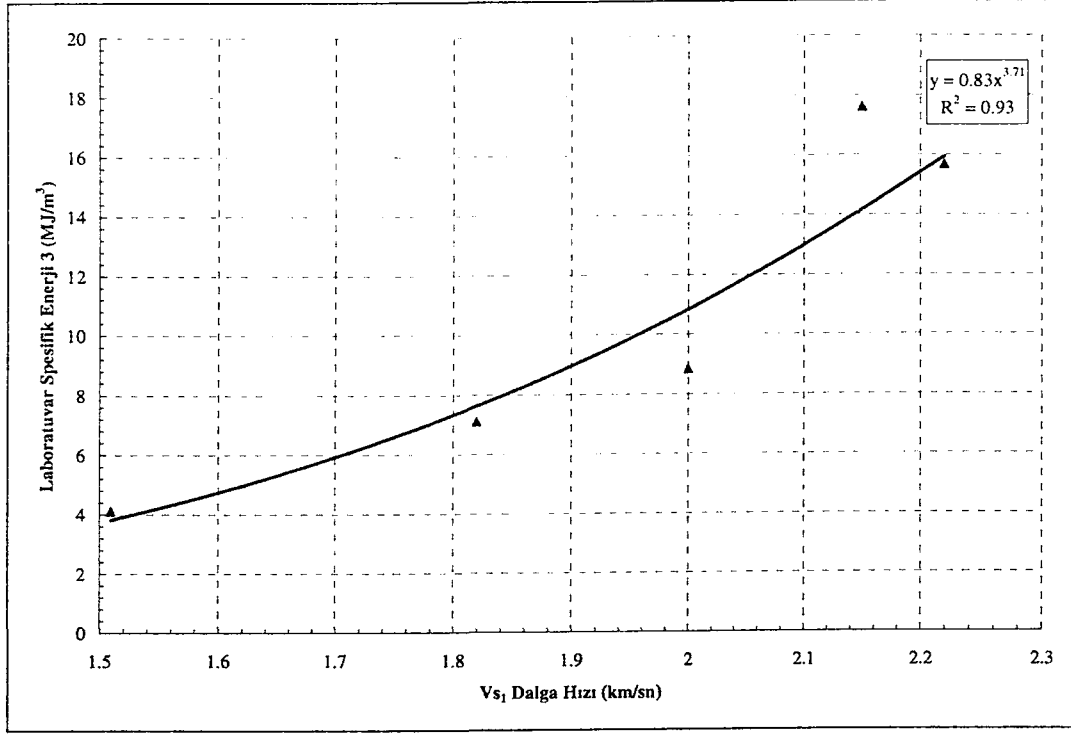
Şekil D.38 d = 9 mm’de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



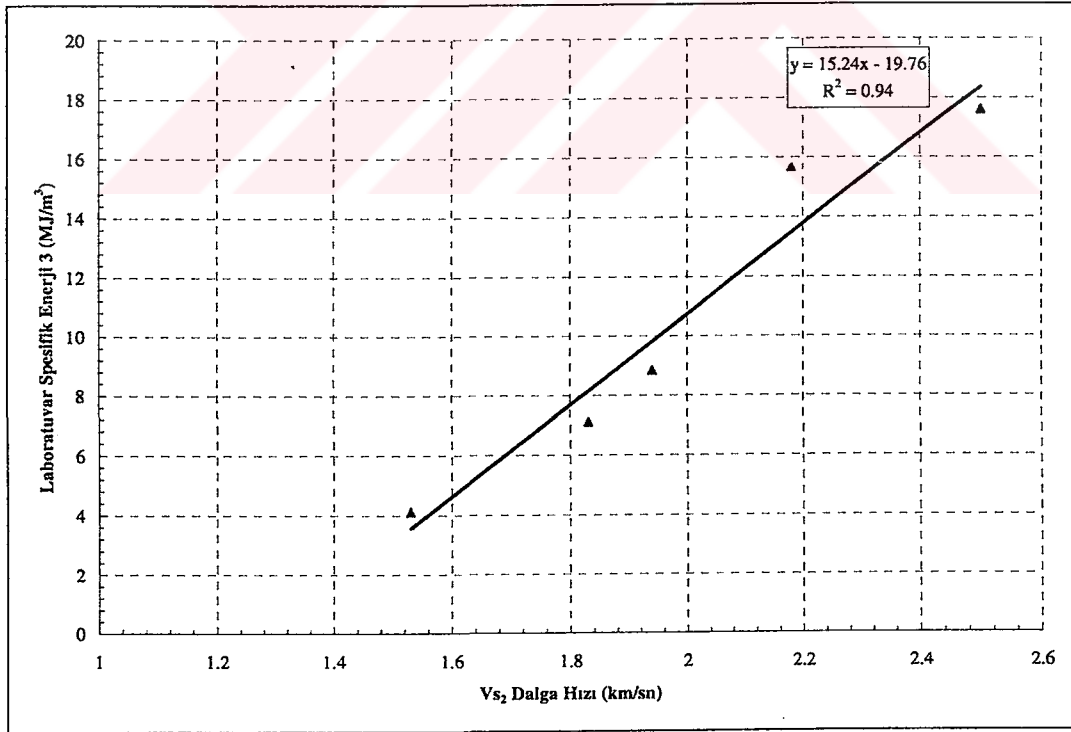
Şekil D.39 $d = 5 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s1} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



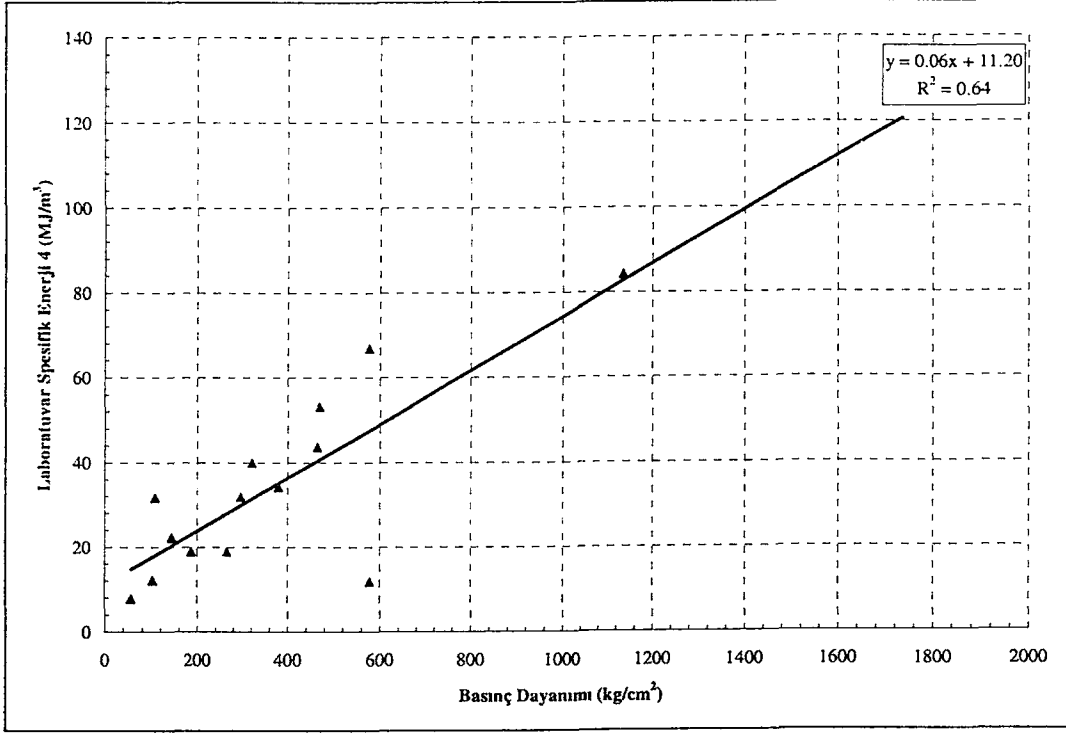
Şekil D.40 $d = 5 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s2} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



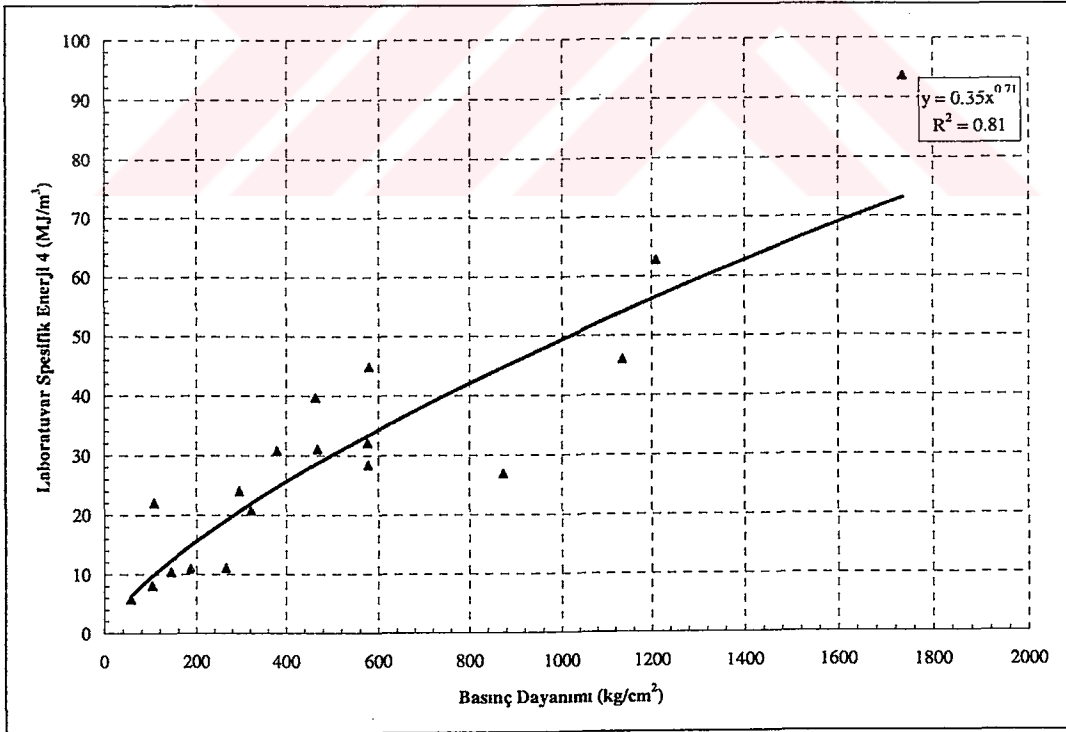
Şekil D.41 $d = 9$ mm'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s1} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



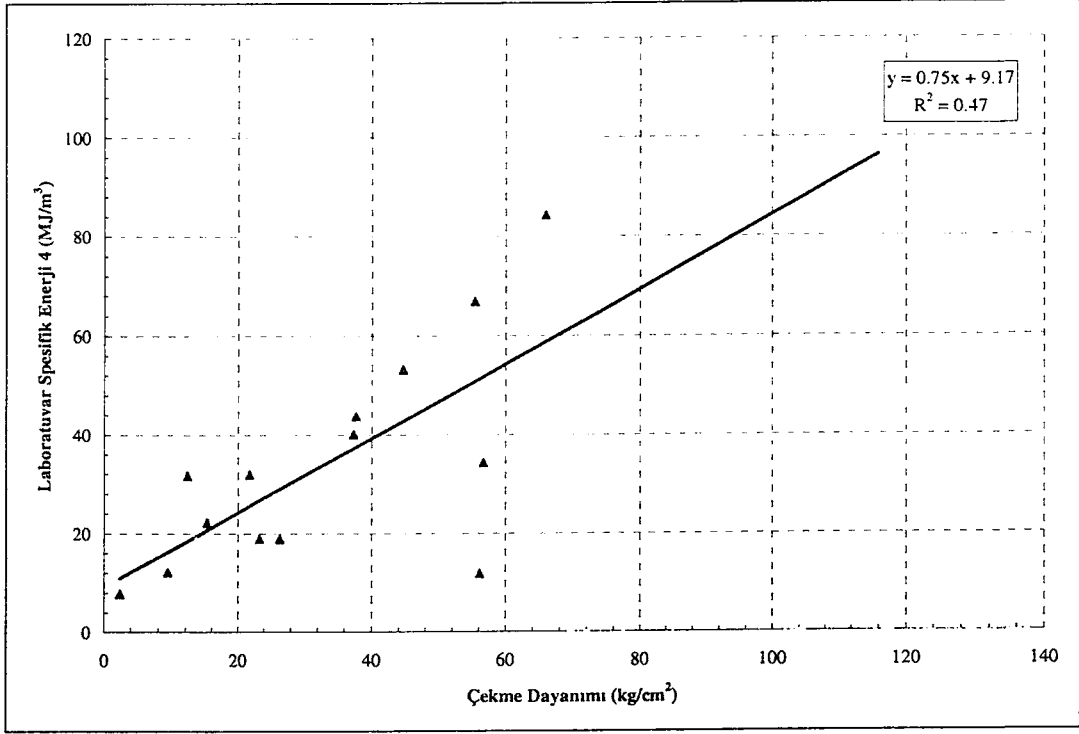
Şekil D.42 $d = 9$ mm'de yapılan, SE3 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s2} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



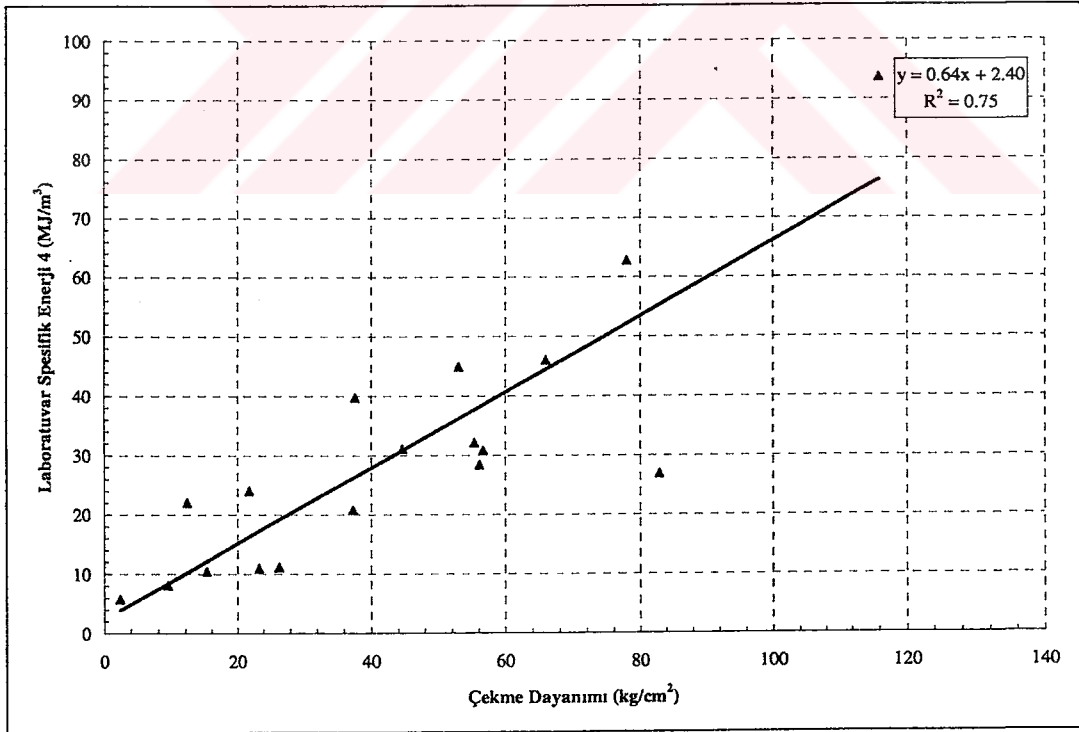
Şekil D.43 $d = 5 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



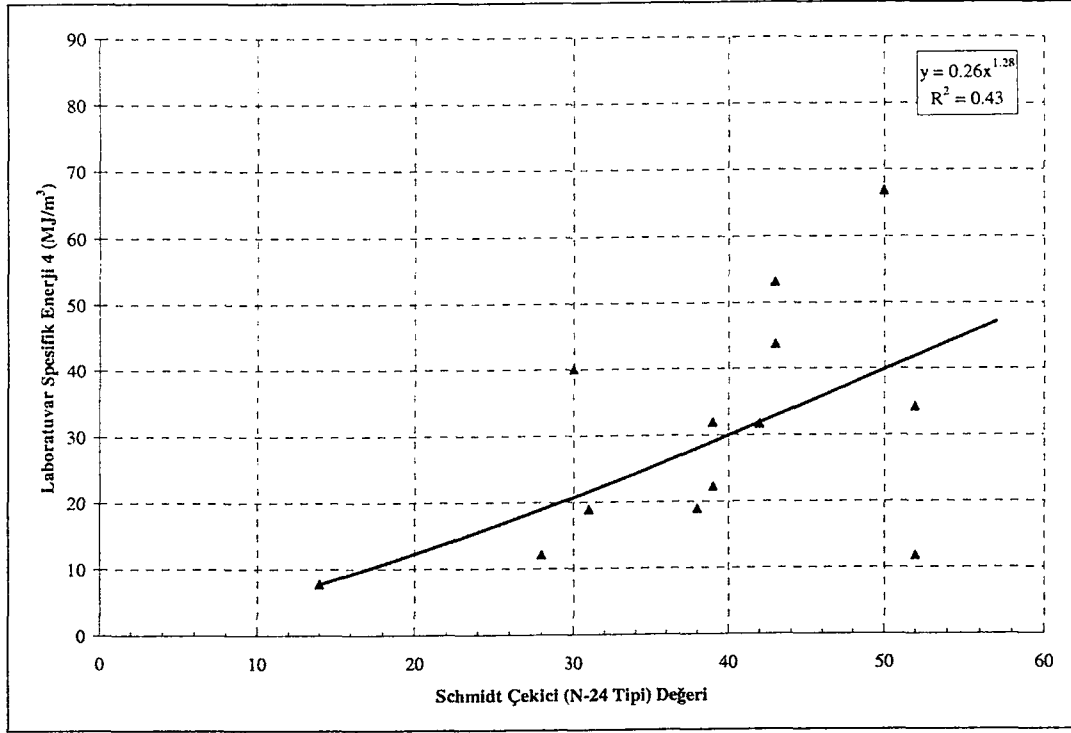
Şekil D.44 $d = 9 \text{ mm}$ 'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



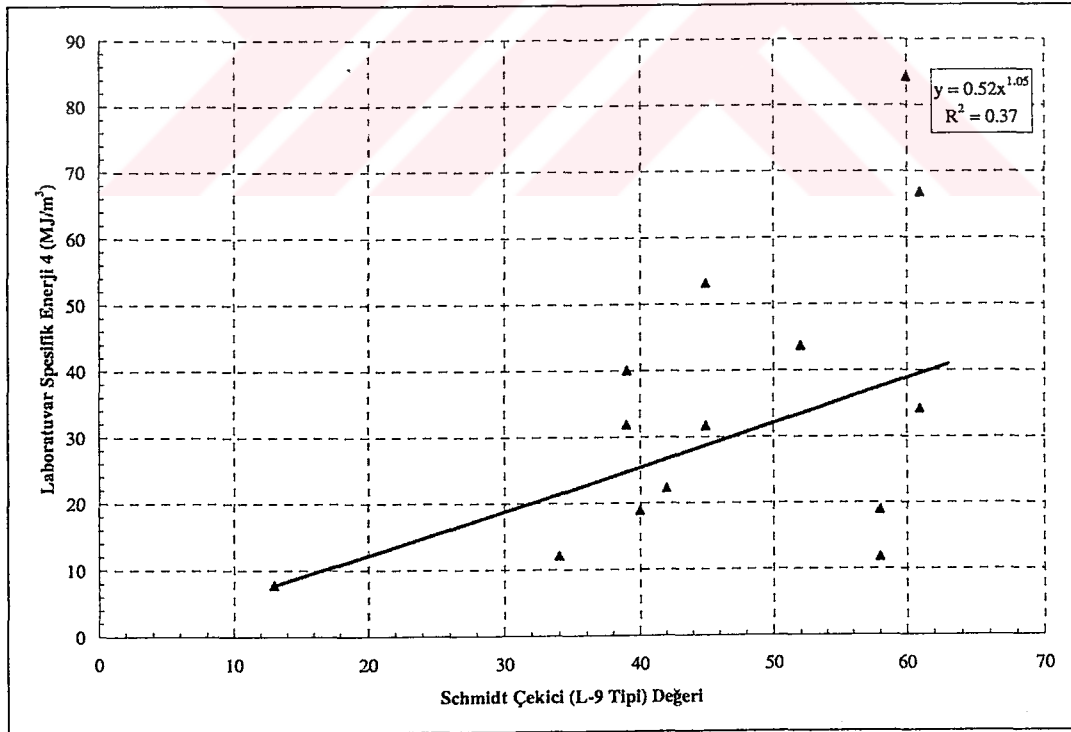
Şekil D.45 d = 5 mm'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



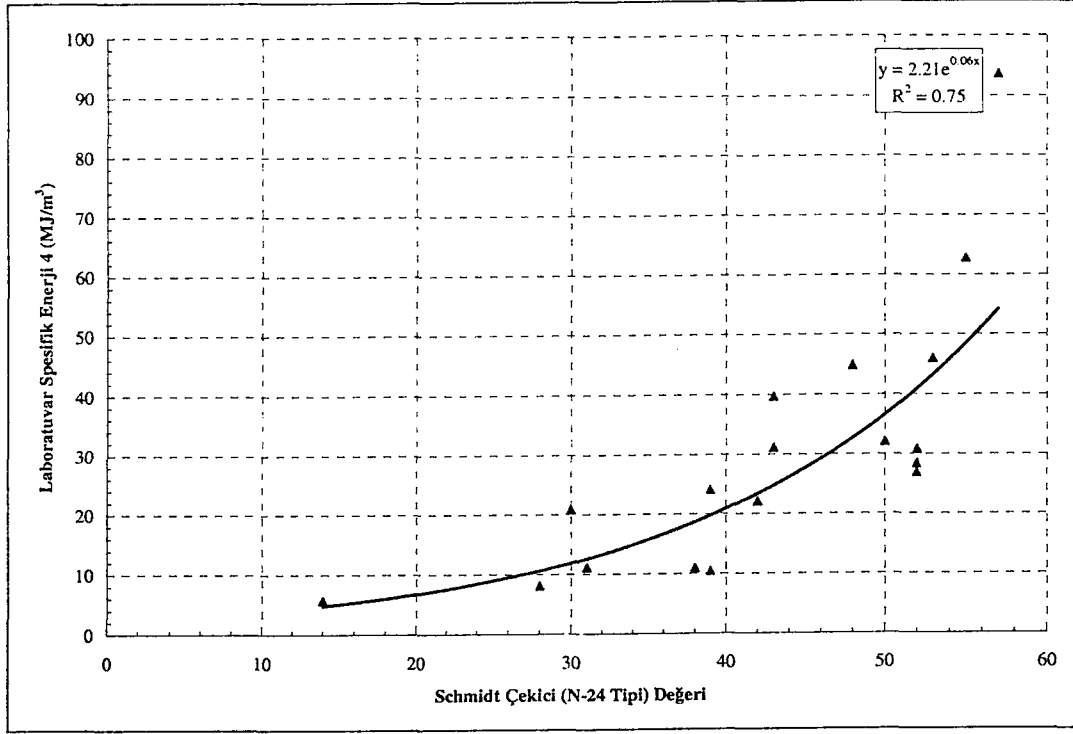
Şekil D.46 d = 9 mm'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



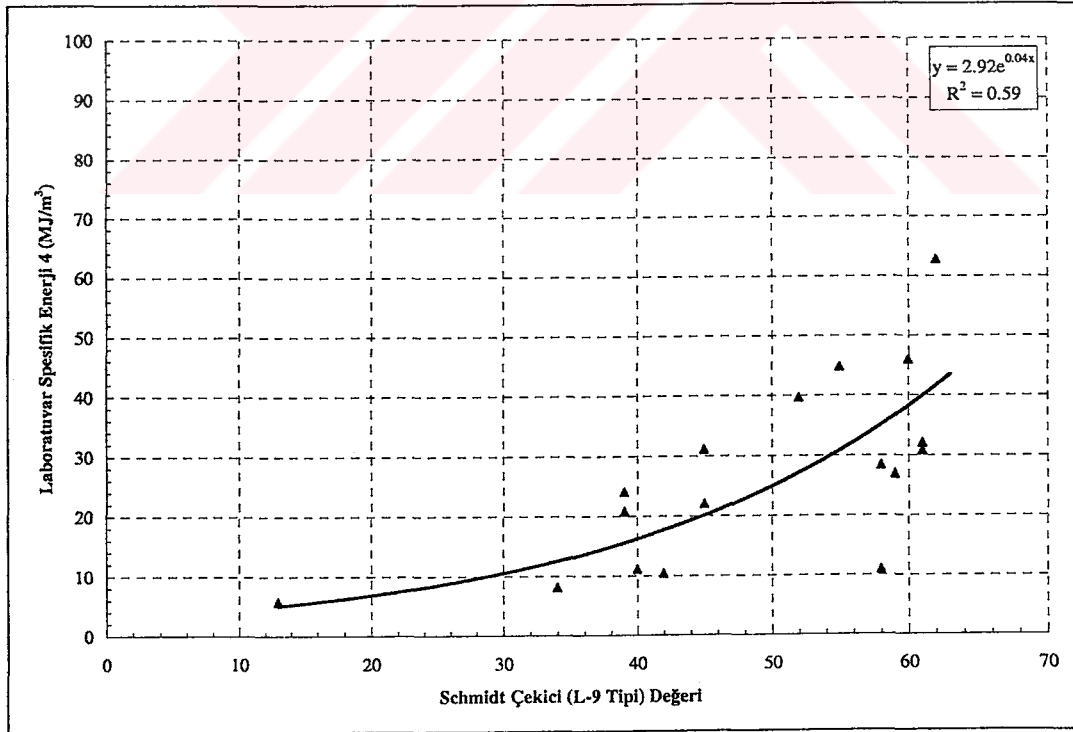
Şekil D.47 d = 5 mm'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



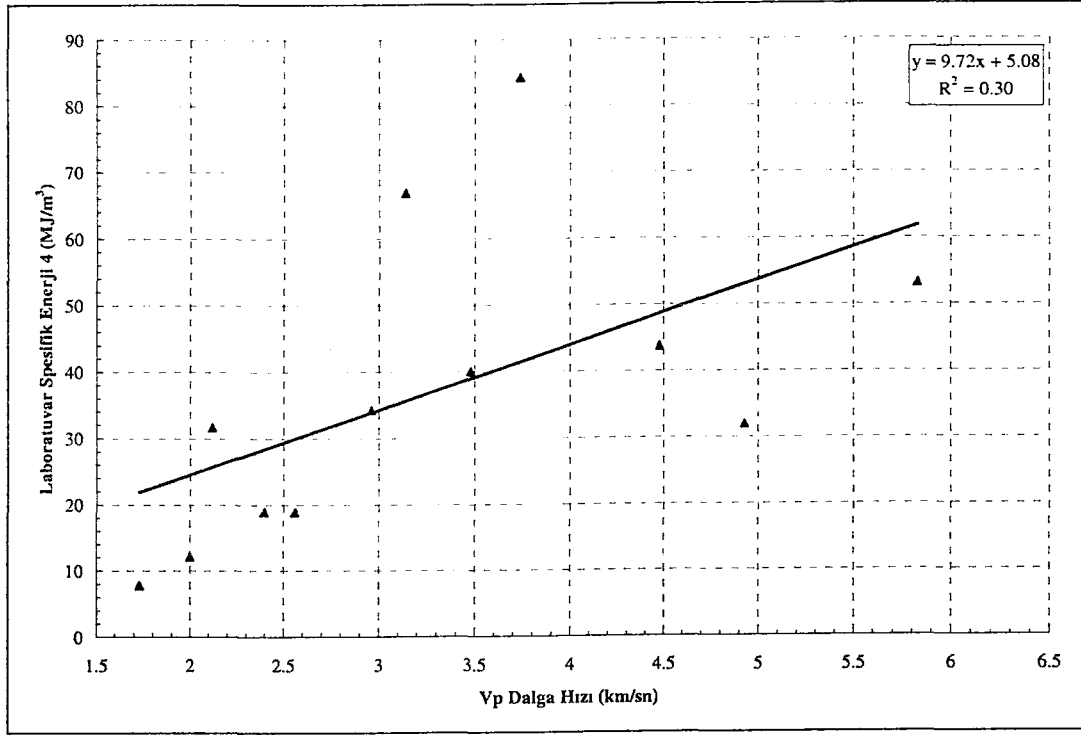
Şekil D.48 d = 5 mm'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



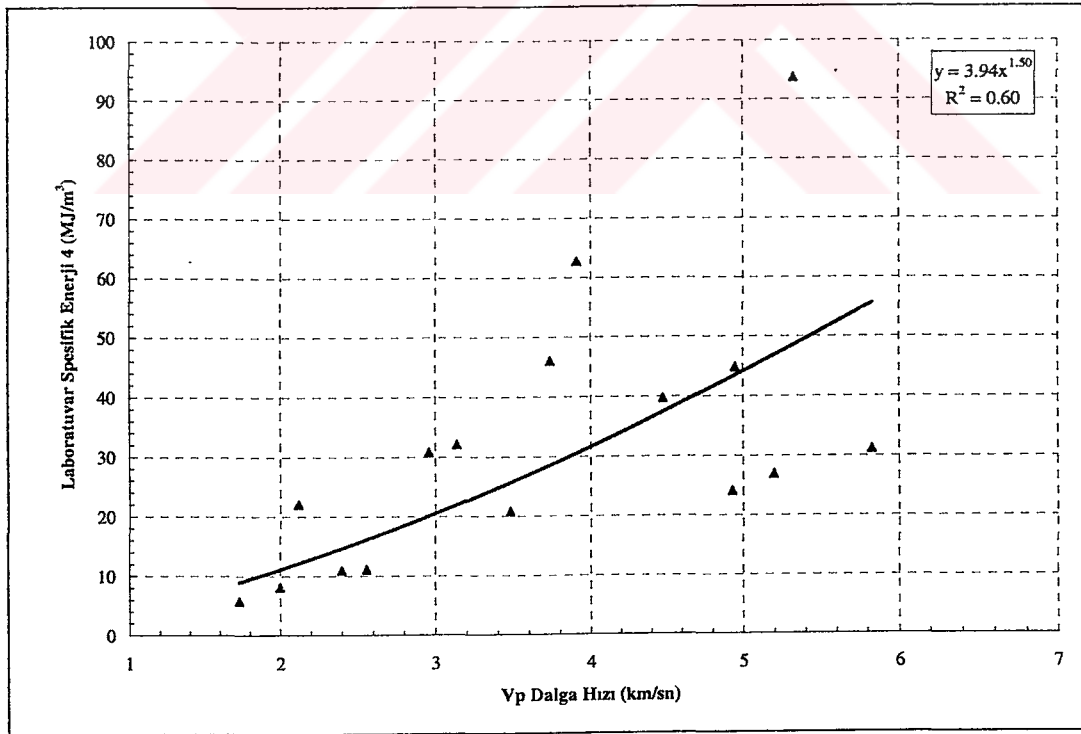
Şekil D.49 d = 9 mm'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile N-24 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



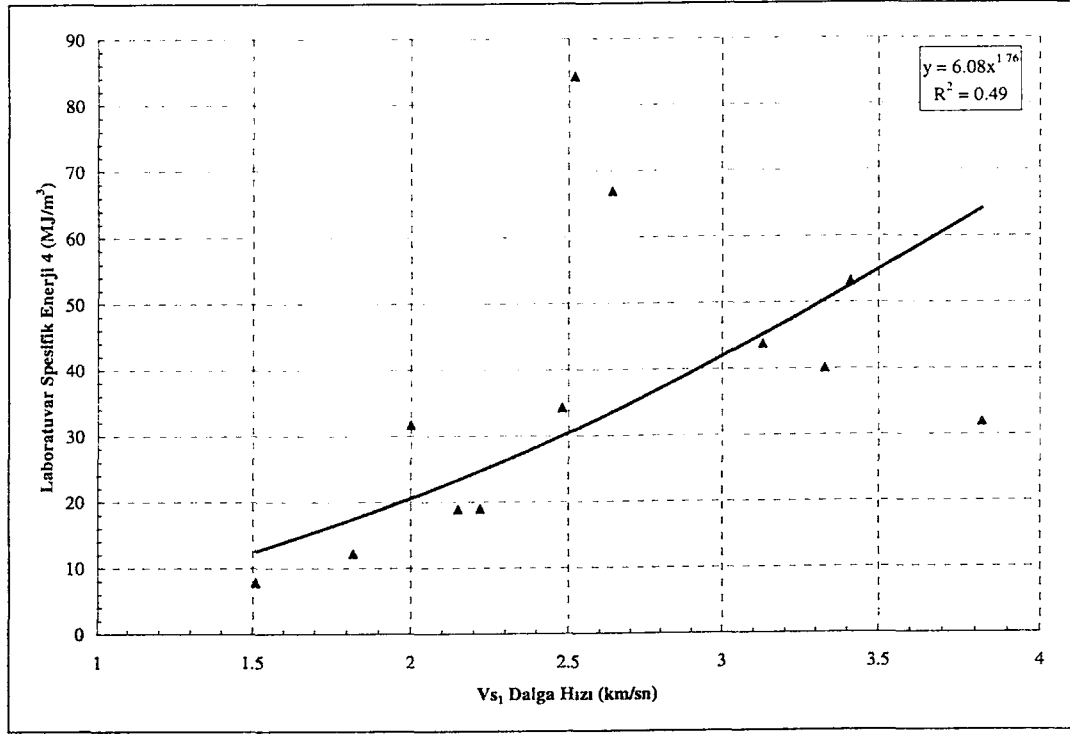
Şekil D.50 d = 9 mm'de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile L-9 tipi Schmidt çekici arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



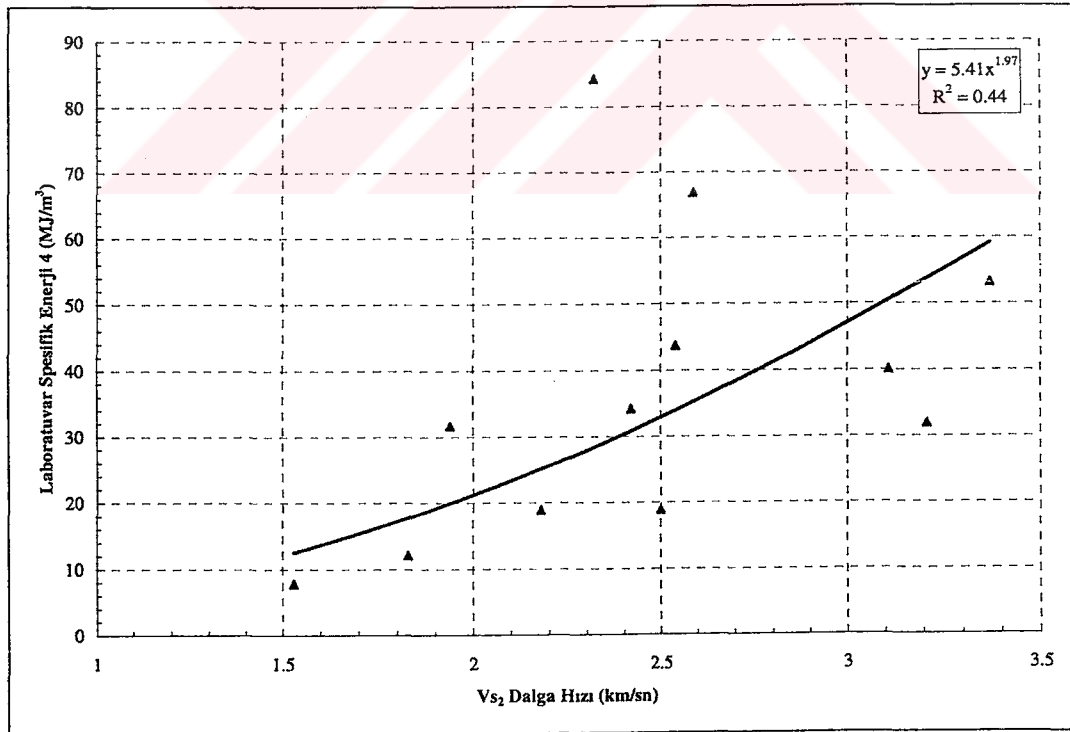
Şekil D.51 d = 5 mm’de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



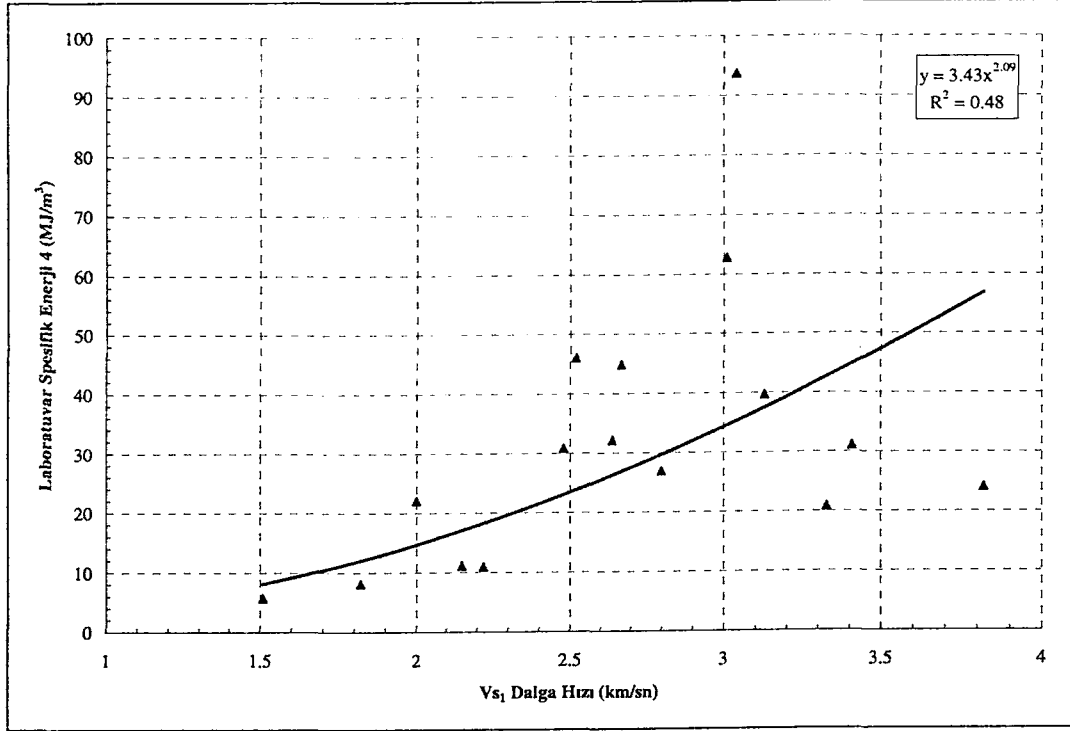
Şekil D.52 d = 9 mm’de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile Vp dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



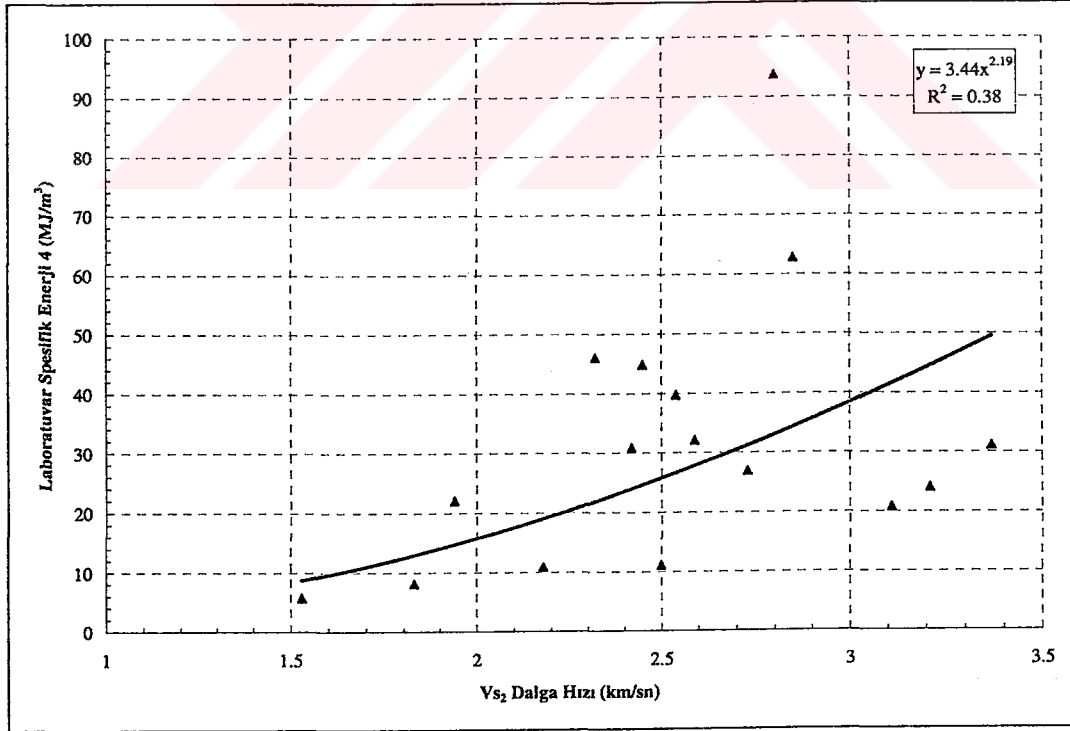
Şekil D.53 d = 5 mm’de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s1} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



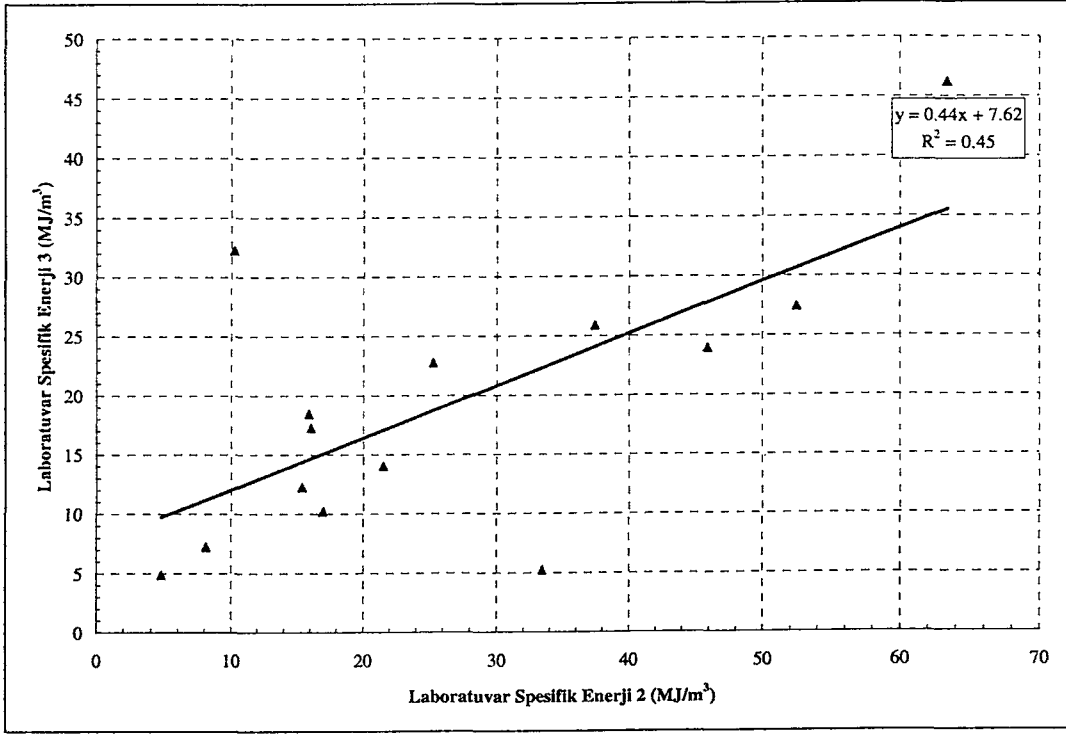
Şekil D.54 d = 5 mm’de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s2} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



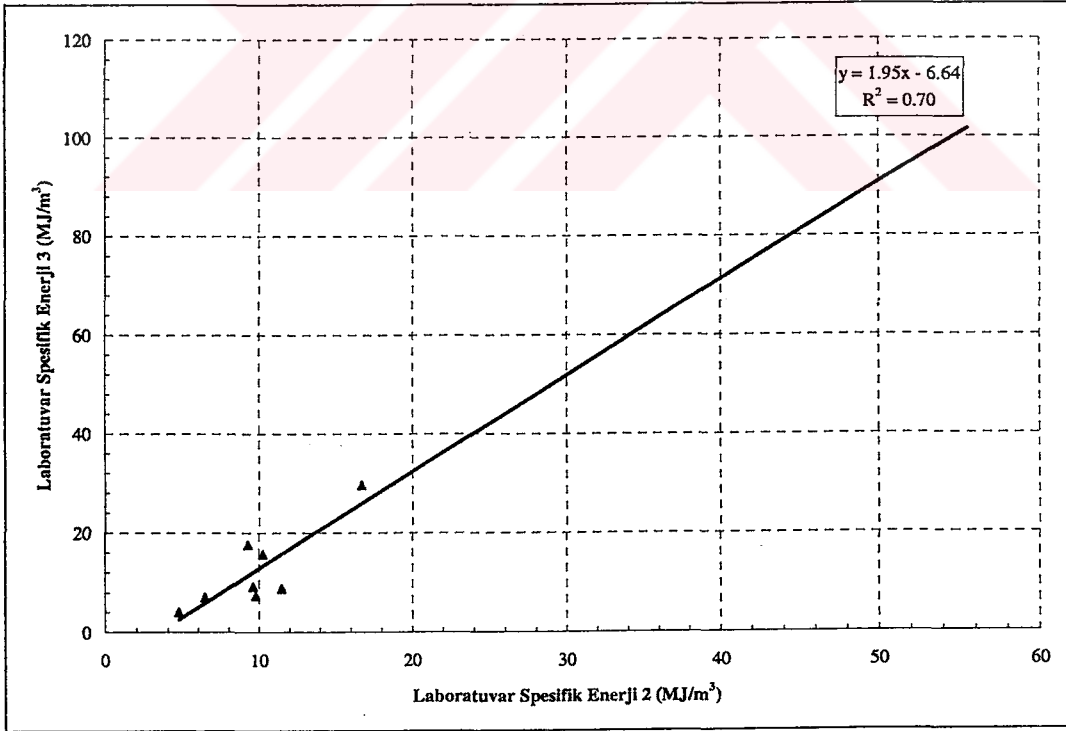
Şekil D.55 d = 9 mm’de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s1} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



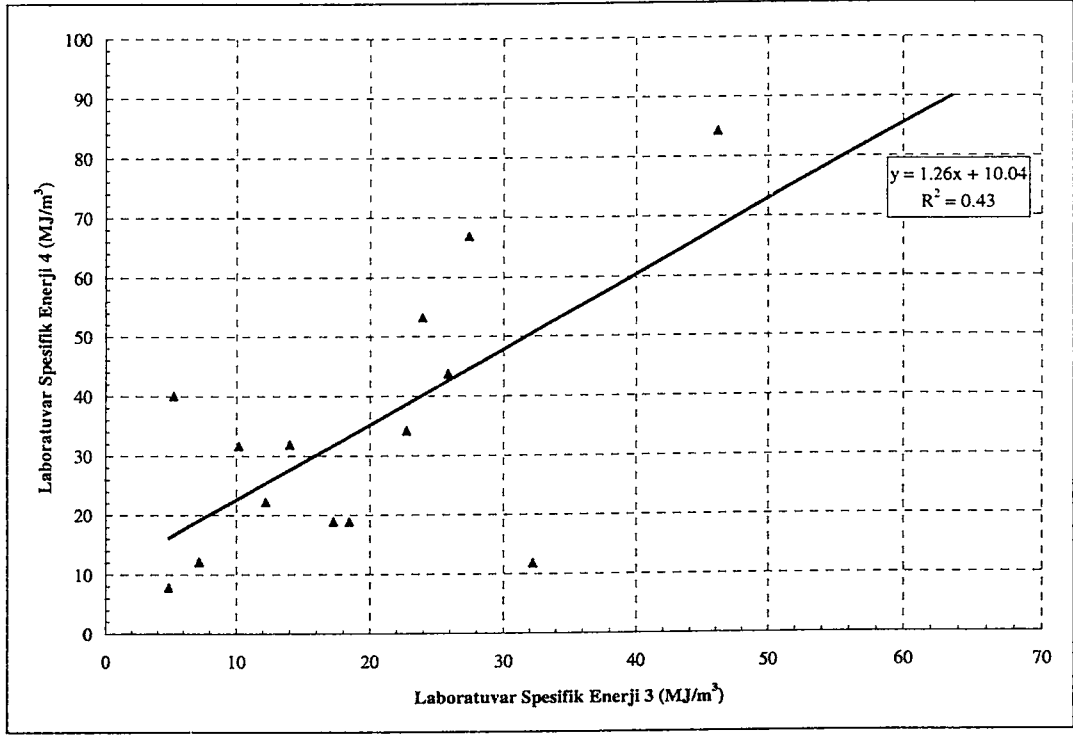
Şekil D.56 d = 9 mm’de yapılan, SE4 laboratuvar spesifik enerji değeri ile V_{s2} dalga hızı arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



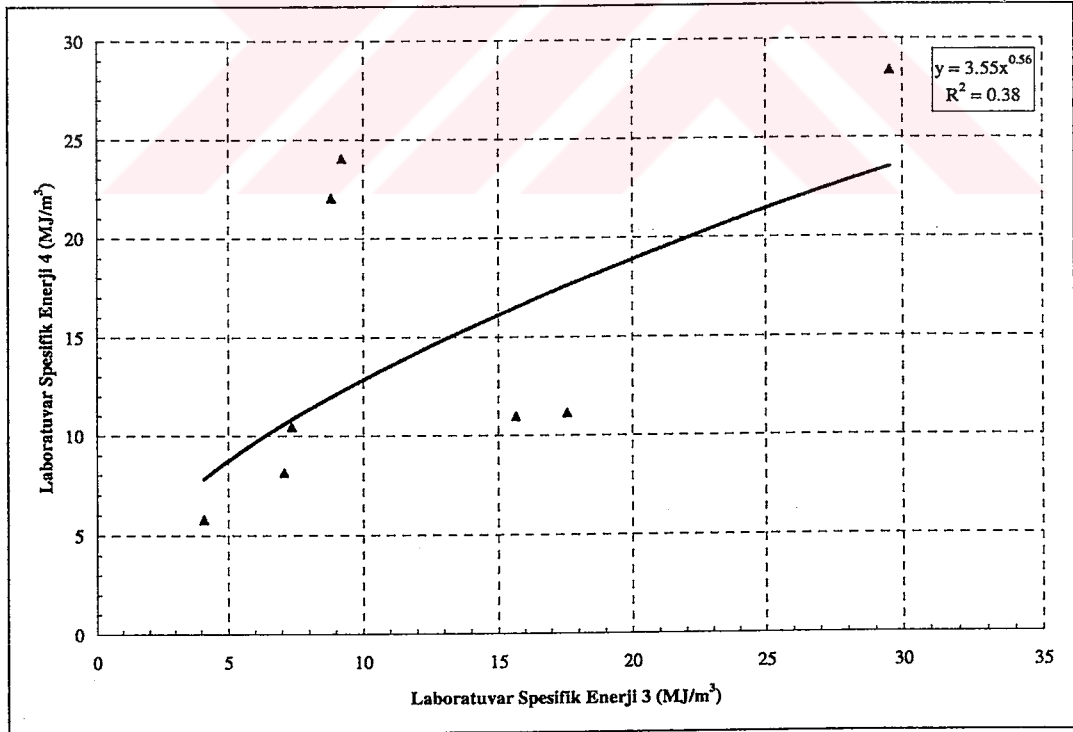
Şekil D.57 d = 5 mm'de yapılan, SE2 ile SE3 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



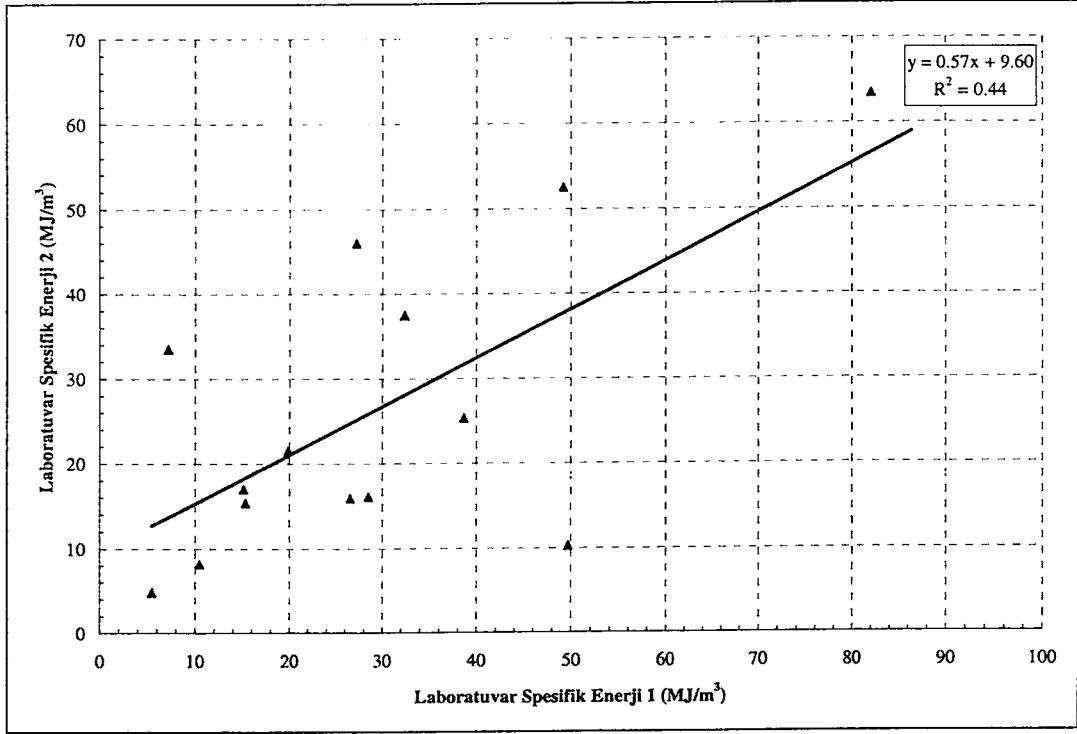
Şekil D.58 d = 9 mm'de yapılan, SE2 ile SE3 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



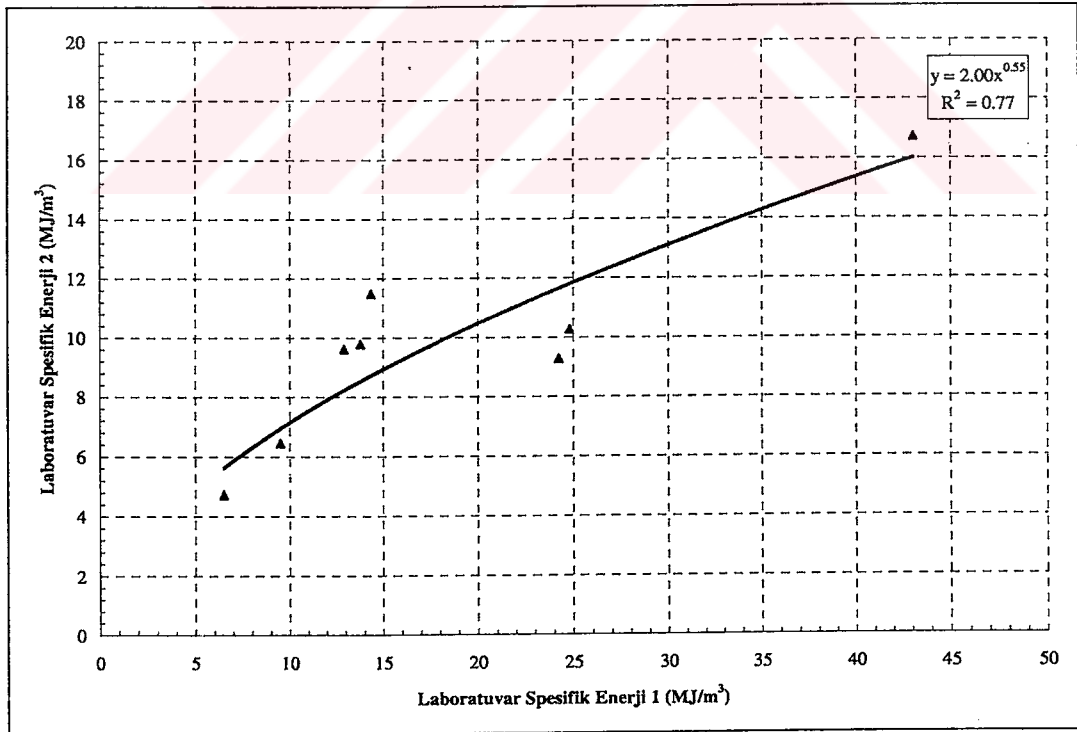
Şekil D.59 d = 5 mm’de yapılan, SE3 ile SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



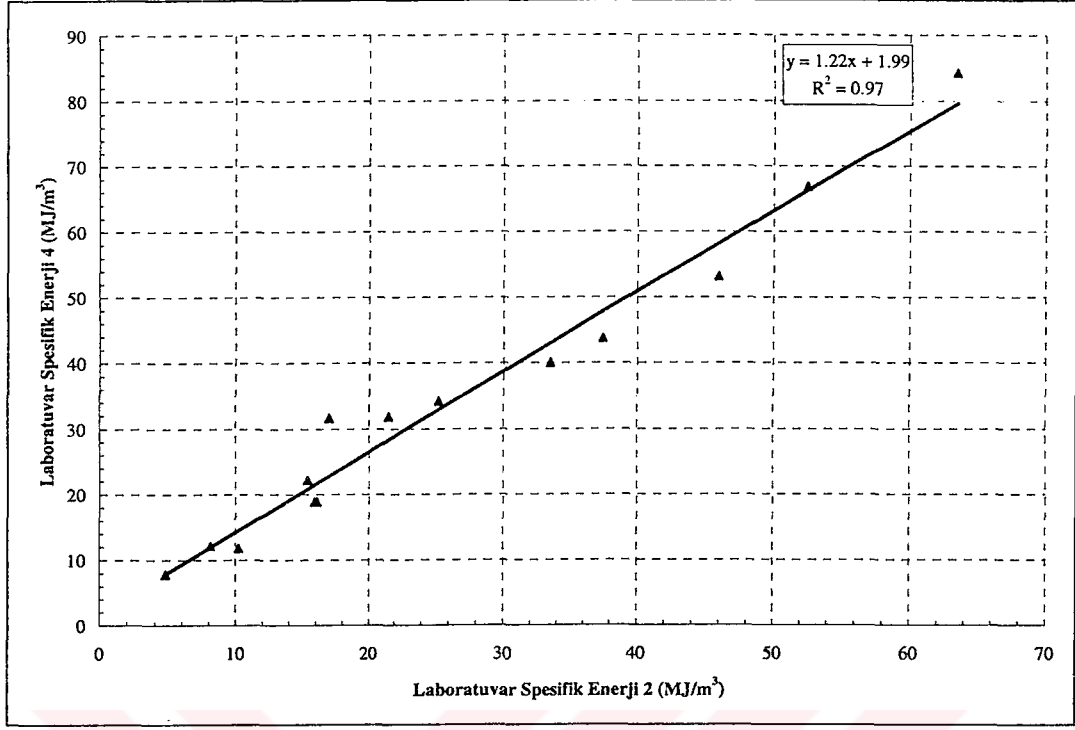
Şekil D.60 d = 9 mm’de yapılan, SE3 ile SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



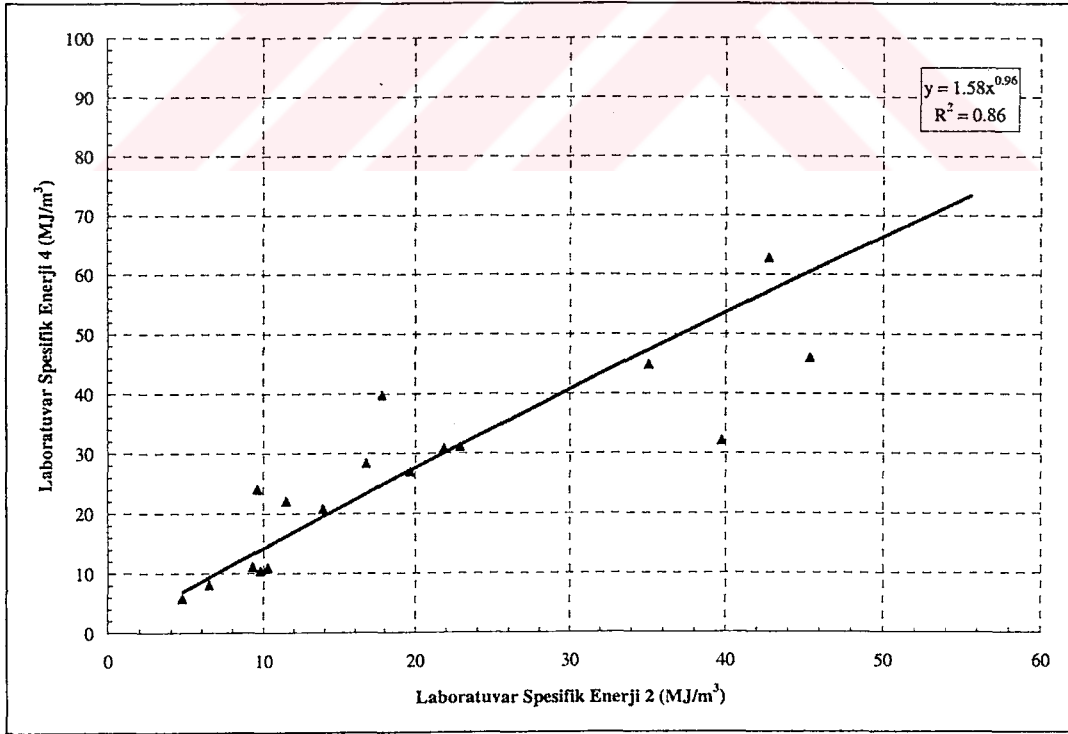
Şekil D.61 d = 5 mm'de yapılan, SE1 ile SE2 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



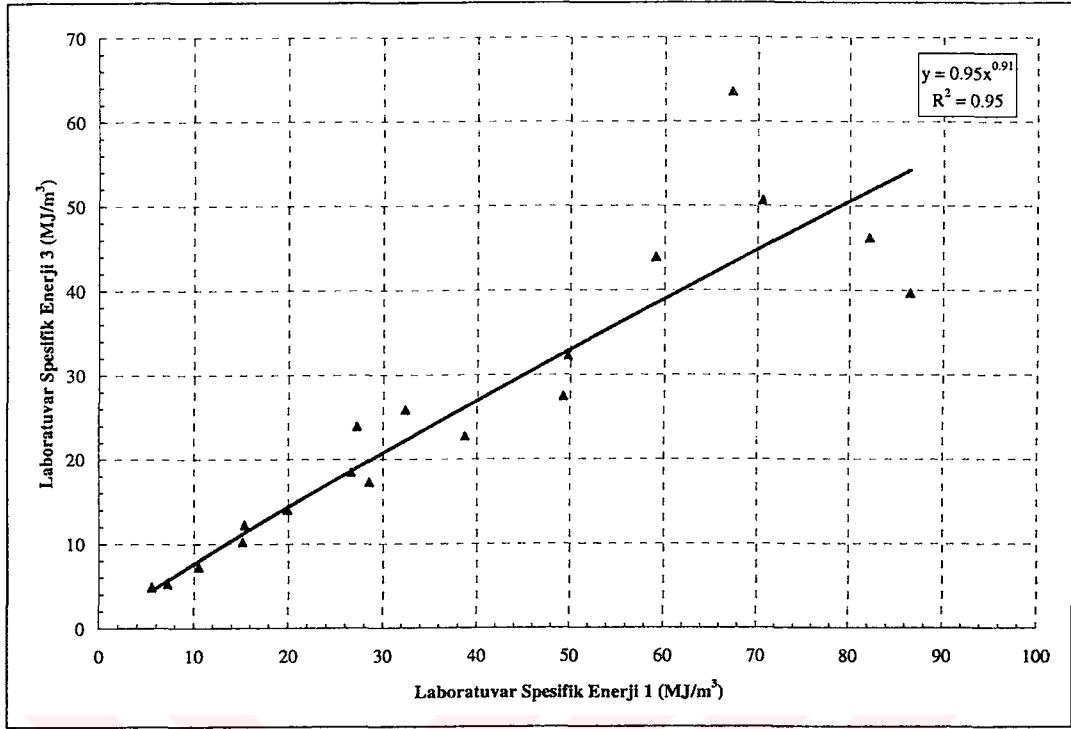
Şekil D.62 d = 9 mm'de yapılan, SE1 ile SE2 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



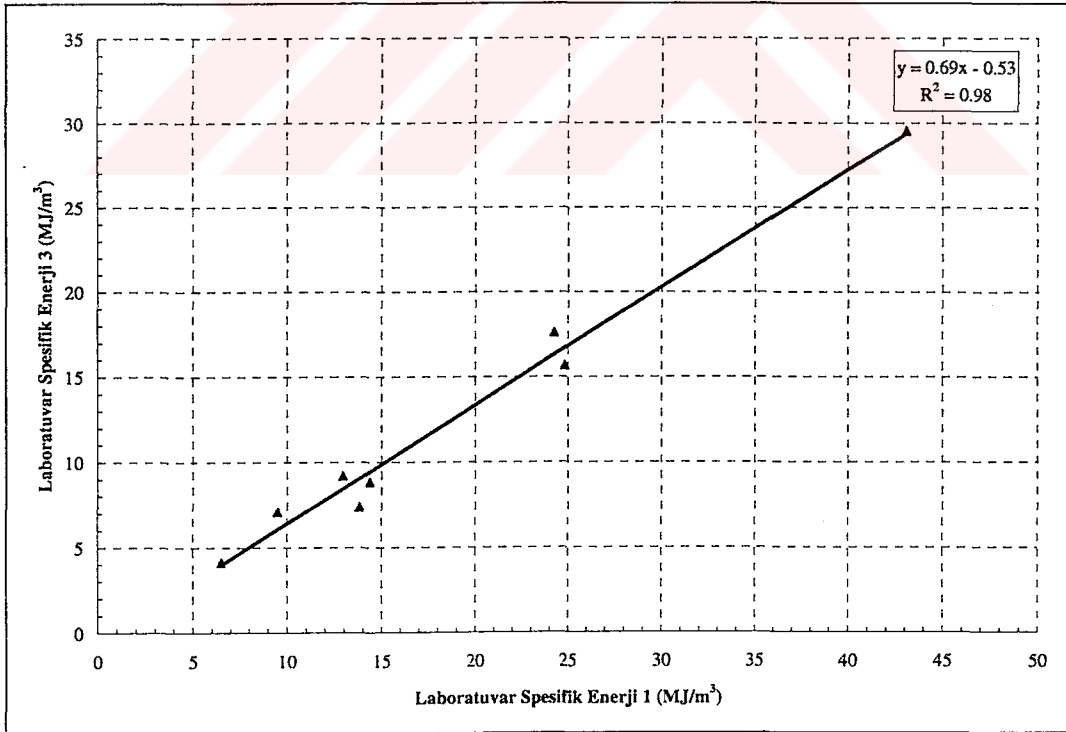
Şekil D.63 d = 5 mm’de yapılan, SE2 ile SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



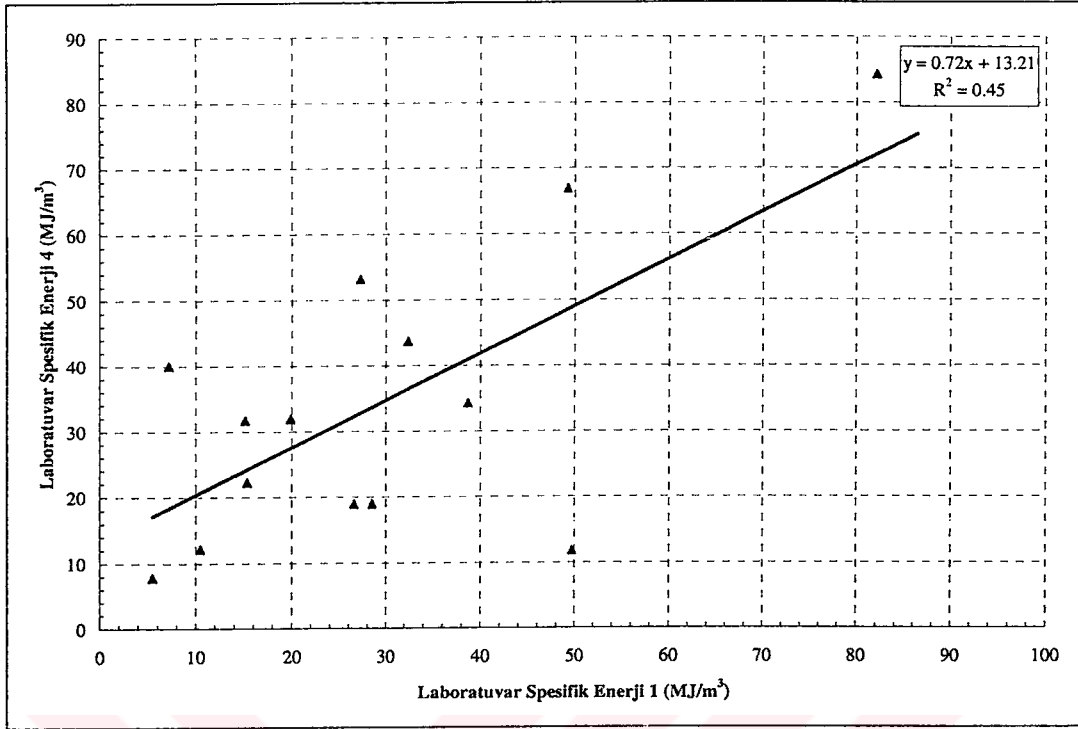
Şekil D.64 d = 5 mm’de yapılan, SE2 ile SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



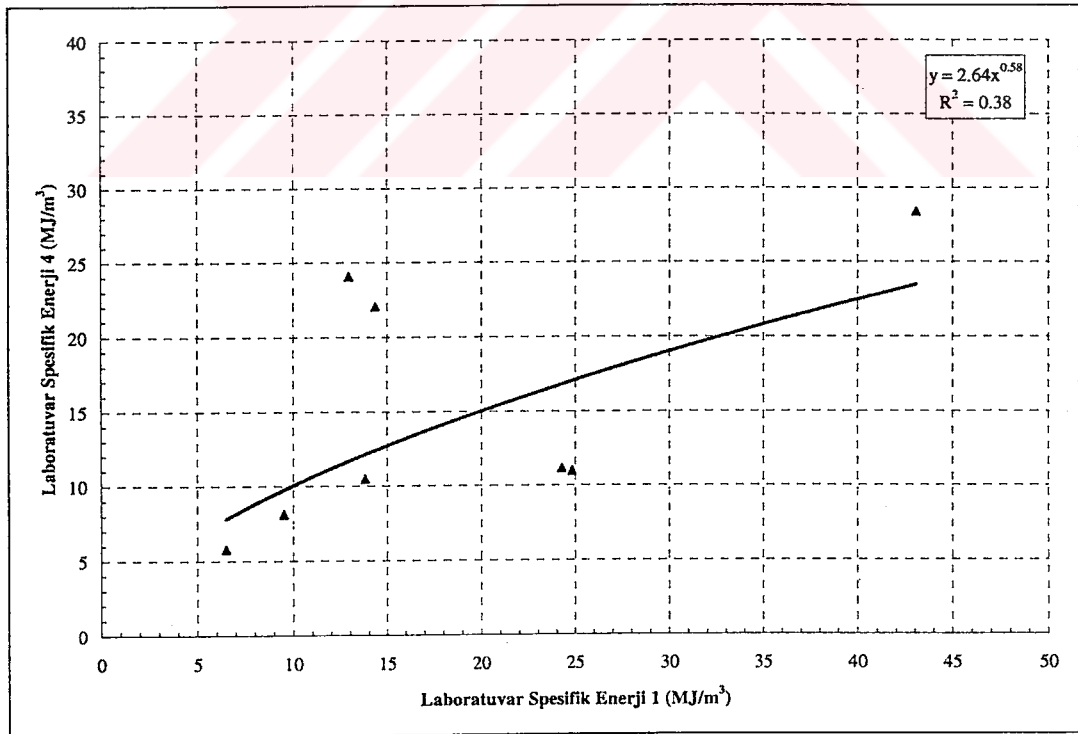
Şekil D.65 d = 5 mm’de yapılan, SE1 ile SE3 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



Şekil D.66 d = 9 mm’de yapılan, SE1 ile SE3 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



Şekil D.67 d = 5 mm’de yapılan, SE1 ile SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi



Şekil D.68 d = 9 mm’de yapılan, SE1 ile SE4 laboratuvar spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin basit regresyon analizi

EK E: Çok Katlı Doğrusal Regresyon Analizinden Elde Edilen Toplu İstatistik
Sonuçları

Tablo E.1 d = 5mm'de yapılan SE2 laboratuvar spesifik enerji ile SE1 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından testi için gerekli değerler

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.998			
R ²	0.997			
Ayarlanmış R ²	0.483			
Standart Hata	2.420			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	10	62.750	4.1	
Kalan	2			
Toplam	12			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	0.000	#YOK	#YOK	2.92
X Değişken 1	0.150	0.0214	6.9828	
X Değişken 2	-0.544	0.1449	-3.7566	
X Değişken 3	-0.004	0.0006	-6.3829	
X Değişken 4	0.001	0.0002	3.1491	
X Değişken 5	-18.624	5.8264	-3.1965	
X Değişken 6	10.911	6.8259	1.5985	
X Değişken 7	3.581	3.4550	1.0366	
X Değişken 8	0.482	0.2167	2.2254	
X Değişken 9	0.069	0.1915	0.3581	
X Değişken 10	-0.285	0.2825	-1.0090	

Tablo E.2 d = 5mm'de yapılan SE2 laboratuvar spesifik enerji ile SE1 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından yararlı olmayan değişkenlerin atıldıktan sonraki regresyon değerleri

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9771			
R ²	0.9547			
Ayarlanmış R ²	0.9377			
Standart Hata	4.5680			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	3	56.209	4.07	
Kalan	8			
Toplam	11			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	4.902	2.4705	1.9843	1.860
X Değişken 1	0.119	0.0158	7.5456	
X Değişken 2	-0.003	0.0007	-4.0070	
X Değişken 3	-0.374	0.1678	-2.2297	

Tablo E.3 d = 5mm'de yapılan SE2 laboratuvar spesifik enerji ile SE3 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından testi için gerekli değerler

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9976			
R ²	0.9953			
Ayarlanmış R ²	0.4741			
Standart Hata	2.9438			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	10	42.329	3.89	
Kalan	2			
Toplam	12			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	0	#YOK	#YOK	2.92
X Değişken 1	0.130	0.0329	3.9435	
X Değişken 2	-0.572	0.1794	-3.1869	
X Değişken 3	-0.004	0.0008	-5.2617	
X Değişken 4	0.001	0.0005	2.0080	
X Değişken 5	-25.975	16.5301	-1.5713	
X Değişken 6	19.708	18.2539	1.0797	
X Değişken 7	3.041	4.3433	0.7002	
X Değişken 8	0.506	0.3020	1.6749	
X Değişken 9	-0.092	0.3807	-0.2428	
X Değişken 10	0.218	1.1029	0.1973	

Tablo E.4 d = 5mm'de yapılan SE2 laboratuvar spesifik enerji ile SE3 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından yararlı olmayan değişkenlerin atıldıktan sonraki regresyon değerleri

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9764			
R ²	0.9533			
Ayarlanmış R ²	0.9357			
Standart Hata	4.6398			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	3	54.401	4.07	
Kalan	8			
Toplam	11			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	6.357	2.7621	2.3013	1.86
X Değişken 1	0.125	0.0185	6.7477	
X Değişken 2	-0.003	0.0007	-4.2592	
X Değişken 3	-0.704	0.3291	-2.1385	

Tablo E.5 d = 5mm'de yapılan SE4 laboratuvar spesifik enerji ile SE1 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından testi için gerekli değerler

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.99809			
R ²	0.99619			
Ayarlanmış R ²	0.47906			
Standart Hata	3.27311			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	10	52.328	4.1	
Kalan	2			
Toplam	12			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	0.000	#YOK	#YOK	2.92
X Değişken 1	0.173	0.0290	5.9630	
X Değişken 2	-0.855	0.1960	-4.3613	
X Değişken 3	-0.005	0.0009	-5.6322	
X Değişken 4	0.001	0.0003	3.7020	
X Değişken 5	-33.224	7.8815	-4.2155	
X Değişken 6	23.919	9.2335	2.5905	
X Değişken 7	2.929	4.6737	0.6268	
X Değişken 8	1.506	0.2931	5.1381	
X Değişken 9	-0.496	0.2591	-1.9139	
X Değişken 10	-0.087	0.3822	-0.2267	

Tablo E.6 d = 5mm'de yapılan SE4 laboratuvar spesifik enerji ile SE1 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından yararlı olmayan değişkenlerin atıldıktan sonraki regresyon değerleri

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9622			
R ²	0.9258			
Ayarlanmış R ²	0.8979			
Standart Hata	7.2268			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	3	33.250	4.07	
Kalan	8			
Toplam	11			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	-9.363	8.9342	-1.0480	1.860
X Değişken 1	0.093	0.0194	4.7838	
X Değişken 2	0.793	0.3054	2.5980	
X Değişken 3	-0.630	0.3029	-2.0817	

Tablo E.7 d = 5mm'de yapılan SE4 laboratuvar spesifik enerji ile SE3 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından testi için gerekli değerler

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9987			
R ²	0.9974			
Ayarlanmış R ²	0.4854			
Standart Hata	2.7288			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	10	75.376	4.1	
Kalan	2			
Toplam	12			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	0.000	#YOK	#YOK	2.92
X Değişken 1	0.144	0.0305	4.7338	
X Değişken 2	-0.898	0.1663	-5.3973	
X Değişken 3	-0.005	0.0007	-6.8675	
X Değişken 4	0.002	0.0004	3.5458	
X Değişken 5	-48.782	15.3225	-3.1837	
X Değişken 6	41.356	16.9204	2.4441	
X Değişken 7	1.789	4.0260	0.4444	
X Değişken 8	1.638	0.2799	5.8502	
X Değişken 9	-0.818	0.3529	-2.3167	
X Değişken 10	0.997	1.0223	0.9754	

Tablo E.8 d = 5mm'de yapılan SE4 laboratuvar spesifik enerji ile SE3 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından yararlı olmayan değişkenlerin atıldıktan sonraki regresyon değerleri

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9596			
R ²	0.9208			
Ayarlanmış R ²	0.8911			
Standart Hata	7.4656			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	3	30.898	4.07	
Kalan	8			
Toplam	11			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	-6.540	8.8757	-0.7369	1.860
X Değişken 1	0.091	0.0204	4.4754	
X Değişken 2	0.800	0.3224	2.4798	
X Değişken 3	-1.107	0.5869	-1.8860	

EK F: Çok Katlı Doğrusal Olmayan Regresyon Analizinden Elde Edilen Toplu
İstatistik Sonuçları

Tablo F.1 d = 5mm'de yapılan SE2 laboratuvar spesifik enerji ile SE1 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından testi için gerekli değerler

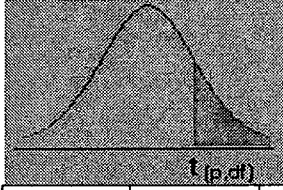
<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9725			
R ²	0.9458			
Ayarlanmış R ²	0.9255			
Standart Hata	0.0908			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	3	46.539	4.07	
Kalan	8			
Toplam	11			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	-1.597	0.3556	-4.4923	1.860
X Değişken 1	0.845	0.1362	6.2052	
X Değişken 2	0.891	0.3346	2.6618	
X Değişken 3	-0.371	0.1682	-2.2071	

Tablo F.2 d = 5mm'de yapılan SE2 laboratuvar spesifik enerji ile SE3 laboratuvar spesifik enerji arasındaki ilişkinin istatistik anlamlılık açısından testi için gerekli değerler

<i>Regresyon Analizi</i>				
Çok katlı R	0.9813			
R ²	0.9629			
Ayarlanmış R ²	0.9490			
Standart Hata	0.0752			
Gözlenen Değerler	12			
	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Gözlenen F Değeri</i>	<i>Kritik F değeri (0.05)</i>	
Regresyon	3	69.229	4.07	
Kalan	8			
Toplam	11			
	<i>Eğim Katsayıları</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>Gözlenen t Değeri</i>	<i>Kritik t Değeri (0.05)</i>
Sabit	-0.946	0.2290	-4.1303	1.860
X Değişken 1	0.815	0.2480	3.2873	
X Değişken 2	0.398	0.1368	2.9089	
X Değişken 3	0.668	0.2345	2.8469	

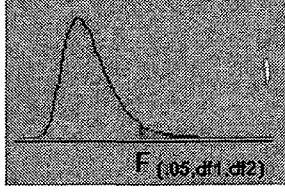
EK G: Regresyon Analizde Kullanılan T ve F Testi Kritik Değerleri

Tablo G.1 Tek sağ uçlu T testi için kritik değerleri tablosu



dfp	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.141
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
inf	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Tablo G.2 F testi sağı dayanımlı, alfa değeri 0.05 için kritik değerleri tablosu



df2/df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	INF
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	254.31
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	1.73
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.25
inf	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.00

ÖZGEÇMİŞ

Cemal BALCI 1970 yılında Sivas Divriği’de doğdu. İlk ve orta dereceli öğrenimini Divriği’de tamamladıktan sonra, 1989 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümünden 1993 yılında mezun oldu. 1996 yılında, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi programını tamamlayarak maden yüksek mühendisi ünvanını aldı ve arkasından aynı bölümde doktora çalışmalarına başladı. Mart 2000 döneminde, İ.T.Ü. Rektörlüğü araştırma görevlilerinin uzun süreli yurtdışı araştırma etkinliklerine katılımını destekleme programından burs kazanarak, Amerika Colorado School of Mines, kazı mühendisliği ve yerbilimleri enstitüsünde (EMI) araştırmacı olarak 3.5 yıl çalıştı. Halen İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden mekanizasyonu ve teknolojisi anabiliminde çalışmaktadır.

