

**BASAMAK PATLATMALARI İÇİN TASARIM
NOMOGRAMLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF DESIGN NOMOGRAMS FOR
BENCH BLASTING**

OKHTAY JAMNIA

DOÇ. DR. MEHMET ALİ HİNDİSTAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2015

OKHTAY JAMNIA'nın hazırladığı “**Basamak Patlatmaları İçin Tasarım Nomogramlarının Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hakan BAŞARIR

Başkan

.....

Doç. Dr. Mehmet. Ali HİNDİSTAN

Danışman

.....

Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER

Üye

.....

Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK

Üye

.....

Doç. Dr. G. Gülsev UYAR

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28/04/2015

OKHTAY JAMNİA

ÖZET

BASAMAK PATLATMALARI İÇİN TASARIM NOMOGRAMLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Okhtay JAMNİA

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN

Nisan 2015, 112 sayfa

Yerüstü madencilik faaliyetlerinde gerek örtü malzemesinin gerekse de cevherin kaldırılması için uygulanan en yaygın yöntem mekanik kazıdır. Bu malzemelerin iş makinaları ile doğrudan kazılması nadiren mümkün olmakla birlikte genellikle kazı öncesi patlatma yapılması gerekmektedir. Patlatma işleminin ana amacı, kaya kütlelerinden nakli planlanan malzemenin uygun parçalanma ile ayrılmasını sağlamaktır. Bu sayede iş makinaları ile kazılması ve taşınması mümkün olmayan büyük kaya kütleleri patlatma uygulaması ile kazılabilir ve taşınabilir koşullara getirilmektedir. Dolayısıyla yerüstü madencilik faaliyetlerinde uygulanan basamak patlatmalarında en önemli amaç uygun özellikte kazı malzemesinin sağlanmasıdır. Bu sayede kazı ve nakliye maliyetlerinin optimizasyonu mümkün olmakla birlikte cevherin zenginleştirilmesi aşamasında gerekli boyut küçültme (öğütme) işlemleri açısından da ekonomiklik sağladığı muhakkaktır.

Bu tez çalışmasında JKSimBlast yazılımı yardımıyla, farklı özelliklere sahip kaya kütleleri için patlatma sonuçları değerlendirilerek birincil patlatma tasarımlarında kullanılacak grafikler çizilmiştir. Genel olarak patlatma tasarımları iki detaya; elde edilmek istenen parça boyutuna ve patlatma maliyetine göre yapılır. Bu anlamda istenilen sonuçlara en uygun bir patlatma tasarımının yapılması deneme yanılma yöntemi ile mümkündür. Şöyle

ki; başlangıçta kaya özelliklerine göre teorik çalışma ile bir tasarım yapılır ve uygulanır. Uygulamadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile tasarımda gerekli düzeltmeler yapılır ve bu şekilde amaca en uygun tasarım parametreleri elde edilir. İlk tasarımdan son tasarıma kadar olan süreç ne kadar uzarsa, para ve zaman kaybı o kadar fazla olur. Bu süreci kısa tutmak ilk patlatma tasarımının çok dikkatli yapılması ile mümkündür. Bu çalışmada, tasarımcıya yardımcı olmak amacıyla, ilk tasarımında kullanabileceği grafiklerin çizilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için kullanılan bir yazılımda farklı ortam şartları tanımlanarak çok sayıda patlatma denemeleri yapılmıştır. Bu farklı ortamlar patlatma sonucuna etki eden en önemli değişkenlere farklı değerler atanması ile yapılmıştır. Bu çalışmada; kaya türü, süreksizlik şekli, delik çapı ve yük mesafesi önemli değişkenler olarak dikkate alınmıştır. Farklı kaya ortamlarını tanımlayan kombinasyonlar oluşturmak amacıyla 4 farklı kaya türü, 6 farklı süreksizlik tanımı, 4 farklı delik çapı ve en az 3 farklı yük mesafesi kullanılmıştır. Bunların her birine farklı değerler verilerek, farklı patlatma tasarımları yapılmıştır. Farklı kombinasyonların her biri için elde edilen sonuçlar kullanılarak, basamak patlatma tasarımına yardımcı olabilecek nomogramlar geliştirilmiştir. Yapılan tüm patlatma denemeleri sonucunda özgül şarjın 0,2 ile 1,6 kgANFO/m³ arasında değiştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Basamak patlatması, parça boyut dağılımı, şarj yoğunluğu, tasarım nomogramı

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF DESIGN NOMOGRAMS FOR BENCH BLASTING

Okhtay JAMNIA

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali HINDİSTAN

April 2015, 112 pages

Mechanical excavation is the most widely used method to remove both overburden material and ore at surface mining activities. In spite of the direct excavation of these materials by heavy duty machines is rarely possible, blasting before excavation is commonly applied. The main purpose of blasting process is to disperse the planned amount of suitably fragmented material from the rock mass to haulage. Thus the huge rock masses which are not possible to dig and transport by duty machines are suited to diggable and transportable conditions by blasting application. Therefore the most important aim of bench blasting applications at surface mining is to provide suitable material for digging. There is no doubt that a good fragmentation provides the economy in size reduction (milling) during mineral beneficiation process as well as the possibility to optimize digging and transporting costs.

In this thesis study, design nomograms can be used in the primary blasting designs are developed by the help of JKSimBlast software. In general, blasting operations aim two major outcomes; to obtain desired fragmentation and blasting cost. To obtain the most suitable blasting design for the results is only possible by trial and error method. Such that a blasting round design is primarily done by theoretical study and it is applied in practice.

Then the results of this first application are evaluated and necessary adjustments are done in design parameters. This process is repeated until the most suitable design parameters are obtained for optimum fragmentation. The consumption of money and time increases as the period of trial and error lengthens out. This period of time can be decreased by studying the first trial very carefully. In this study, it is aimed to develop some charts which may be useful for the designer to do the initial design work. Numerous blasting trials are conducted for different rock mass conditions which are defined by using an appropriate software. The different conditions are defined by changing the values of the parameters which are selected as the most effective on the results. In this study, rock type, discontinuity condition, hole diameter and burden are effective parameters taken into consideration. Four different rock types, six different discontinuity conditions, four different hole diameters and minimum three different burdens are used to define different rock mass conditions. Numerous different blasting cases are generated by changing the value of one parameter at each run. Thus the charts which might be useful for bench blasting designs are obtained by using the data obtained from these blasting trials. From the results of all runs conducted, it is found that the specific charge changes between 0.2 and 1.6 kg.ANFO/m³ of rock.

Key words : Bench blasting, particle size distribution, specific charge, design nomogram

TEŞEKKÜR

Tez alıőmasının her aşamasında değerli katkı ve eleőtirileriyle yol gosteren, sonsuz sabrıyla beni her zaman alıőmaya teővik eden ve guven veren danıőmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN'a, değerli tecrübeleri ile bana her türlü desteği veren Sayın Doç. Dr. G. Gülsev UYAR'a, önemli yorum ve değerlendirmeleri ile katkıda bulunan jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER'e, Sayın Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK'e, Sayın Doç. Dr. Hakan BAŞARIR'a içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER	viii
ŞEKİLLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışma Yöntemi	2
1.3. Çalışmanın İçeriği	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Patlatma Hakkında Genel Bilgiler	4
2.1.1. Patlatma İle Parçalanma Mekanizması	4
2.1.2. Kaya Birimlerinin Özellikleri	7
2.1.3. Patlayıcı Madde Özellikleri	8
2.1.4. Patlayıcı Madde Cinsleri	12
2.1.5. Ateşleme Yöntemleri	17
2.1.6. Patlatma Geometrisi	20
2.1.7. Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımı Tahmin Modelleri	29
2.1.8. Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi	36
2.1.9. Patlatma Uygulamalarında Kullanılan Bazı Yazılımlar	38
2.2. Önceki Çalışmalar	39
3. YÖNTEM	46
3.1. Test Çalışması	46
3.1.1. Beyyazı ve Emirdağ Çalışma Sahalarının Özellikleri	46
3.1.2. JKSimBlast Yazılımı	47
3.1.3. Saha Çalışmalarının Uygulanması	52
3.2. Çalışmada Kullanılan Değişkenler	62
3.2.1. Kaya Türü	63
3.2.2. Kaya İçindeki Süreksizlikler	63

3.2.3. Kaya Katsayısı	65
3.2.4. Patlayıcı Seçimi.....	65
3.2.5. Basamak Yüksekliği	66
3.2.6. Delik Çapı	66
3.2.7. Yük Mesafesi	66
4. PROGRAM ÇIKTILARI VE NOMOGRAMLARIN ÇİZİLMESİ.....	70
4.1. Program Çıktıları	70
4.2. Nomogramların Oluşturulması	73
4.3. Nomogramların Kullanım Şekli	98
4.4. Nomogramlar İçin Örnek Uygulama	100
4.5. Değerlendirme	103
4.6. Farklı Basamak Yükseklikleri İçin Şarj Yoğunluğu Değerleri.....	105
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ	112

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bazı patlayıcıların detonasyon hızı ve basıncı.....	4
Çizelge 2.2. Detonasyon hızının delik çapına göre değişimi.....	9
Çizelge 2.3. Bazı patlayıcıların detonasyon basıncı değerleri.....	10
Çizelge 2.4. Bazı patlayıcıların suya dayanıklılığı.....	11
Çizelge 2.5. Bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları.....	11
Çizelge 2.6. Başlıca ateşleyici patlayıcılar.....	12
Çizelge 2.7. ANFO'nun özellikleri.....	14
Çizelge 2.8. ANFO'nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı.....	15
Çizelge 2.9. 30° F sıcaklıkta ve 3 inç çapta slurry içeriği.....	16
Çizelge 2.10. Yük mesafesi için farklı araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	22
Çizelge 2.11. Delikler arası mesafe için farklı araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	23
Çizelge 2.12. Delik çapı için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	24
Çizelge 2.13. Delik taban payı için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	25
Çizelge 2.14. Sıkılama boyu için farklı araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	25
Çizelge 2.15. Dip şarj uzunluğu için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	27
Çizelge 2.16. Kolon şarjı uzunluğu için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	27
Çizelge 2.17. Kolon şarjı konsantrasyonu için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	27
Çizelge 2.18. Delikler arası gecikme için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	28
Çizelge 2.19. Sıralar arası gecikme için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	28
Çizelge 2.20. Delik hata payı için araştırmacılarca önerilen eşitlikler.....	28
Çizelge 2.21. Kaya katsayısının belirlenmesinde kullanılan değişkenler.....	30
Çizelge 3.1. Örnek saha çalışmalarının verileri.....	52
Çizelge 3.2. Ocaktan ve yazılımdan elde edilen ortalama parça boyutu değerleri.....	62
Çizelge 3.3. ISRM kaya sınıflandırmasına göre kaya türü seçimi.....	63
Çizelge 3.4. Çalışma için seçilen kaya türleri ve özellikleri.....	63
Çizelge 3.5. Kaya türü ve süreksizlik durumuna göre, kaya katsayısı değerleri.....	65
Çizelge 3.6. Kullanılan patlayıcı türleri ve özellikleri.....	65
Çizelge 3.7. Patlayıcı ve kaya türüne göre K_B değeri.....	67
Çizelge 3.8. Çalışmada kullanılan yük mesafesi değerleri.....	68
Çizelge 3.9. Farklı yük mesafesi değerleri için delikler arası mesafe, sıkılama boyu ve delik taban payı değerleri.....	69

Çizelge 4.1. Programdan elde edilen şarj yoğunluğu değerleri.....	70
Çizelge 4.2. 1 m süreksizlik aralığı için P80 parça boyut değerleri.....	71
Çizelge 4.3. 3 m süreksizlik aralığı için P80 parça boyut değerleri.....	72
Çizelge 4.4. Kırmataş işletmesine ait patlatma değişkenleri.....	100
Çizelge 4.5. 152 mm delik çapı ve 5 m yük mesafesinde elde edilen değerler.....	103
Çizelge 4.6. Zayıf ve orta kayada farklı basamak yüksekliklerinde şarj yoğunluğu değerleri	105
Çizelge 4.7. Sağlam kayada farklı basamak yüksekliklerinde şarj yoğunluğu değerleri...	105
Çizelge 4.8. Çok sağlam kayada farklı basamak yüksekliklerinde şarj yoğunluğu değerleri	105

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Detonasyonun ardından dalgaların yayılması	5
Şekil 2.2. Gaz basıncı ile çatlakların gelişimi	6
Şekil 2.3. Değişik koşullarda kütle taşınmaları	6
Şekil 2.4. Basamak patlatması tasarım parametreleri.....	21
Şekil 2.5. Basamak aynasında en yüksek gerilim alanı.....	24
Şekil 2.6. Patlatma deliği ve çevresi ateşleme sonrası şematik görüntüsü	32
Şekil 3.1. 2DBench File menüsü	48
Şekil 3.2. 2DBench Edit menüsü.....	48
Şekil 3.3. 2DBench View menüsü.....	49
Şekil 3.4. 2DBench selection menüsü.	49
Şekil 3.5. 2DBench Tools menüsü	50
Şekil 3.6. 2DBench Analysis menüsü	50
Şekil 3.7. 2DBench Mode menüsü	51
Şekil 3.8. 2DBench Help menüsü.....	51
Şekil 3.9. Delik parametrelerinin girildiği ekran.....	53
Şekil 3.10. Doldurulan patlayıcının türü ve oranının girildiği ekran.....	53
Şekil 3.11. Delik içi gecikmeler ve ateşleyicilerin girildiği ekran	54
Şekil 3.12. Yüzey gecikmeleri ve bağlantı elemanlarının girildiği ekran	54
Şekil 3.13. Simülasyon özelliklerinin girildiği ekran.....	55
Şekil 3.14. Deliklerin yerleştirilmesi.....	55
Şekil 3.15. Deliklerin patlatma görüntüsü	56
Şekil 3.16. Yük mesafesi ve delikler arası mesafenin girildiği ekran	56
Şekil 3.17. Kayaç özelliklerinin girildiği ekran.....	57
Şekil 3.18. Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi	57
Şekil 3.19. JKMRC modeli ile parça boyut dağılımı eğrisi	58
Şekil 3.20. Birinci patlatma simülasyonu.....	58
Şekil 3.21. Birinci patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi	58
Şekil 3.22. Birinci patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyut dağılımı eğrisi.....	59
Şekil 3.23. İkinci patlatma simülasyonu.....	59
Şekil 3.24. İkinci patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi	59
Şekil 3.25. İkinci patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyutu dağılımı eğrisi	60

Şekil 3.26. Üçüncü patlatma simülasyonu	60
Şekil 3.27. Üçüncü patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi	60
Şekil 3.28. Üçüncü patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyutu dağılımı eğrisi	61
Şekil 3.29. Dördüncü patlatma simülasyonu	61
Şekil 3.30. Dördüncü patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi.....	61
Şekil 3.31. Dördüncü patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyutu dağılımı eğrisi.....	62
Şekil 3.32. Basamak aynasına dik süreksizlikler.....	64
Şekil 3.33. Basamak aynasına paralel süreksizlikler.....	64
Şekil 3.34. Basamak aynasına dik ve paralel süreksizlikler.....	64
Şekil 3.35. Delik düzeni ve gecikme aralıkları.....	69
Şekil 4.1. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı	74
Şekil 4.2. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı	75
Şekil 4.3. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı	76
Şekil 4.4. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı	77
Şekil 4.5. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı	78
Şekil 4.6. 3 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı	79
Şekil 4.7. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı.....	80
Şekil 4.8. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı	81
Şekil 4.9. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı.....	82
Şekil 4.10. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı	83
Şekil 4.11. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı	84
Şekil 4.12. 3 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı	85
Şekil 4.13. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı.....	86
Şekil 4.14. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı .	87
Şekil 4.15. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı.....	88
Şekil 4.16. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı .	89
Şekil 4.17. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı.....	90
Şekil 4.18. 3 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı.....	91

Şekil 4.19. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı	92
Şekil 4.20. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı.....	93
Şekil 4.21. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı	94
Şekil 4.22. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı.....	95
Şekil 4.23. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı.....	96
Şekil 4.24. 3 m aralıkta, dik ve paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı.....	97
Şekil 4.25. Parça boyutu ve şarj yoğunluğuna göre, patlama detaylarının belirlenmesi.....	99
Şekil 4.26. Kırmataş ocağında, P80 parça boyutuna göre patlatma detaylarının belirlenmesi	102

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B	: Yük mesafesi (m)
B_{max}	: En yüksek yük mesafesi (m)
S	: Delikler arası mesafe (m)
D	: Delik çapı (mm)
D_e	: Şarj çapı (in)
H	: Basamak yüksekliği (m)
L	: Delik uzunluğu (m)
L_c	: Şarj uzunluğu (m)
Q	: Her patlatma deliğinde kullanılan patlayıcı miktarı (Kg)
q	: Şarj yoğunluğu (kg/m^3)
W	: Delme işlemindeki standart sapma (m)
E	: Patlayıcın maddenin göreceli ağırlık kuvveti (%ANFO)
A, C, Co	: Kaya katsayısı
Ş	: Patlayabilirlik sabiti
T	: Sıkılama boyu (m)
U	: Delik taban payı (m)
R	: Elek üzerinde kalan malzeme (%)
X	: Elek açıklığı (cm)
X_c	: Karakteristik boyut (cm)
X_{50}	: Ortalama tane boyutu (cm)
n	: Üniformluk katsayısı
K_B	: Kaya türü ve patlayıcı madde özelliklerine bağlı bir sabit
P_{50}	: Yığındaki malzemenin %50'sinin geçtiği boyut (m)
P_{80}	: Yığındaki malzemenin %80'inin geçtiği boyut (m)
P	: Patlatıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu (kg/dm^3)
f	: Delik açısına bağlı bir katsayı
SG_e	: Patlayıcı maddenin özgül ağırlığı (gr/cm^3)
SG_r	: Kayanın özgül ağırlığı (gr/cm^3)
P_d	: Detonasyon basıncı (kbar)
V_e	: Patlayıcı maddenin detonasyon hızı (ft/sec)

BCL	: Dip şarj uzunluğu (m)
CCL	: Kolon şarj uzunluğu (m)
I_{kol}	: Kolon şarj konsantrasyonu (kg/m)
Q_{kol}	: Kolon şarj miktarı (kg)
I	: Özgül delik boyu (m/m^3)

Kısaltmalar

PPV	: Peak Particle Velocity
JKBMS	: Blast Management System
JKSimBlast	: Julius Kruttschnitt Simulation of Blast
JKMRC	: Julius Kruttschnitt Mineral Research Center
TCM	: Two Component Model
CZM	: Crushed Zone Model
UCS	: Uniaxial Compressive Strength
Kuz-Ram	: Kuznetsov, Rosin ve Rammler
SweBReC	: Swedish Blasting Research Centre
KCO	: Kuzntsov, Cunningham, Ouchterlony
SVEDEFO	: Swedish Detonic Research Foundation
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
ANFO	: Amonyum Nitrat Fuel Oil
PETN	: Penta Erythrol Tetra Nitrate
RDX	: Royal Demolition Explosive
HMX	: Siklo Tetrametilen Tetranitramine
TNT	: Tri Nitro Toluen
NONEL	: Non- Electric
DelPat	: Delme Patlatma
Blaspa	: Blasting Patterns
P80	: Yığındaki malzemenin %80'inin geçtiği boyut (m)

1. GİRİŞ

Isı, darbe veya sürtünme sonucu, çevreden herhangi bir elemanın kimyasal katkısı olmadan, çok hızlı bir şekilde etkileşime giren, genelde gaz ürünler veren organik ve ya inorganik bileşimlere patlayıcı maddeler, kendi kendine yayılan, ısı açığa çıkaran kimyasal reaksiyona, patlatma adı verilir.

Madencilik ve inşaat sektörü başta olmak üzere, ülkelerin hammadde ve altyapı yatırımlarında patlayıcı maddelerin önemi büyüktür. Patlatma, madencilik çalışmalarının ilk aşamalarından olup, kaya kütlelerini parçalama işlemidir. Genel olarak delme-patlatma işleminin iki amacı vardır. Bunlar, göz önüne alınan kayaç kütlelerinin parçalanması ve ötelenmesidir. Parçalanmadaki amaç kayanın kazı makinesinin kepçesine rahatlıkla girebilecek, makinenin çalışmasını olumsuz yönde etkilemeyecek ve patar atımı gerektirmeyecek boyutta kırılmış olmasıdır. Ötelemedeki amaç ise kayanın kabarması sonucu gereken hacim artışı karşılayarak, yığının kolay kazılabilir olmasını temin etmektir.

Genel olarak üretim maliyetinin %5-40'i delme-patlatma işlemlerine aittir. Delme-patlatma işlemleri bilim ve tekniğe uygun yapılırsa, bu değer daha alt seviyelere çekilebilir. Bu açıklamalardan anlaşıldığı gibi, delme-patlatma işlemleri mühendislik hizmetleri gerektirmektedir [1].

Patlatma işlemleri, ardından gelen çalışmalara hazırlık özelliği taşımasından dolayı çok önemlidir ve maliyete etkisi büyüktür. Başarılı bir patlatmada uygun parçalanma sağlandığında, yükleyici makinelerin randımanı artar ve makine parçalarının yıpranması azalır. Yükleyici makinelerle birlikte çalışan nakliye araçlarının verimi artar. Patlatma sonrası dozer ve greyder gibi yardımcı makinelere duyulan gereksinim azalır. Bu da maliyet bakımından çok önemlidir. Optimum bir patlatma tasarımı, patlatma uygulamalarında etkisi olan değişkenlerin dikkatlice araştırılması ile mümkün olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, basit tasarım nomogramları geliştirmek için, bilgisayar ortamında farklı açık ocak patlatma denemeleri yapılmıştır. JKSImBlast yazılımı ile yapılan bu denemelerden elde edilen sonuçlar kaydedilip, verilerle beraber aynı nomogramlarda gösterilmiştir. Çizilen bu nomogramlar, basamak patlatmalarının ilk tasarımlarını kolay ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, basamak patlatma işlemlerinde hem zaman hem ekonomik bakımından son derece önemli olan ilk tasarımın kolay, hızlı ve dikkatli bir şekilde yapılabilmesi için tasarım nomogramları geliştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen nomogramlar sayesinde, basamak patlatmalarında istenilen parça boyutu ve şarj yoğunluğu değerleri için patlatma tasarımı yapılabilecektir.

1.2. Çalışma Yöntemi

Çalışmada ilk olarak, patlatma sonucunda etkili olan değişkenler belirlenmiştir. Bunların içinden, en önemli 5 değişken seçilmiştir. Bunlar; kaya türü, süreksizlik durumu, delik çapı, yük mesafesi ve basamak yüksekliği'dir. Farklı patlatma tasarımlarından elde edilen sonuçları araştırmak için, bu değişkenlerin her birine farklı bir kaç değer verilmiştir. Şöyle ki; kaya türleri ISRM sınıflandırmasına göre 4 ana sınıfa ayrılmıştır. Zayıf, orta, sağlam ve çok sağlam. Bütün kaya türleri için 1m ve 3 m aralıkta aynaya dik/paralel süreksizlikler tanımlanmıştır. Delik çapı için, mevcut ekipmanlara göre 4 değer seçilmiştir; 89, 115, 152 ve 200 mm. Daha sonra, yük mesafesi belirlenmesinde araştırmacılar tarafından sunulan yaklaşımlara göre her delik çapı için en az 3 yük mesafesi belirlenmiştir. Basamak yüksekliği için ise, 3 değer seçilmiştir; 12, 15 ve 20 m.

Bütün bu değerler farklı kombinasyonlar şeklinde JKSimBlast yazılımı ortamına aktarılıp, elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Daha sonra GeoGebra yazılımı kullanılarak, kombinasyonların her biri için bir nomogram çizilmiştir.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Yapılan çalışmanın ikinci bölümünde, patlatma hakkında yapılan literatür araştırmaları verilmektedir. Bu araştırma, patlatma mekanizması, patlayıcı madde özellikleri, kaya birimlerinin özellikleri, patlatma geometrisinin tasarımı, patlatmadan sonra parça boyut dağılımı belirlenmesi ve patlatmalarla ilgili şimdiye kadar yapılan bazı tez çalışmalarını içermektedir.

Üçüncü bölümün ilk kısmında, programdan elde edilen sonuçların doğrulanması ve çalışmada kullanılacak parça boyut dağılımı modelini belirlemek için, test çalışmaları yapılmaktadır. Bölümün ikinci kısmında ise, çalışmada kullanılacak değişkenler için sayısal değerler belirlenmektedir.

Dördüncü bölümde, değişkenler JKSimBlast yazılımı ortamına aktarılıp, elde edilen sonuçlar nomogramlar haline getirilmiştir. Nomogramların değerlendirilmesi, kullanım şekli, örnek bir saha çalışması ve basamak yüksekliği değişiminin şarj yoğunluğundaki etkisinin araştırılması bu bölümün diğer kısımlarını oluşturmaktadır.

Beşinci bölümde çalışmaya ait sonuçlar ve sonraki çalışmalar için öneriler verilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada açık ocak basamak patlatmaları konu alındığı için, her hangi bir işleme başlamadan önce literatür araştırılması yapılmıştır. Bu araştırmalar, patlatma uygulamalarının bilimsel yaklaşımlar gözetilerek gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu bölümde, basamak patlatmalarına bilimsel yaklaşımlarda bulunarak patlatmada etkili olan bütün değişkenler ve bu değişkenlerin etkileri araştırılmıştır. Bölümün son kısmında ise, şimdiye kadar patlatma konusunda yapılan bazı tez çalışmaları verilmektedir.

2.1. Patlatma Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Patlatma İle Parçalanma Mekanizması

Patlatma vasıtasıyla parçalanma işlemi, delik içindeki patlayıcı maddeyi ateşlemekle başlar. Patlayıcı maddenin ateşlenmesinden ortaya çıkan basınç dalgası ve sıcak gaz, deliği çevreleyen kaya üzerinde balyoz darbesi şeklinde etki eder ve kayanın kırılıp parçalanmasına yol açar. Delik içine yerleştirilmiş patlayıcı maddenin patlatılması sırasında ve patlatma tamamlandıktan sonra malzemenin kırılma ve ötelenmesini temsil eden 4 temel süreç vardır [2].

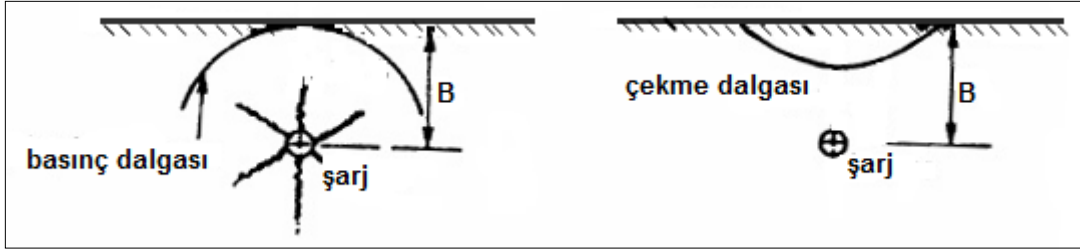
- Detonasyon
- Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılımı
- Gaz basıncının yayılımı
- Kütle taşınması

Detonasyon: Kırılma ve parçalanma işleminin başlangıcıdır. Patlayıcı maddenin çok ani kimyasal tepkimeye girip şok dalgası ve çok yüksek basınç ve sıcaklıkta gaz üretmesine, detonasyon adı verilir. Patlatma süresince kimyasal tepkime ses hızından daha büyük bir hızla patlayıcı kolonu boyunca ilerler. Patlamadaki sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 1650 – 3870 °C ve basınçlar ise 9 – 275 kbar arasındadır [3]. Çizelge 2.1’de bazı patlayıcıların detonasyon basınçları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı patlayıcıların detonasyon hızı ve basıncı [4]

Patlayıcı madde	Yoğunluk (gr/cm ³)	Detonasyon hızı (ft/sn)	Detonasyon	
			(kbar)	(psi)
ANFO	0,81	12000	27	391608
Powermax 420	1,19	19000	100	1450400
Hi-prime	1,40	20000	130	1885520
“G” Booster	1,60	26000	251	3640504

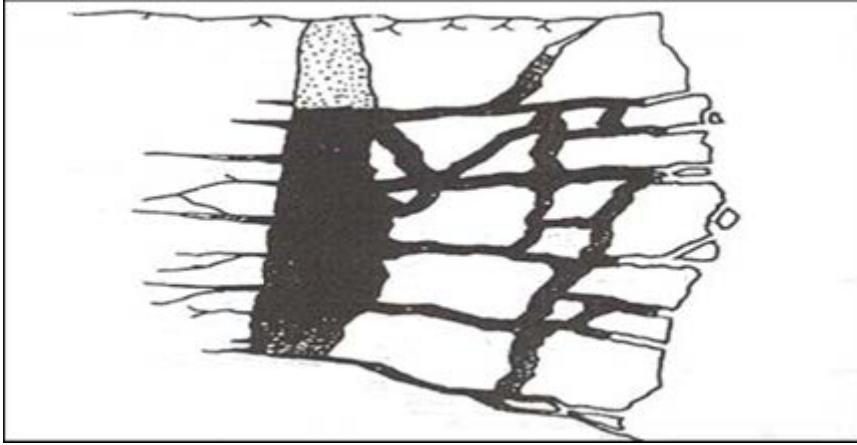
Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılması: Detonasyonun hemen ardından şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içersinde yayılır. Bunlar, basınç dalgaları olarak kaya içersine yayılıp, yük mesafesi boyunca ilerlemeye devam ederler. Açık yüzeye vardıklarında, iki ortamın empedans farkı nedeniyle, şekil değiştirip çekme dalgaları olarak kayanın içine geri dönerler (Şekil 2.1). Basınç dalgaları ve bu dalgaların serbest yüzeyden yansıması sonucu oluşan çekme gerilmesi dalgası sonucu, önce delik etrafındaki kaya kırılır, daha sonra delik çapının dört katı kadar radyal çatlaklar oluşur [5,6].



Şekil 2.1. Detonasyonun ardından dalgaların yayılması [4]

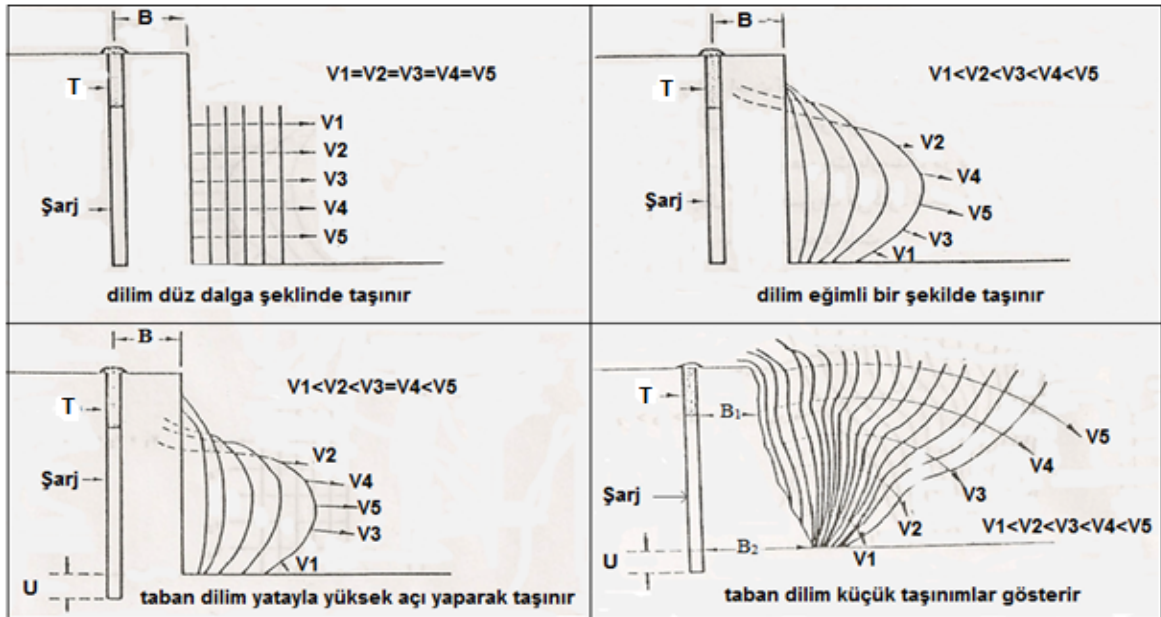
Gaz basıncının yayılımı: Dalgaların yayılımı sırasında ve sonrasında, yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlar genişleyerek delik çevresinde bir baskı alanı yaratırlar. Bu alanda gazlar, radyal çatlakları geliştirirler ve herhangi bir süreksizliğe doğru hızlı bir şekilde giriş yaparlar. Bu esnada, kırılma ağının gelişmesi de devam eder (şekil 2.2).

Patlatma ürünü gazların kayaç içinde hareket yolları en az dayanıma sahip yollardandır. Gaz ürünler genleşmesi esnasında, ilk olarak çatlak, eklem, fay vb. yapısal süreksizliklere doğru ilerler. Ayrıca, belirli bir ortamda, düşük kohezyon ve bağlara sahip olan tabakalı oluşumların ara yüzeyleri gazların seçtiği öncelikli genleşme bölgeleridir. Eğer delik ile serbest yüzey arasındaki süreksizlikler yeterince büyük ise, yüksek basınç altındaki gazlar doğrudan atmosfere dağılırlar. Bu durum sıkıştırma basıncının azalmasına, dolayısı ile kayacın kırılması için gerekli enerjinin düşmesine neden olur. Sonuç olarak kırılmış malzemenin ötelenmesi ve malzemenin parçalanması azalır [7,8].



Şekil 2.2. Gaz basıncı ile çatlakların gelişimi [7]

Kütle taşınması: Parçalanma işlemindeki son aşama, malzemenin hareketidir. Gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu temel parçalanma oluşmaktadır. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasında en önemli değişken delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Malzemenin kütle hareketi kırılma işlemindeki son aşamadır. Parçalanmanın bir kısmı havadaki çarpışmalar ve malzemenin zemine çarpması ile devam eder. Basamak yüksekliği arttıkça, bu tip kırılmalar artacaktır. Bunun nedeni, parçaların basamak zeminine düşerken, darbe hızlarındaki artıştır. Benzer olarak “V” şeklinde tasarlanan karşılıklı sıralardan çıkan malzemenin havada çarpışmasıyla parçalanma artacaktır [3].



Şekil 2.3. Değişik koşullarda kütle taşınmaları (T: Sıkılama, U: Delik taban payı, B: Yük mesafesi) [4]

2.1.2. Kaya Birimlerinin Özellikleri

Patlama sonucunda etkili olan kaya özellikleri şöyledir [9];

- Yoğunluk
- Basınç, çekme, darbe dayanımları
- Sismik dalga hızı
- Empedans
- Süreksizlik durumu ve kütleli olarak sertlik derecesi
- Su durumu
- Elastisite modülü
- Poisson oranı
- Değişkenlik durumu (homojenlik, anizotropi ve izotropiklik).
- Sertlik

Kaya özelliklerindeki kayaç yoğunluğu, kayaç içinde dalga yayılım hızı, bunlara bağlı kayaç empedans değeri, basınç ve çekme dayanımları ve yapısal değişim parametrelerinin sayısal olarak ifade edilmesi ve yapılacak tasarıma yansıtılması en zor olan gruba oluşturmaktadır [10]. Kayaç yoğunluğu ile kayaç içerisindeki dalga yayılım hızının çarpımına eşit olan kayaç empedans değeri, kayacın şok dalgası yayılımına karşı gösterdiği direnci, bir ölçüde de yapısal durumunun patlatma üzerinde etkisini ifade eder. Aynı zamanda kayacın parçalanmasına neden olan patlatma enerjisinin ortam kayaca ne oranda iletildiğini gösteren bir ölçüttür [11]. Kayaç empedansının hesaplanmasında kullanılan birincil (P) dalga hızı, kayaç kütleli homojenlik derecesi ile, yoğunluk ise kayaca istenilen ötelemenin verilmesinde gerekli enerji miktarı ile ilgili değişkenlerdir. Yüksek P-dalga hızları, patlayıcı enerjisinin kayaca daha iyi iletildiği, kayaç içerisinde üniform bir gerilim-deformasyon olduğu anlamına gelir. Bu ise tane boyut dağılımının homojen olmasında ana etken olmaktadır [12,13].

Kaya özellikleri patlatma sonucunu önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin kil gibi plastik davranış gösteren formasyonlarda kovan yapma ihtimali çoktur. Bu durumlarda yıkma enerjisi fazla olan, özgül gaz hacmi büyük olan patlayıcılar tercih edilmelidir. Bununla birlikte yük mesafesi ve buna bağlı değişkenlerin dikkatlice seçilmesi gerekmektedir. Kırılgan ve masif kayalarda birincil parçalanma mekanizması kayanın kırılmasında etkili olacağından, seçilen patlayıcı maddelerin yüksek kudret ve yüksek patlatma hızına sahip olmaları gerekmektedir. Çok eklemli zayıf kayalar parçalanmış formasyona sahip

olduğundan, seçilen patlayıcılar, düşük yoğunluk, düşük patlatma hızı ve fazla gaz hacmine sahip olmaları gerekmektedir. Kayaların dayanıklılığı, eklem, fay, tabakalanma gibi yapısal unsurları ve su durumu, patlatma tasarımı için önemlidir. Sulu kaya ortamlarında, sudan etkilenmeyen ve çözülmeyen patlayıcılar tercih edilmelidir [9]. Esen ve ark [14], parçalanma işlemine etki eden kaya özelliklerini yoğunluk, dalga iletim hızı, karakteristik empedans, enerji yutma özelliği, basınç dayanımı, çekme dayanımı, değişkenlik durumu (homojen ve isotropik olması), yapısal durumu (eklem, tabakalanma v.b.) olarak sıralamaktadır. Tamrock [15] kayanın patlatılabilirliğine etkiyen unsurlardan yapısal durumu, sertliği, homojenitesi yanında kayanın kırılabilir, dövülebilir, çekilebilir veya esneyebilir olmasının da önemli olduğuna işaret etmektedir.

2.1.3. Patlayıcı Madde Özellikleri

Patlayıcı maddeler, bileşimlerinde enerji veren, oksijen taşıyan, yanıcı vb. değişik özellikte maddeler olan kimyasal bileşiklerdir. Patlatma sonucu oluşturdukları gaz hacmi, enerji miktarı, ısı ve basınç miktarının yüksek olmasından dolayı, kaya parçalamada kullanılan en yaygın yöntem haline gelmişlerdir. Patlayıcı maddenin ateşlenmesiyle birlikte, patlayıcıyı oluşturan bileşikler büyük bir ısı ile yanarak hacimlerinin 500–600 katı kadar gaz üretirler. Bu ısı ve gaz hacmine bağlı olarak kayaların kırılmasına ve parçalanmasına neden olan 4000–5000 kg/cm² mertebesinde detonasyon basıncı oluşur. Çeşitli faktörlerin etkisi ile bu basıncın %5-15'i şok (sismik) dalgası halinde kayalar içinde yayılarak, patlatma deliği civarında radyal çatlaklar ve kırılmalar oluşturur. Bu şok dalga basınçları, serbest yüzey veya kaya süreksizlikleri nedeniyle yansıma dalgaları halinde de yayılarak kırılma ve parçalanmayı artırır. Bununla birlikte oluşan ilk çatlaklardan gaz basıncı yayılımı ile de parçalanma artar [9].

Patlatma uygulamalarında kullanılacak patlayıcı maddeyi doğru bir şekilde seçebilmek için, patlayıcı özelliklerinin çok iyi bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Patlayıcılarda en önemli özellikler şunlardır [9];

- Detonasyon hızı
- Detonasyon basıncı
- Duyarlılık
- Kuvvet
- Yoğunluk
- Suya dayanıklılık

- Duman ve gaz karakteri
- Detonasyon stabilizesi
- Depolama ömrü

Detonasyon hızı: Bu özellik, patlatmanın patlayıcı kolon içerisindeki ilerleme hızını gösterir. Ticari patlayıcılarda bu değer 5.000 ile 26.000 ft/sn (1.500-7.900 m/sn) arasında değişmektedir. Bu özellik patlayıcı kuvvetinin bir göstergesidir. Genel olarak yüksek detonasyon hızına sahip patlayıcıların daha kuvvetli olduğu kabul edilmektedir. Çizelge 2.2’de bazı patlayıcıların delik çapı değişimine göre detonasyon hızı (VOD) değişimleri görülmektedir [16].

Çizelge 2.2. Detonasyon hızının delik çapına göre değişimi [16]

Patlayıcı türü	Detonasyon hızı (ft/sn)		
	11/4 inç çapta	3 inç çapta	9 inç çapta
Granül dinamit	7000-19000		
Jelatin dinamit	12000-25000		
Paketlenmiş slurry	13000-19000	14000-19000	
Bulk slurry		14000-19000	12000-19000
Sıkıştırılmış ANFO	7000-10000	12000-13000	14000-15000
ANFO	6000-7000	10000-11000	14000-15000
Paketlenmiş ANFO		10000-12000	14000-15000
ANFO-Slurry karışımı			11000-19000

Detonasyon basıncı: Bu özellik, patlatma anında patlayıcı madde içinde yayılan şok dalgasından kaynaklanan ani bir basınçtır. Bir patlayıcı madde için ilk ateşleyici (yemleme) seçimi açısından çok önemlidir. Detonasyon basıncı aşağıdaki formülden hesaplanır [4];

$$P_d = 2.325 \times 10^{-7} \times SG_e V_e^2$$

Çizelge 2.3. Bazı patlayıcıların detonasyon basıncı değerleri [4]

Patlayıcı türü	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Detonasyon basıncı (kbar)
Granül dinamit	0,8-1,4	20-70
Jelatin dinamit	1,0-1,6	70-140
Paketlenmiş slurry	1,1-1,3	20-100
Bulk slurry	1,1-1,6	20-100
Emülsiyon	1,0-1,2	40-90
Paketlenmiş ANFO	1,1-1,2	20-60
Heavy ANFO	1,1-1,4	20-90

Duyarlılık: Patlayıcı medenin etkileşime girebilmesi için gerekli olan en düşük enerji ihtiyacıdır.

Kuvvet: Patlayıcı madde kuvveti, iki farklı şekilde incelenmektedir. Ağırlık kuvveti ve hacim kuvveti. Ağırlık kuvveti, patlayıcı madde birim ağırlığının iş yapabilme yeteneğidir. Hacim kuvveti ise, patlayıcı medde birim hacminin iş yapabilme yeteneğidir [17].

Yoğunluk: Patlayıcı maddenin birim hacminin ağırlığıdır. Patlayıcı duyarlılığının ve detonasyon basıncının oluşmasında önemli rol oynar. Genelde yüksek yoğunluklu patlayıcıların enerji üretimi daha fazladır [17].

Suya dayanıklılık: Patlayıcı maddenin sulu deliklerde kullanılabilmesini veya suya dayanabileceği süreyi gösteren değişkendir. Patlayıcı maddeler sudan iki şekilde etkilenir. Birincisi, patlayıcının bileşiminde bulunan organik tuzlar suda çözülür. İkincisi, su basıncı hava kabarcıklarının miktarını ve boyutlarını azaltır. Dolayısıyla patlayıcı maddenin hassasiyeti zayıflayıp, patlatma verimi düşer. Patlatma sonrası sarı renkte bir dumanın yayılması, ortamdaki su nedeniyle patlatmanın verimsiz olduğunu gösterir. Emülsiyon tipi patlayıcılar suya karşı daha dirençlidirler. Suyu karşı dirençli olmayan patlayıcılar, plastik gibi uygun kaplama materyalleri ile kaplanmak sureti ile ıslak deliklerde kullanılabilirler. Patlayıcıların suya dayanıklılığı çok değişik şekillerde tarif edilmektedir. Bazı Patlayıcıların suya dayanıklılığı Çizelge 2.4'te verilmektedir [17].

Çizelge 2.4. Bazı patlayıcıların suya dayanıklılığı [17]

Patlayıcı türü	Suya dayanıklılık
Granül dinamit	Zayıf - İyi
Jelatin dinamit	İyi - Mükemmel
Paketlenmiş slurry	Çok iyi
Bulk slurry	Çok iyi
Sıkıştırılmış ANFO	Zayıf
ANFO	Zayıf
Paketlenmiş ANFO	Çok iyi
ANFO-Slurry karışımı	Zayıf - Çok iyi

Duman ve gaz karakteri: Patlatma sonucu ortaya çıkan Karbonmonoksit, Azot oksitleri vb. gazların niteliğini gösteren bir özelliktir. Bu gazlar genelde açık ocak işletmelerinde herhangi bir problem yaratmamakla birlikte yer altı işletmelerinde kabul edilebilir sınırlar içersinde tutulması zorunludur.

Detonasyon stabilizesi: Bu özellik, detonasyon'un, patlayıcı kolonu boyunca sabit bir şekilde ilerlemesini gösterir ve patlayıcı maddelerin detonasyona girebileceği en düşük çaplar (kritik çap) ile ifade edilir [17].

Çizelge 2.5. Bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları [17]

Patlayıcı türü	Kritik çap		
	< 1 inç	1-2 inç	> 2 inç
Granül dinamit	X		
Jelatin dinamit	X		
Paketlenmiş slurry	X	X	X
Bulk slurry		X	X
Emülsiyon		X	X
Paketlenmiş ANFO		X	
Heavy ANFO		X	X

Depolama ömrü: Patlayıcı maddenin stoklanabilme ömrüdür. Patlayıcı maddeler zamanla bozulup, patlama karakterleri değişir. Bu patlayıcılarla yapılan patlatmaların randımanı düşük olur. Karakteri değişmiş ve bozulmuş bir patlayıcının saklanması ve imhası işletmeler için büyük bir sorun olmaktadır. Bu yüzden depolama ömrünün bilinmesi ve stokların ona göre ayarlanması gerekir.

2.1.4. Patlayıcı Madde Cinsleri

Madenlerde kullanılan patlayıcı madde türlerini üç ana sınıfa ayırabiliriz;

- Ateşli patlayıcılar
- Yüksek hassasiyetli patlayıcılar
- Patlayabilir karışımlar

Ateşli patlayıcılar: Bu patlayıcılar çok hassas bir yapıya sahipler ve Patlatılmaları çok kolaydır. Diğer patlayıcı maddelerin ateşlenmesinde, kapsül ve infilaklı fitil üretiminde kullanılırlar. Bu patlayıcıların infilakından meydana gelen çok şiddetli bir şok dalgası, duyarlılığı az olan esas patlayıcı maddeyi patlatır. Kullanılan başlıca ateşli patlayıcılar Çizelge 2.6'da verilmiştir [4,17]. Bu patlayıcılar doğrudan kaya patlatma işlerinde kullanılmamaktadır. Ancak çok kuvvetli şok yarattıkları için, primer ve dinamitleri ateşlemekte kullanılırlar.

Çizelge 2.6. Başlıca ateşleyici patlayıcılar [17]

Patlayıcı madde	Formül	Kullanışı	Patlama Hızı (m/sn)
PETN	$C_5H_8N_4O_{12}$	Kapsül, infilaklı fitil	8310
Kurşun Stefenat	$C_6H_3(NO_3)_3Pb$	Kapsül	5200
Cıva Fulminate	$Hg(ONC)_2$	Kapsül	4250
Kurşun Azid	$Pb(N_3)_2$	Kapsül	5100
RDX	$(CH_2)_3N_3(NO_2)_3$	Kapsül	8640
HMX	$(CH_2)_4(NNO_2)_4$	NONEL tüpü	9100

Yüksek hassasiyetli patlayıcılar: Bütün cins dinamitler bu gruba girer. Bunların patlatma hızı 2500-7600 m/sn arasındadır. Dinamitler genellikle dip şarj veya yemleyici (primer) olarak kullanılırlar. Kapsül ile patlatılıp, yüksek miktarda gaz çıkarırlar. dinamitlerin çeşitleri şöyledir: Nitrogliserinli dinamitler, Amonyum Nitratlı dinamitler, Nitrogliserinli jelatin dinamitler, Amonyum Nitratlı jelatin dinamitler, Yarı jelatin dinamitler.

Nitrogliserinli dinamitler taneli bir yapıya sahiptirler. Nitrogliserinin yanı sıra Sodyum Nitrat ve talaş içerirler. Bu dinamitin kudreti içerdiği Nitrogliserin yüzdesi ile ifade edilir. İçeriğindeki Nitrogliserin yüzdesi 20-57 arasındadır. Detonasyon hızı, Nitrogliserin miktarına göre 2700-5700 m/sn arasında değişir. Özgül ağırlığı ise, 1,3-1,4 gr/cm³ arasındadır.

Amonyum Nitratlı dinamitler tane görünümündedir. Bu dinamitlerde Nitrogliserin hassaslaştırıcı olarak kullanıldığı için miktarı azaltılmıştır. Temel enerji kaynağı Amonyum Nitrat ve Sodyum Nitrat'tır. İçeriğindeki Nitrogliserin yüzdesi 12-22,5 ve Amonyum Nitrat yüzdesi 11,8- 50,3 arasındadır. Bu dinamitler ısı ve şoka daha az hassaslar. Detonasyon hızı 2000-3700 m/sn, özgül ağırlığı ise 0,8-1,3 gr/cm³ arasında değişiyor.

Nitrogliserinli jelatin dinamitler sudan etkilenmeyecek bir yapıya sahiptirler. Bu dinamitlere ilave edilen Nitroselüloz, Nitrogliserin ile birleşerek kıvamlı ve yapışkan bir jel oluşturur. Bu dinamitlerin özgül ağırlığı, Nitrogliserinli dinamitlerden fazla ve hassasiyeti daha azdır. Bu dinamitlerin detonasyon hızı 3300- 7500 m/sn arasındadır.

Amonyum Nitratlı jelatin dinamitler, Nitrogliserin ve Nitroselüloz karışımından elde edilen jel'in Amonyum Nitratlı dinamitlere eklenmesi ile elde edilir. Bu dinamitlerin, suya dayanıklılığı Amonyum Nitratlı dinamitlerden çok daha fazladır. Detonasyon hızı 2000-6000 m/sn arasındadır.

Yarı jelatin dinamitlerin özellikleri, Amonyum Nitratlı dinamitler ve jelatin dinamitlerin arasındadır. Yani hem jelatin dinamitlerin sudan etkilenmez özelliklerine hemde Amonyum Nitratlı dinamitlerin ucuzluk özelliklerine sahiptirler. Bu dinamitlerin detonasyon hızı 3000-4000 m/sn arasındadır ve çıkardıkları gazların daha az zararlı olduğu için, yer altı patlatmalarında kullanılabilirler [4,17].

Patlayabilir karışımlar: Bu patlayıcılar, tek başına patlayabilir özellikte olmayan iki veya daha fazla maddenin karıştırılmasından elde edilirler. Bunların biri yakıt diğeri ise oksitleyicidir. Açık ocak patlatmalarında kullanılan başlıca iki tür patlayabilir karışım vardır. Taneli patlayıcılar ve jelatin patlayıcılar.

Taneli patlayıcılar, yaklaşık 1 mm boyutundaki tanelerden oluşuyorlar. Başlıca iki tür taneli patlayıcı vardır; Barut ve ANFO.

Madencilikte patlayıcı madde kullanımı 17. yüzyıl başlarında Kara Barut ile başlamıştır. Barut, Soydu Nitrat ve ya Potasyum Nitrat, Kömür ve Kükürt'ten oluşmaktadır. Zayıf bir patlayıcı madde olarak tanımlanıyor ve yanıcı özelliğe sahiptir. 510°C sıcaklıkta 0,1 saniyede ve 427°C sıcaklıkta 5 saniyede yanmaya başlar. Yanma hızı ise, açık havada 1 cm/sn, delik içinde 450 m/sn kadar çıkabilir. Barut'u patlatmada kullanmak için, direk deliğe boşaltılabilir ve ya sulu ortamlarda, su geçirmez plastik poşetler içinde deliğe konulup, emniyetli fitil ile patlatılabilir.

Amonyum Nitrat'ın patlama özelliği 1950'li yılların başında bir kaza sonucu keşfedildi. Amonyum Nitrat ile yapılan araştırmalar sonucunda, Robert W. Akre [38] Amonyum Nitrat ile Karbon karışımından oluşan Akremite adlı patlayıcıyı buldu. Bunun ardından Amonyum Nitrat ve Fuel Oil karışımından oluşan ANFO isimli patlayıcı yapıldı. Ucuzluğu, kolay üretilmesi ve güvenli oluşu ANFO'yu kısa bir sürede madencilik sektörünün en yaygın olarak kullandığı patlayıcı madde haline getirdi [17].

ANFO, Amonyum Nitrat ile motorinin oksijen dengesi gözetilerek karıştırılması ile elde edilir. Tam olarak % 94,3 AN, % 5,7 motorin oranında hazırlanan ANFO, kuru deliklerde kullanılabilen bir patlayıcıdır. Kullanılan Amonyum Nitrat, yüksek porozite, yüksek mazot emme ve muhafaza etme özelliğine sahiptir. Amonyum Nitrat toz (kristalize) veya hap şeklinde üretilir. Hapların yüzeyleri Diatomit ile kaplanmıştır. Gözenekli bir yapıya sahip olmak hapların en büyük avantajıdır. Gözenekler, Amonyum Nitrat(AN)'ın mazotu daha iyi emmesine ve daha hassas olmasına sebep olur. Yoğunluğu 0,8-0,85 gr/cm³ olan toz Amonyum Nitrat (AN)'a karşın hap AN yoğunluğu 1,4-1,5 gr/cm³ olabilmektedir. ANFO'ya ait özellikler Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. ANFO'nun özellikleri [19]

İdeal patlama hızı	4850 m/s
İdeal patlama basıncı	48960 atm
Yoğunluk	0,80-0,85 gr/cm ³
Patlama enerjisi	3,89 Mj/kg
Suya dayanıklılığı	Yok

ANFO'nun patlatılabilmesi için Primer olarak isimlendirilen yüksek hassasiyetli patlayıcıların kullanılması gerekir. ANFO'nun detonasyon hızı, patlatma deliğinin çapına bağlı olarak değişir. En yüksek detonasyon hızına 250 mm çaplı deliklerde ulaşmaktadır. 25 mm'den daha küçük çaplı deliklerde ise stabil patlatma göstermemektedir. Bu nedenle ANFO'nun orta ve geniş çaplı deliklerde (75-250 mm) ve kuru ortamda kullanılması halinde en uygun verim alınabilmektedir. ANFO'nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. ANFO'nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı [17]

Delik Çapı (mm)	Patlatma Hızı (m/sn)
38	2100-2700
51	2600-3000
76	3000-3300
102	3300-3600
127	3500-3800
152	3700-3900
203	3800-4000
230	3900-4100

ANFO'nun verimli bir şekilde patlatılmasında önemli bir diğer konu şarj yoğunluğudur. Delik dışında 0,8-0,85 gr/cm³ yoğunluğa sahip olan ANFO, deliğe basınçlı hava ile püskürtüldüğünde yoğunluğu 1,2 gr/cm³'e kadar ulaşabilir. Bu durumda ANFO en yüksek verimle patlar. ANFO taneciklerinin boyutundan dolayı, içindeki boşluk %30-40 arasındadır. Bu boşluklar ne kadar azalır, ANFO'nun ağırlığı o kadar çoğalır. Dolayısıyla patlatma hızı artar. Bunu yapabilmek için farklı boyutlardaki tanecikleri birbiriyle karıştırarak, aradaki boşluklar en aza indirilir ve ANFO'nun ağırlığı 1.25'e kadar yükselir.

Amonyum Nitrat(AN)'a ilave edilen yakıt miktarının, Oksijen dengesinin sağlanması ve en yüksek düzeyde enerji elde edilmesi bakımından belirli bir oranda olması gerekmektedir. Yakıt'ın ağırlıkça %5,7'den az olması Amonyum Nitrat'ın sağladığı Oksijen'in hepsinin Karbon tarafından kullanılmamasına, serbest kalan Oksijen'inde reaksiyon sıcaklığında Azot ile birleşerek Azot Oksit (NO) ve Azot Dioksit (NO₂) gibi tehlikeli Azot oksitlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu olay kendini patlatma sonucu oluşan kahve-sarı renkli duman ile belli eder. Bu durumda % 35 oranında enerji kayıpları olduğu tahmin edilmektedir. Yakıt oranının % 5,7'den fazla olması ise; Karbon'un fazla olmasına, dolayısıyla Karbon Dioksit (CO₂) yerine yine çok zehirli olan Karbon Monoksit (CO) gazının oluşmasına sebep olmaktadır.

ANFO taneciklerinin bünyesine aldığı yakıtı emerek yüzeylerinin kuru kalması, akıcı bir görünüm ve şarj kolaylığını sağlamaktadır. Bu hususun bilincinde olan bazı üreticiler, AN taneciklerinin yüzeyini uygun nitelikte organik ve inorganik maddelerle kaplamak suretiyle AN'ın çevre koşullarından etkilenmesini bir ölçüde önlemekle beraber depolama sırasında ve delik içerisinde bekletilen ANFO'nun bünyesindeki mazotu bırakmamasını, karışımın uzun süre homojen ve akıcı bir şekilde kalmasını sağlamaktadır [20].

ANFO'nun fiyatı Nitrogliserin esaslı dinamitlerin en az dört'te biri, en fazla yarısı kadar olabilmektedir. Bu ucuzluğu, ANFO'yu açık ocaklarda en çok kullanılan patlayıcı madde haline getirmiştir. ANFO'nun hassasiyeti diğer patlayıcılara göre daha düşük olduğu için taşınması ve kullanılması daha emniyetlidir. Bu avantajların yanı sıra ANFO'nun dezavantajları da vardır. Bunlar suya dirençsizliği, düşük patlatma hızı, düşük yoğunluğu ve delik doldurma süresinin uzun olmasıdır.

Jelatin patlayıcılar, ANFO'nun suya dirençsiz olmasına karşın sulu deliklerde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Bu patlayıcıların başlıca türleri; slurry ve emulsion patlayıcılarıdır.

Slurry olarak isimlendirilen karışımlar 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Ana patlayıcı madde olarak Amonyum Nitrat kullanılmıştır. Bu patlayıcılarda yüksek konsantrasyonlu Amonyum Nitrat ve diğer Nitrat tuzları çözeltisi, kimyasal kolloidal maddeler kullanılarak kıvamlı bulamaç haline getirilmektedir. Kullanılan kolloidal maddeler, karışımın içine su girmesini yavaşlatmaktadırlar. Böylece karışım sulu deliklerde belli bir süre bozulmadan kalabilmektedir. Patlayıcının gücünü arttırmak amacıyla slurry karışımlarının içine TNT ve alüminyum tozu gibi enerji veren maddeler katılmaktadır [17]. Karışımın içindeki TNT miktarı, kritik çap ve ortamın sıcaklığına göre değişebilir. Mesela 30° F sıcaklıkta ve 3 inç çapta karışımın içeriği Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9. 30° F sıcaklıkta ve 3 inç çapta slurry içeriği [4]

Amonyum Nitrat (AN)	% 59
Tri Nitro Toluen (TNT)	% 25
Su	% 15
Yapıştırıcı	% 0,5-1

Slurry patlayıcıların ANFO'ya göre en önemli avantajlarından biride yoğunluklarının yüksek oluşudur. Bu patlayıcıların yoğunlukları suyun yoğunluğundan fazla olduğu için, sulu deliklerde dibe çökerek suyu delikten dışarı atar ve suda eriyip karışmadığı için yüksek randımanla patlar. Yoğunluğun yüksek olmasının başka bir yararı ise, belirli çaptaki bir deliğe daha fazla patlayıcı enerjisi yerleştirmesidir. Böylece aynı deliğe daha fazla enerji yerleştirilebildiği için delikler arası mesafe büyütülebilecek ve daha verimli patlatmalar yapılabilecektir [20].

İsveç'teki Nitro Nobel fabrikası, ürettikleri bir tür slurry karışımını böyle açıklıyor [4];

- Karışımın içeriği: TNT, AN, Sodyum Nitrat, alüminyum tozu ve su.

- Yoğunluk: 1.5 gr/cm³
- ANFO'ya göre gücü: % 85-120
- Detonasyon hızı: 4800 m/sn

Emülsiyon patlayıcılar, yüksek konsantrasyonlu Amonyum Nitrat ve tuzlan çözeltisinden oluşmaktadırlar. Bu patlayıcılarda, kolloidal maddeler yerine emülsifyerler kullanılarak suya dayanıklı bir patlayıcı oluşturulmuştur. Amonyum Nitrat ve Nitrat Tuzlan çözeltileri yığın içindeki su türünde bir emülsiyon haline getirildiğinde, suya dirençli, margarin kıvamında bir karışım elde edilmektedir. Bu karışım içine duyarlılığı arttırmak için mikro cam baloncuklar, üretilen enerjiyi arttırmak için ise alüminyum tozu katılmaktadır. Yüksek detonasyon hızının yanı sıra detonasyon basıncı da yüksektir. Emülsiyon patlayıcılar, çok sağlam kayaların patlatılmasında veya primer ve booster yapımında kullanılmaktadırlar. Emülsiyon patlayıcıların suya direnci, slurry patlayıcılardan daha fazladır ve sulu deliklerde ve ya su altı patlatmalarında kullanılırlar. Nitro Nobel fabrikasının Emulite ismiyle ürettiği bir tür emülsiyon'un özellikleri şöyledir;

- Yoğunluk: 1,2 gr/cm³
- Detonasyon hızı: 5000 m/sn
- ANFO'ya göre gücü: % 80-104

Son zamanlarda ANFO'nun güç faktörünü arttırmak için ANFO ile emülsiyon karışımları yapılmaktadır. %50 ANFO ve %50 emülsiyon karışımından oluşan patlayıcıya, Heavy ANFO ismi verilir.

2.1.5. Ateşleme Yöntemleri

Başarılı bir patlatma yapmanın diğer bir gerekçesi, delikteki patlayıcı maddeyi ateşleyecek gereçlerin dikkatle seçilip, kullanılmasıdır. Başlıca ateşleme yöntemleri şöyledir;

- Elektriksiz ateşleme
- Elektrikli ateşleme
- Elektromanyetik ateşleme

Elektriksiz ateşleme: Bu yöntem genelde elektrik akımı bakımından sorun teşkil edecek ortamlarda kullanılır. Günümüzde kullanılan elektriksiz ateşleme yöntemleri şöyledir;

- Emniyetli fitil-adi kapsül
- İnfilaklı fitil

- Patlayıcı sıvanmış şok tüpü (NONEL)
- Gaz patlamalı şok tüpü (Hercudet)

Emniyetli fitil-adi kapsül, ilk bulunan ateşleme yöntemidir. Ancak günümüzde çok az kullanılmaktadır. İlke olarak, kapsül içindeki birincil şarjı alevle patlatmaya dayanır. Az sayıda delikten oluşan küçük gruplarda, elektrikli ateşlemenin tehlikeli olduğu metal işletmelerinde ve küçük taş ocaklarında kullanımı yaygındır. Bu yöntemde, delikler düzenli bir sırada patlatılamaz ve gecikme uygulanamaz [17].

İnfilaklı fitil, ortasında PETN (Penta Erythrol Tetra Nitrate) bulunan, etrafı sentetik iplerle örülü ve dışı su geçirmez PVC kaplı esnek bir plastik tüptür. Bir kapsül vasıtasıyla ateşlendiğinde uzunluğu boyunca 6300-7000 m/sn hızla infilak eder. İnfilak hızı ortasındaki patlayıcı miktarı ile birlikte artar. Kullanım alanlarına göre infilaklı fitil, içerdiği PETN miktarına göre sınıflandırılır (5gr/m-80gr/m). İnfilaklı fitil'le yapılan patlatmalarda delikler arası gecikme, gecikme röleleri ile sağlanır. Röleler 5-400 ms arasında değişen sürelerde gecikme sağlayabilmektedirler. Gecikme rölesi, iki ucu açık bir alüminyum boru içinde dip tarafları birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiş iki kapsülden oluşur [4].

NONEL sistemi en güvenli ateşleme sistemi olup, Nitro Nobel firması tarafından geliştirilmiştir. Dış çapı 3 mm ve iç çapı 2 mm olan NONEL tüpünün ağırlığı 5,5 gr/m'dir. Tüpün iç kısmı, 0,02 gr/m ağırlığında HMX (Siklo Tetrametilen Tetranitramine) ve alüminyum karışımından oluşan reaktif bir toz ile sıvanmıştır. Tüp bir kapsül veya infilaklı fitil'le ateşlendiğinde, ateşlenen uçtan diğer uca 2000 m/sn gibi düşük bir hızla giden şok dalgası oluşur. Bu şok dalgası zayıf olup, tüpe zarar verecek kadar yeterli enerjisi yoktur. Dolayısıyla dinamit'i ateşleyemez. Dinamit'i ateşlemesi için diğer ucuna söz konusu şokla patlayabilecek hassasiyette bir kapsül koymak gerekir [4].

NONEL Yönteminin başlıca avantajları şöyledir;

- Statik elektrik, kaçak akımlar ve elektromanyetik dalgalardan etkilenmez.
- Isı, darbe, şok ve sürtünmeye duyarlıdır.
- Gecikmeli ve az gecikmeli patlatmaları yüksek dikkat ve hassasiyetle yapılır.
- Nitrogliserin dinamiti gibi yüksek hassasiyetli patlayıcıları bile kendiliğinden ateşleyemez. Diğer bir deyişle dinamitlerle birlikte emniyetle taşınır.

Hercudet sisteminde ateşin kapsüle aktarılması, zayıf bir gaz infilakı ile yapılır. Patlayıcı gaz, bir tüp vasıtasıyla kapsüle aktarılır. Yakıt ve oksitleyiciden oluşan gaz, bir hazne

içinde karıştırılarak tüplerin içine bırakılır. Patlatmayı başlatmak için tüpe bırakılan gaz ateşlendiğinde, dalga 3000 m/sn hızla kapsüle ulaşır. Hem mili saniye, hem de yarım saniye gecikmeli kapsüllerin, gecikmeli elektrikli kapsüllerden tek farkı kapsül ağzından iki adet tel yerine iki adet ince tüp çıkmasıdır [17].

Elektrikli ateşleme: İçinde bir direnç teli ve hassas kimyasal patlayıcı bulunan, ağzı rutubet geçirmez bir madde ile sıkılaştırılmış kovan ve birer ucu kovanın içindeki direnç teline bağlı iki ateşleme telinden ibaret patlatıcı kapsüldür. Elektrikli kapsüller tek, seri, paralel ve karışık bağlanarak ateşleme manyetosu veya herhangi bir elektrik üreticiden verilen ceryanla ateşlenir. Elektrikli kapsüller prensip olarak adi kapsüllerle aynıdır. Ancak adi kapsüllerin yarattığı zamanlama sorununu ortadan kaldırmak ve deliklerdeki patlayıcıları istenilen zamanda istenilen milisaniyelik aralıklarla patlatabilmek için kullanıma girmiştir. Elektrikli kapsüller, kullanım amacına göre gecikmesiz, yarım saniye gecikmeli ve milisaniye gecikmeli kapsül olarak imal edilir. Bakır ve alüminyum olmak üzere iki farklı çeşitte üretilir. Alüminyum kapsüller kömür ve kükürt ocakları gibi işletmelerde grizu ve yangın çıkma ihtimali olmayan (gazlı, tozlu, metan gazı, v.b), tehlike ihtiva etmeyen madencilik çalışmalarında kullanılmak üzere üretilmiştir. Bakır kapsülleri tam tersi grizu ve yangın çıkma ihtimali olan, tehlike ihtiva eden madencilik çalışmalarında kullanılmak üzere üretilmiştir.

Elektrikli kapsülün başarılı bir şekilde patlatılması için amaca uygun patlatma devresinin seçilmesi, seçilen patlatma devresine gereken enerjiyi verebilecek güç kaynağının kullanılması, elektrik kaçaklarının yok edilmesi ve gerekli korunma önlemlerinin alınması gerekir [17].

Elektromanyetik ateşleme: Bu metot, yeni geliştirilen bir ateşleme sistemidir. Elektromanyetik alan özelliklerinden yararlanılarak geliştirilen bir sistemdir. Bu sistemi oluşturan birimler şöyledir;

- Osilatör (frekans yayıcı)
- Mercek şeklinde bir anten (frekans verici)
- Frekansları alan sarımlar

Elektromanyetik ateşleme sisteminin çeşitleri şöyledir;

- Nissan RCB sistemi
- Magnedet sistemi

Nissan RCB sistemi: Bu sistemde, kapasitör ile 550 Hz'lik bir manyetik alan yaratılmaktadır. Bu alan frekans olarak patlatma yapılacak alana iletilip, elektrik akımına çevirilir. Bir diot yardımıyla alternatif akım doğru akıma çevirilerek kondansatörde sığalanır. Belirli bir değerden sonra patlatma gerçekleşir. Bu sistemde gecikme uygulanmamaktadır. Bu sebepten dolayı ortaya çıkan vibrasyona dikkat edilmelidir.

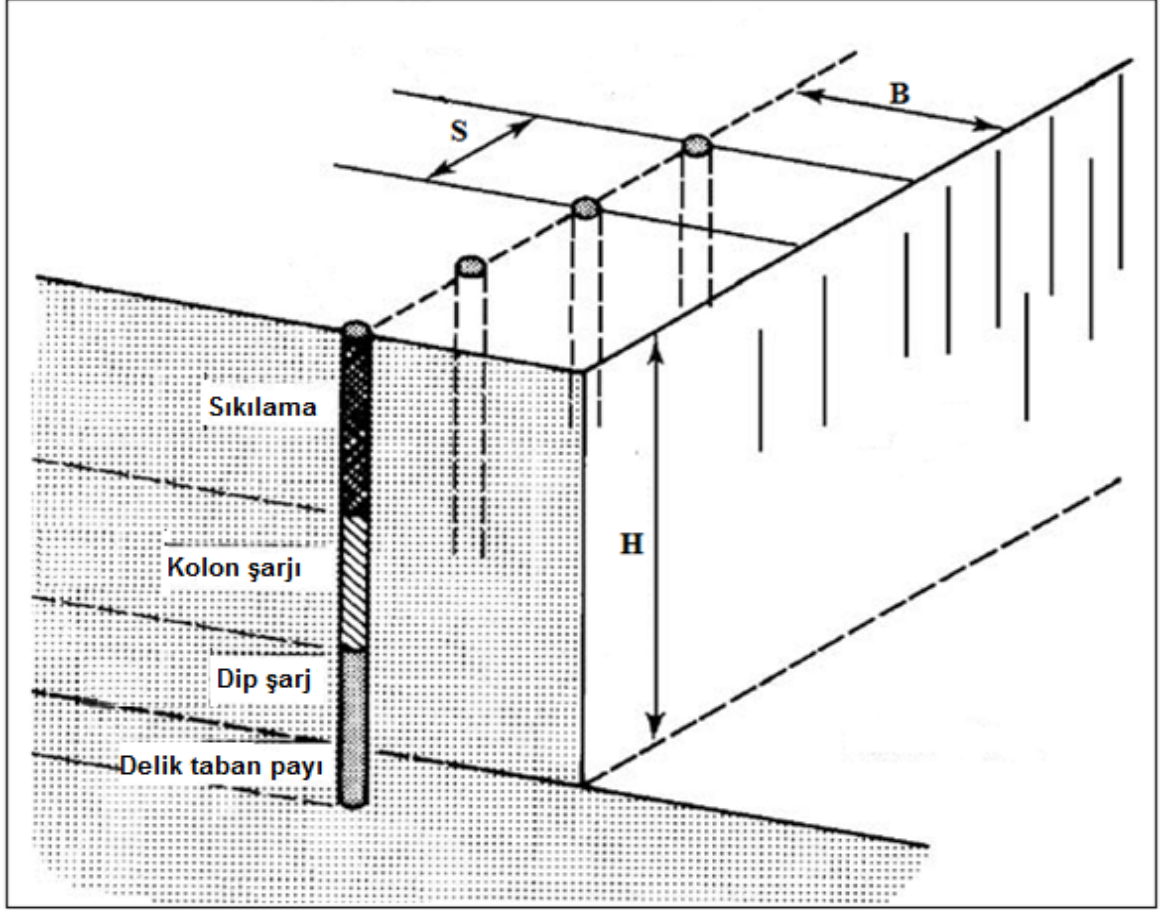
Magnedet sistemi: Nissan RCB sistemine benzer. Ancak bu sistemde daha yüksek frekanslar kullanılır (KHz düzeyinde). Doğru akımla patlatma yapıldığı için kaçaklara karşı emniyetlidir. Bu sistemde gecikme uygulanabilir [21].

2.1.6. Patlatma Geometrisi

Delme-patlatma, açık ocak işletmelerindeki üretim faaliyetlerinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Delme-patlatma işleminin ardından yapılan kazı ve yükleme, nakliye ve kırma-eleme faaliyetlerinin randımanlı bir şekilde sürdürülebilmesi, ilk işlem olan delme-patlatmanın verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Dolayısıyla, delik geometrisi tasarımını amaca uygun bir şekilde yapmak için, kayaç özellikleri, yükleyici ve kırıcı performans ölçümleri ile parça boyut dağılımı analizi gibi çalışmaların yapılması gerekmektedir [9].

Yukarıda değinilen değişkenlerin aralarındaki ilişkinin ortaya konulması ile tasarım için uygun yaklaşımlarda bulunmak mümkün olmaktadır. Ancak, birçok araştırmacının kabul ettiği ve yanıt aradığı iki anahtar değişken öne çıkmaktadır. Bunlar özgül şarj ve uygun yük mesafesidir. Bu iki değişken için makul bir yanıt bulunabildiğinde kabul edilebilir yaklaşımlara dayanarak diğer tasarım değişkenlerinin hesaplanabileceği araştırmacıların ortak görüşüdür [22-24].

Deneme-yanılma yöntemi ile yapılacak yük mesafesi ve özgül şarj miktarı belirleme çalışmalarında, maliyeti göz önüne almak gerekmektedir. Bu nedenle, ilk patlatma tasarımında makul bir değerdeki özgül şarj ve yük mesafesi değerinden başlamak çok olumlu sonuçlar verebilmektedir. Bu da ancak patlatma tasarımında önemli olan değişkenlerin arasındaki ilişkilerin yorumlanması ile mümkün olabilmektedir [25].



Şekil 2.4. Basamak patlatması tasarım parametreleri,

Teknik, emniyet ve ekonomiklik açısından iyi ve güvenli bir patlama üzerinde etkili olan değişkenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [26].

- Yük mesafesi
- Delikler arası mesafe
- Delik çapı
- Basamak yüksekliği
- Delik taban payı
- Sıkılama payı
- Delik düzeni
- Delik eğimi
- Yemleme yeri ve miktarı
- Dip şarj ve kolon şarj boyu ve miktarı
- Gecikme Zamanı
- Delgi hatası

Patlatma geometrisi tasarımı konusunda yapılan araştırmalar, yük mesafesinin diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Bir başka ifade ile, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı ve şarj uzunluğu gibi diğer tasarım parametrelerin yük mesafesinin bir fonksiyonu olduğu çoğu araştırmacı tarafından kabul edilmiştir [27-32].

Yük mesafesi, kritik bir tasarım parametresi özelliğindedir. Bu kritiklik hem delme-patlatma işlemlerinin ekonomisi açısından, hemde yersarsıntısı ve fırlayan kaya gibi çevre emniyetini etkilenmesi bakımından önem arz etmektedir. Araştırmacılar, işletme koşullarına uygun yük mesafesini belirlemek için çeşitli çalışmalar yapmış, ampirik yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bunların bir kısmı sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Diğer bir kısmı ise, kaya ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlar geniş bir şekilde aşağıda verilmektedir.

Çizelge 2.10. Yük mesafesi için farklı araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Arioğlu [29]	$B = 0,024 \times D + 0,85$
Gustaffson [27]	$B_{\max} = 0,045 \times D$
Oloffson [33]	$B_{\max} = 1,36 \times (I_b)^{0,5} \times R_1 \times R_2$
Langefors [22]	$B_{\max} = (D/33) \times \{(P \times E) / (C_o \times f \times (S/B))\}^{0,5}$ (2.1)
Konya [30]	$B(ft) = [2 \times (SG_e / SG_r) + 1.5] \times D_e(in)$ (2.2)
Ash [5]	$B(ft) = [K_B \times D(in)] / 12$ (2.3)
Jimeno [34]	$B = 0,76 \times D(in) \times F_{rp}$
Arioğlu [29]	$B = 10^{-3} \times K_r \times D \times (P_p / \sigma_C)^{0,5}$

Burada:

I_b : şarj yoğunluğu (kg/m)

R_1 : Delik eğimi düzeltme katsayısı

R_2 : Kaya düzeltme katsayısı

K_r : Kaya sabiti

P_p : Delikteki patlama basıncı (MPa)

σ_c : Kayanın çekme dayanımı (MPa)

F_{rp} : Kaya ve patlayıcı madde özelliklerine bağlı bir sabit

Patlatma tasarımında önemli bir diğer değişken ise delikler arası mesafedir. Delikler arası mesafenin belirlenmesinde birçok faktörün etkisi olmakla birlikte, daha çok yük mesafesinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Çeşitli araştırmacıların konuya yaklaşımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [1].

Çizelge 2.11. Delikler arası mesafe için farklı araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Olofsson [33]	$S = 1,25 \times B$
Langefors [22]	$S = (1,15 - 1,25) \times B$
Ash [5]	$S = K_s \times B$ (2.4)

Burada:

K_s : Gecikme katsayısı \rightarrow Gecikmesiz deliklerde = 2

Çok gecikmeli deliklerde = 1

Az gecikmeli deliklerde = 1,2-1,8

Genel bir incelemede, araştırmacıların çoğunun basamak patlatması için önerdikleri delikler arası mesafe/yük mesafesi oranı 1 ila 1,8 arasındadır. Eğer delikler arası mesafenin yük mesafesine oranı 1'den küçük olursa, sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır. Bu da, hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlara neden olacaktır. Tam tersi bu oran çok büyük olursa, uygun olmayan parçalanma ve/veya hiç parçalanmama nedeniyle iri bloklar ortaya çıkacaktır.

Delik çapı seçiminde etkisi olan başlıca değişkenler; kaya özellikleri, istenilen parça boyutu, çevre koşulları, basamak yüksekliği, patlayıcı maddenin kuvveti ve çapın değişimine bağlı olarak birim delme maliyetinde olabilecek azalmadır.

Yukarıda özetlenen tüm etkili değişkenlere karşın, araştırmacıların çoğu delik çapını, basamak yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak ifade etmektedirler. Patlayıcı madde üreten firmaların bazıları ise iyi bir parçalanma için delik çapının basamak yüksekliğinin onda biri kadar olmasını önermektedirler. Bazı araştırmacılar açık işletmelerde delik çapları için pratik olarak aşağıda verilen aralıkları önermektedirler.

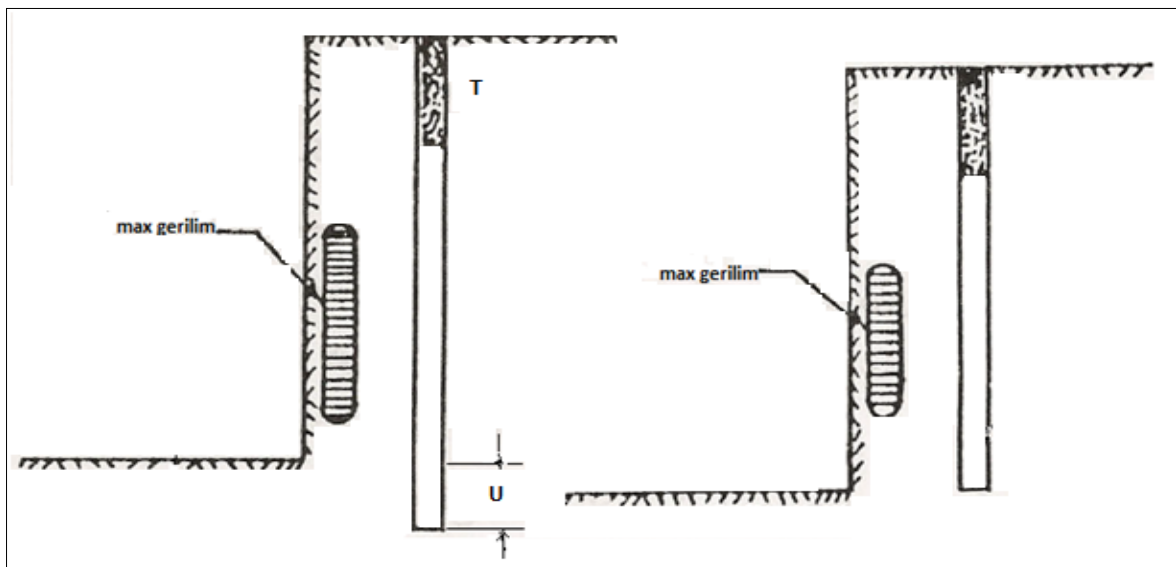
Çizelge 2.12. Delik çapı için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmaacı	Eşitlik
Olofsson [33]	$D = 30-400\text{mm}$
Tamrock [15]	$D (m) = H / (100-200)$

Hagan ve bazı diğer araştırmacılar ise basamak yüksekliği/delik çapı oranı için 40-80 arasındaki değerleri önermişlerdir[6]. Tamrock[15]'a göre; eğer kesme derinliği herhangi bir çaptaki deliğin kullanılmasına izin veriyorsa ve çevresel unsurlara (binalar v.s.) yeterince uzaksa, delik çapını tayin edici nihai faktör olarak ekskavatör kepçe hacmi dikkate alınabilmektedir [15].

Basamak yüksekliği, patlatma açısından önemli role sahiptir. Öncelikle, artan basamak yüksekliği, basınç dağılımları etkilerini arttırmaktadır. Genel olarak açık ocak patlatmalarında basamak yüksekliği, kullanılan makinelerin boyutuna göre belirlenir. Normal patlatmalarda, kural olarak basamak yüksekliğinin, yük mesafesinin en az 2,5 en fazla 6 katı alınması doğru bir seçim olacaktır [35].

Delik taban payı, patlatmadan sonra basamak yüzeyinin düz olmasını sağlayan bir değişkendir. Basamak patlatması sırasında, basamak aynasının ortasında en yüksek gerilime sahip bir alan oluşuyor. Bu alanda, en iyi parçalanma görülmektedir. Bu alanı basamağın tabanına kadar indirmek için, delik derinliğini biraz arttırmak gerekir. Böylece en yüksek gerilime sahip alanın kapsamı, delik tabanına yaklaşır ve basamak tabanının düz şekilde çıkmasına sebep olur (şekil 2.5)[5].



şekil 2.5. Basamak aynasında en yüksek gerilim alanı [5]

Delik taban payının yanlış seçilmesinden ortaya çıkan problemlere, hemen hemen tüm araştırmalarda geniş yer verilmiştir. Araştırmacıların büyük bir bölümü, delik taban payını yük mesafesinin bir fonksiyonu olarak ifade etmektedirler. Bu önerilerin bazıları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.13. Delik taban payı için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırıcı	Eşitlik
Tamrock [15]	$U = 0,3 \times B$
Langefors [22]	$U = 0,3 \times B_{\max}$
Ash [5]	$U = K_u \times B$ (K_u : 0,2-0,4 arasında) (2.5)

Uygun parçalanmış bir yığın elde etmenin yanı sıra, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevre etkenlerinin en aza indirilmesinde önemli olan değişkenlerden biri, sıkılama boyu ve cinsidir. Araştırmacıların çoğu sıkılama boyunun, yük mesafesinin bir fonksiyonu olduğunu kabul ederek aşağıdaki yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

Çizelge 2.14. Sıkılama boyu için farklı araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırıcı	Eşitlik
Tamrock [15]	$T = (0,7 - 1) \times B$
Langefors [22]	$T = B$
Bilgin ve Ark [36]	$T = (20 - 60) \times D$
Konya [30]	$T = 0,7 \times D(\text{ft})$
Ash [5]	$T = K_t \times B$, (K_t : 0,7-1 arasında) (2.6)

Normal koşullarda; sıkılama boyunun yük mesafesine eşit alınmasının oldukça iyi sonuçlar verdiği hemen tüm araştırmacılarca kabul görmüş bir yaklaşımdır.

Patlatma uygulamalarında delikler genellikle sıralı (kare) ve şeşbeş düzeninde delinmektedir. Sıralı düzende deliklerin yerlerinin belirlenmesi (işaretlenmesi) ve delinmesi daha kolay olmasına karşılık, şeş-beş düzeninde patlayıcı madde enerjisi, kayaç kütlesi üzerinde optimum bir yanal yayılım gösterir ve parçalanmanın eşit boyutta olmasını sağlar. Ayrıca, şeş-beş delik düzeninde patlama enerjisinden etkilenmeyen alan en az miktardadır. Kare delik düzeninde yük mesafesi ve delikler arası mesafe eşit alınır. Yani $B/S = 1$ 'dir. Kare düzende $B=S$ olduğu için delikler birbiri arkasına gelecektir. Şeşbeş düzende yük mesafesi ve delikler arası mesafe eşit olabilir. Fakat genelde yük mesafesi delikler arası mesafeden küçük olarak ayarlanır. Bu düzende arka sıradaki delikler ön

sıradaki deliklere göre ortadadır. Şeşbeş düzende patlatma sıralarının en sonunda düzgün ayna elde edebilmek için ekstra delik delinmesi gerekir. Delik düzeni saptandıktan sonra dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, delik yerlerinin ölçülerek belirlenmesi ve rahatça görülebilecek şekilde işaretlenmesidir. Eğer bu işlem titizlikle yapılmazsa, patlama sonucunda bazı bölgeler gereğinden fazla patlama enerjisinden etkilenirken bazıları çok az etkilenecektir [4].

Delik eğimi konusuna geldiğinde, genel olarak eğimli delik kullanımı, patlatma verimliliğini arttırdığının yanı sıra, geri çatlak, kaya fırlaması ve yer sarsıntısı gibi olumsuzlukları azalttığı pek çok araştırmacı tarafından gözlemlenmiştir. Öte yandan çok sağlam kayalar için dik delik kullanımının olumlu sonuçlar verebileceği çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir. Delik eğiminin çeşitli araştırmacılar arasında genel olarak kabul edilmiş en düşük değeri 45° 'dir [37]. Olofsson [24] başarılı bir patlatma için, delik eğimini 71° olarak önerirken, Rosenberg [38] $65^\circ-75^\circ$ ve Gregory [38], $60^\circ-65^\circ$ olarak önermektedirler. Delik eğiminde etkili olan diğer bir değişken ise basamak yüksekliği ve delik hata payıdır [33,38].

Delikteki patlayıcı maddenin zamanında ve güvenilir bir şekilde patlatılmasında, yem sayısı ve konumu önem taşımaktadır. Gereğinden uzun şarj kolonunda, yem, detonasyonun sönümlenmesi nedeniyle yeterli olmayabilir. Tabana konan bir yemlemenin uygun nitelikte ateşleyebileceği şarj kolonu uzunluğunun tahmin edilmesi, dolayısıyla delikteki yem sayısının belirlenmesi amacıyla bazı ampirik yaklaşımlar geliştirilmiştir [1]. Öte yandan, iyi bir ateşleme için yemleme çapının yaklaşık olarak şarj çapına eşit olması ve yemleme uzunluğunun şarj çapının 2 ila 4 katı arasında bulunması bazı araştırmacılarca önerilmektedir[38].

Genel olarak, basamak patlatma delikleri iki farklı şekilde şarj edilmektedir. Bunlar, sürekli ve kısmi şarjdır. Kısmi şarj özel durumlar için geçerlidir. Buna karşılık sürekli şarj kapsamında ifade bulan kolon şarjı ise en genel uygulama biçimidir. Sürekli şarj durumunda, delikteki şarj boyu; kaya özellikleri ve patlayıcı madde cinsi dikkate alınarak ikiye ayrılmıştır.

- Dip şarjı
- Kolon şarjı

Delik taban kısmında daha fazla enerji ihtiyacı nedeniyle, genellikle delik tabanına konacak patlayıcı madde gücünün daha fazla olması gerekir. Ayrıca patlayıcı maddenin

ayna boyunca iyi dağılımını sağlamak için patlayıcı madde kolonunun belirli bir uzunlukta olması hususu, patlama teorisi açısından gereklidir. Konuyla ilgili olarak çalışmalar yapan bazı araştırmacılar, dip ve kolon şarjının boylarını yük mesafesinin fonksiyonu olarak aşağıda verildiği gibi ifade etmişlerdir.

Dip şarjı uzunluğu;

Çizelge 2.15. Dip şarj uzunluğu için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Langefors ve Ark [22]	$BCL = B + U = 1,3 \times B$
Dick ve Ark [38]	$BCL = (0,3- 0,6) \times (B + U)$

Patlayıcı konsantrasyonu kolon bölgesinde, dip şarjdaki enerjinin 0,4-0,6 kadarı yeterli olmaktadır. Bunu elde etmenin değişik yolları vardır. Dip şarjda kalın çaplı kartuşlar ve özel şarj cihazları kullanıp, yüksek yoğunluk elde edilebilir. Kolon şarjda ise ince kartuşlar kullanılabilir[38].

Kolon şarjı uzunluğu;

Çizelge 2.16. Kolon şarjı uzunluğu için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Langefors [22]	$CCL = L - 2,3 \times B$
Atlas Powder [39]	$CCL = L - L_{dip} - T$

Kolon şarj konsantrasyonu;

Çizelge 2.17. Kolon şarjı konsantrasyonu için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Tamrock [15]	$I_{kol} = 0,4 \times L_{dip}$
Langefors [22]	$I_{kol} = (0,4 - 0,5) \times L_{dip}$

Kolon şarjı miktarı;

$$Q_{kol} = I_{kol} \times L_{kol}$$

Güvenilir ve istenilen parçalanmaya cevap veren bir atımın gerçekleştirilmesi bakımından gerek aynı sıradaki delikler arasında, gerekse delik sıraları arasında uygun bir gecikme

süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, yersarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkileride en aza indirmek bakımından zorunludur. Konuyla ilgili çalışma yapan araştırmacılar gecikme zamanını yük mesafesinin bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir [1].

Delikler arası gecikme;

Çizelge 2.18. Delikler arası gecikme için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Konya [30]	$t_h = T_H \times S$
Larsson ve Ark [38]	$t_h = 5 \times B$

Sıralar arası gecikme;

Çizelge 2.19. Sıralar arası gecikme için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Konya [30]	$t_r = T_R \times B$
Olofsson [33]	$t_r = 12 \times B$
Langefors [22]	$t_r = (3 - 5) \times B$

Burada;

t_h : Delikler arası gecikme (ms)

t_r : Sıralar arası gecikme (ms)

T_H : Delikten deliğe gecikme sabiti

T_R : Delik sıraları arasında gecikme sabiti

Arzu edilen parçalanma derecesinde bir yığının elde edilmesinde önemli unsurlardan bir diğeri, deliklerin planlanan geometrik büyüklüklerde delinmesidir. Bu konuda ne kadar ihtimam gösterilirse gösterilsin yine bazı sapmalar olmaktadır. Önemli olan bu sapma miktarlarının kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasıdır[38]. Bazı araştırmacıların delik hata payı için önerdikleri tolerans değerleri aşağıdaki şekildedir.

Çizelge 2.20. Delik hata payı için araştırmacılarca önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Eşitlik
Langefors [22]	$W = 0,05 + 0,003 \times H$
Tamrock [15]	$W = 0,05 + 0,003 \times L$
Olofson [33]	$W = (D/1000) + 0,003 \times L$

Buraya kadar olan aşamalarda bir basamak patlatmasının tüm elemanları ve nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Teknik ve ekonomik açıdan kıyaslama yapabilmek için özgül delik ve özgül şarj kavramları kullanılmaktadır. Özgül delik anlam olarak 1 m³ kayayı patlatabilmek için delinen delik boyunu gösterir [35].

$$I = \left(\frac{L}{S \times B \times H} \right)$$

Özgül şarj miktarı anlam olarak, 1 m³ kayayı patlatmak için kullanılan patlayıcı madde miktarını gösterir.

$$q = \left(\frac{Q}{S \times B \times H} \right)$$

2.1.7. Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımı Tahmin Modelleri

Patlatmadan sonra oluşan yığınin parça boyut dağılımı, patlatmanın verimliliği hakkında bilgi veren en önemli değişkenlerden biridir. Patlatma sonrası oluşan boyut dağılımı; kayaç parametreleri, patlayıcı parametreleri, delme – patlatma düzeni gibi birçok değişken tarafından kontrol edilmektedir. Parça boyut dağılımının tahmini için en popüler model Cunningham'ın [41] geliştirdiği Kuz-Ram modelidir. Kuz-Ram modeli, Kuznetsov [40] tarafından ortalama boyut (X_{50}) tahmini için önerilen ampirik eşitlik ile Rosin ve Rammler [40] tarafından önerilen boyut dağılım fonksiyonunun Cunningham [41] birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Daha sonrası boyut dağılımının tahmini ile ilgili yapılan çalışmalarda ya Kuz-Ram modelinin yetersiz olduğu öne sürülerek alternatif model geliştirilmeye çalışılmış ya da bu modelin yetersizliğini giderecek yeni katsayılar geliştirilmiştir.

Kuz-Ram Modeli : Bu modelde kaya hacmi başına ortalama parça boyutu ve uygulanan patlayıcı enerjisi arasındaki ilişki Kuznetsov [40] tarafından kaya katsayısının bir fonksiyonu olarak geliştirilmiştir [41].

$$X_{50} = A \times q^{-0,8} \times Q^{\frac{1}{6}} \times \left[\frac{115}{E} \right]^{\frac{19}{30}}$$

Kaya kütlelerinin etkisi bir katsayı olarak 7 ile 13 arasında önerilmiştir. Bu şekilde kaya katsayısı kaya kütlelerinin karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtmadığı için, Cunningham [41] bu eksikliği gidermeye çalışmıştır. Kaya kütlesi patlatılabilirliği ile ilgili Lilly [40] tarafından önerilen kaya kütlesi patlatma katsayısı, ortalama boyut tahmini eşitliğinde kullanılan kaya katsayısının belirlenmesinde baz alınmıştır. Buna göre kaya katsayısının hesaplanmasında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$A = 0.06 (RMD + JF + RDI + HF) \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte kullanılan değişkenlerin açılımı Çizelge 2.21’de verilmiştir.

Çizelge 2.21. Kaya katsayısının belirlenmesinde kullanılan değişkenler [40]

Sembol	Özellik	Değer
A	Kaya katsayısı	
	Kaya kütle tanımı	
RMD	Kırılğan ve gevrek	10
	Düşey eklemli	= JF
	Masif	50
JF	JPS+JPA	
	Düşey süreksizlik aralığı	
JPS	Ortalama süreksizlik aralığı <0,1 m	10
	0,1-1 m arasında	20
	>1 m	50
	Süreksizlik düzlemi açısı	
JPA	Yüzeyin dışına doğru	20
	Yüzeye dik	30
	Yüzeyin içine doğru	40
RDI	Kayaç yoğunluğu etkisi	= 25RD-50
RD	Kayaç yoğunluğu (gr/cm ³)	
	Sertlik katsayısı	
HF	Eğer Y<50 (GPa)	= Y/3
	Eğer Y>50 (GPa)	= UCS/5
Y	Young modülü (GPa)	
UCS	Tek eksenli basınç dayanımı	

Rosin ve Rammler [40] boyut dağılımı fonksiyonunu aşağıdaki eşitlik gibi tanımlamışlardır.

$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n}$$

Rosin-Rammler denkleminde X_c belirlenirse, yeni denklem aşağıdaki gibi olur.

$$X_c = \frac{X}{\left\{\ln \frac{1}{R}\right\}^{1/n}}$$

Cunningham [41] X₅₀ değerini Kuznetsov tarafından önerilen ortalama boyut değeri (X=X₅₀)=0,5 (%50) kabul ederek dağılımı belirlemiştir. Buna göre, karakteristik boyut eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$X_c = \frac{X_{50}}{(0,693)^{\frac{1}{n}}}$$

Buradaki üniformluk katsayısı, Cunningham [41] tarafından tanımlanmıştır. Buna göre üniformluk katsayısı aşağıdaki gibidir;

$$n = \left(2,2 - 14 \left(\frac{B}{D}\right)\right) \times \left[\frac{1+\frac{S}{B}}{2}\right]^{0,5} \times \left(1 - \frac{W}{B}\right) \times \left[\frac{BCL-CCL}{L} + 0,1\right]^{0,1} \times \left(\frac{L_c}{H}\right) \quad (2.8)$$

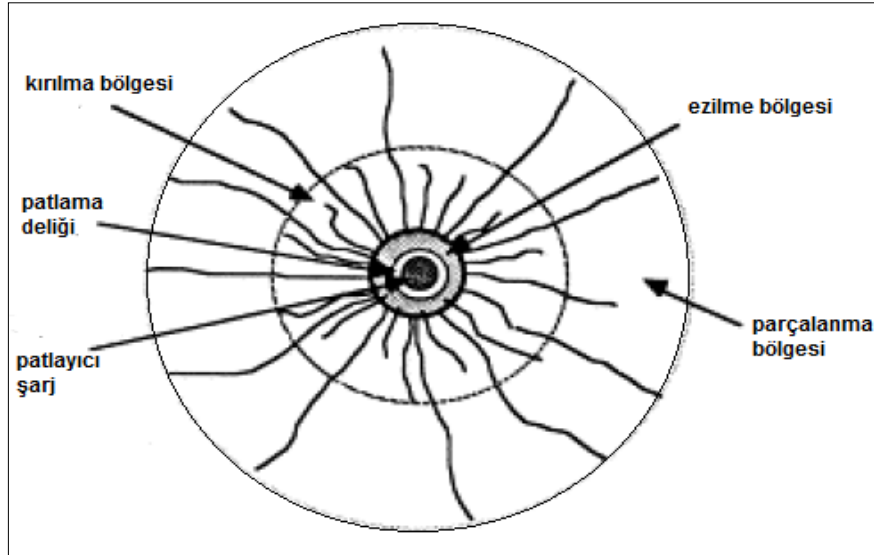
Burada,

$$W = 0,1 + (0,03 \times H)$$

Üniformluk katsayısı, Rosin ve Rammler dağılım eğrisinin eğimini belirleyen ana katsayıdır. Üniformluk değerinin yüksek olması, boyut dağılımı eğrisinin dik olmasına sebep oluyor. Bu değer düşük olması, yığının boyut dağılımının üniform olmadığını gösterir. Üniformluk katsayısı eşitliğinde görüldüğü gibi, yük mesafesi/delik çapı oranı üniformluk katsayısını azaltır, delikler arası mesafe/yük mesafesi üniformluk katsayısını artırır. Normalde n değeri 0,75 ile 1,5 arasında değişir.

Eğer delik paterni kare düzeninde ise bu denklem uygulanır. Eğer delik paterni şerhbeş şeklinde ise n değeri %10 yükseltilir [40].

JKMRC Modeli : Julius Kruttschnitt mineral araştırma merkezinde (Julius Kruttschnitt Mineral Research Center) delik patlatmaları için iki parçalanma modeli geliştirilmiştir. Ezilme bölgesi modeli (CZM) ve iki elemanlı model (TCM). Bu modellerin her ikisi de aslında Kuz-Ram modeline dayalıdır. Bu modelin arkasındaki temel varsayım, kaya parçalanmasına neden olan iki ayrı mekanizmadır. JKMRC modelleri boyut dağılımını, Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilen patlatma deliği etrafında oluşan patlayıcı basıncına ve gerilme dağılımına bağlı olarak oluşan bölgelerin belirlediğini öne sürmüşlerdir. Bu varsayımla modellerini ezilme bölgesinin ince boyut dağılımını, kırılma bölgesinin de iri boyut dağılımını belirlediği ilkesine göre geliştirmişlerdir [42].



Şekil 2.6. Patlatma deliği ve çevresi ateşleme sonrası şematik görüntüsü [43]

CZM Modeli : Ezilme bölgesi modeli (CZM-Crushed Zone Model) tane boyut dağılımı eğrisini açıklamak için, iki farklı Rosin-Rammler fonksiyonunu kullanmaktadır. Birinci fonksiyon eğrideki ince boyut bölgesini, ikinci fonksiyon ise eğrideki iri boyut bölgesini tanımlar. İki eğri, kaya kütlesi özelliklerine bağlı bir karakteristik tane boyutunda (X_c) birleşirler. Ezilmiş bölgede en iri tane boyutu 1 mm olarak varsılır. karakteristik tane boyutu ise, sağlam kayalar için ($UCS > 50$ Mpa) X_{50} ve çok yumuşak kayalar için ($UCS < 10$ Mpa) X_{90} arasında değişmektedir [44].

Parçalanma eğrisindeki iri boyut dağılımı, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$P(x) = 1 - e^{\left\{ \ln[1 - P(x_c)] \times \left[\frac{x}{x_c} \right]^{n_{iri}} \right\}}$$

Bu eşitlikte;

$P(x)$: X açıklığa sahip elekten geçen malzeme yüzdesi (%)

$P(x_c)$: Karakteristik boyutu (X_c) geçen malzeme yüzdesi (%)

X: Elek açıklığı (m)

X_c : Karakteristik boyut (m)

n_{iri} : İri boyut için üniformluk katsayısı

$$n_{iri} = \left\{ 2,2 - 14 \times \left(\frac{B}{D} \right) \right\} \times \sqrt{\left\{ \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right\}} \times \left\{ \frac{L_c}{H} \right\}$$

İnce malzemenin, patlama deliği etrafında silindirik ezilmiş bölgeden kaynaklandığı varsayılmaktadır [44]. Radyal gerilmelerin kaya kütlelerinin basınç dayanımını aşan noktadan, patlatma deliğine kadar olan mesafe, Ezilmiş bölgenin yarıçapı olarak kabul edilir ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$r_c = r \sqrt{\frac{P_d}{\sigma_c}}$$

Burada;

r_c : Ezilme bölgesinin yarıçapı (m)

r : Delik yarıçapı (m)

P_d : Detonasyon basıncı (Pa)

σ_c : Kayanın tek eksenli basınç dayanımı (Pa)

Detonasyon basıncı, aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir;

$$P_d = \rho_c \times \frac{V_e^2}{4}$$

Bu eşitlikte;

P_d : Detonasyon basıncı (Pa)

V_e : Detonasyon hızı (m/sn)

ρ_c : Patlayıcı yoğunluğu (kg/m³)

Parçalanma eğrisindeki ince boyut dağılımı, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır.

$$P(x) = 1 - e^{\left\{ \ln[1 - P(x_c)] \times \left[\frac{x}{x_c} \right]^{n_{ince}} \right\}}$$

$$n_{ince} = \frac{\ln \left\{ \frac{\ln(1 - F_c)}{\ln(1 - P(x_c))} \right\}}{\ln \left[\frac{1}{x_c} \right]}$$

Burada;

$P(x)$: X açıklığa sahip elekten geçen malzeme yüzdesi (%)

$P(x_c)$: Karakteristik boyutu (X_c) geçen malzeme yüzdesi (%)

X : Elek açıklığı (m)

X_c : Karakteristik boyut (m)

n_{ince} : İnce boyut için üniformluk katsayısı

F_c : Ezilmiş bölge malzeme oranı

Ezilmiş bölgenin malzeme oranı, aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir;

$$F_c = \frac{V_c}{V_b}$$

Burada;

F_c : Ezilmiş bölge malzeme oranı

V_c : Ezilmiş bölge malzeme hacmi (m^3)

V_b : Toplam malzeme hacmi (m^3)

İki Elemanlı Model (TCM) : İki elemanlı model [45] iri ve ince boyut dağılımını belirlemek için aynı anda iki fonksiyonunu kullanır. Bunun sonucunda elde edilen parça boyut dağılımı eğrisi, CZM modeli aksine düzgün bir eğime sahiptir. CZM modeli eğrisinde, karakteristik boyut'ta (X_c) bir kırılma noktası vardır. İki elemanlı model boyut dağılım fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$P(x) = 100 \times \left\{ 1 - (1 - F_c) \times e^{-\ln 2 \times \left[\frac{x}{a} \right]^b} - F_c \times e^{-\ln 2 \times \left[\frac{x}{c} \right]^d} \right\}$$

Burada;

$P(x)$: X boyutundan küçük olan malzeme yüzdesi (%)

F_c : Ezilmiş bölge malzeme oranı (%)

a : Ezilme bölgesi dışında kalan ortalama parça boyutu (m)

b : Ezilme bölgesi dışında kalan üniformluk katsayısı

c : Ezilme bölgesi ortalama parça boyutu (m)

d : Ezilme bölgesi üniformluk katsayısı

Eşitlikteki c ve d değerleri, patlama odası testleri ile belirlenir. Numuneler burada patlatılır ve parçalar daha sonra arzu edilen değerleri elde etmek için elenir. Yukarıdaki a ve b değerleri ise, Kuz-Ram modelindeki X_{50} ve n değişkenleri gibi hesaplanır sadece JPS ve RDI değerlerinde hafif değişiklikler yapılır. Ezilmiş bölge malzeme oranı (F_c), CZM modeli ile aynı şekilde hesaplanır.

TCM modelinde ezilme bölgesi yarıçapı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$r_c = \left\{ \frac{r}{\sqrt{\frac{24 \times TS_{yerinde}}{P_d}}} \right\} - r$$

Burada;

r_c : Ezilme bölgesi yarıçapı (m)

r : Delik yarıçapı (m)

P_d : Detonasyon basıncı (Pa)

$TS_{yerinde}$: Kaya kütlesi yerinde çekme dayanımı (Pa)

Detonasyon basıncı, CZM modeli ile aynı şekilde hesaplanır. Kaya kütlesi yerinde çekme dayanımı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$TS_{yerinde} = \sigma_c \times \left\{ \frac{0,05}{OBB} \right\}^{0,18}$$

Burada;

σ_c : Kayanın çekme dayanımı (Mpa)

OBB : Ortalama blok boyutu (m)

KCO Modeli : KCO modeli [46] Kuz-Ram modelinin genişletilmiş bir versiyonudur. KCO modeli aslında yeni bir fonksiyon ile Kuz-Ram modelinde parçalanma eğrisini tanımlamak için kullanılan Rosin-Rammler fonksiyonu yerine geçmiştir. Bu yeni model, Swebrec fonksiyonudur. Swebrec dağılım fonksiyonunda 3 değişken kullanılmaktadır; X_{50} malzemenin %50'sinin geçtiği ortalama boyut, X_{max} en büyük parça boyutu ve b dağılım fonksiyonunun kıvrımlığını belirleyen katsayı. Bu katsayı Rosin-Rammler dağılım fonksiyonuna önerilen 'n' üniformluk katsayısına benzerdir. KCO modelinde kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir;

$$P(x) = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[\frac{\ln \left[\frac{X_{max}}{X} \right]}{\ln \left[\frac{X_{max}}{X_{50}} \right]} \right]^b \right\}}$$

$$b = \left\{ 2 \times \ln 2 \times \ln \left[\frac{X_{max}}{X_{50}} \right] \right\} \times n$$

Bu eşitlikte;

$P(x)$: X açıklığa sahip elekten geçen malzeme yüzdesi (%)

X_{max} : Yerde en büyük blok boyutu (cm)

b : Dağılım fonksiyonu kıvrımlık katsayısı

Larsson Modeli : Larsson [47] ortalama tane boyutu için bir eşitlik önermiştir. Bu modele göre ortalama tane boyutu aşağıdaki eşitlikten tahmin edilmektedir [47].

$$K_{50} = \hat{S} \times e^{\{[0,58 \times \ln B] - [0,145 \times \ln(\frac{S}{B})] - [1,18 \times \ln(\frac{q}{c})] - 0,82\}}$$

Burada;

Patlayabilirlik sabiti (\hat{S}), kaya yapısı ve heterojenliği ile ilgili bir değerdir.

Çok eklemli ve çatlaklı kaya için; $\hat{S} = 0,60$

İnce eklemli normal kaya için; $\hat{S} = 0,50$

Nispeten homojen kaya için; $\hat{S} = 0,45$

Homojen kaya için; $\hat{S} = 0,40$

Kaya sabiti (c), şarj yoğunluğuna benzer bir kavramdır ve genellikle 0.3 ila 0.5 kg/m³ arasında bir değere sahiptir.

SVEDEFO Modeli : SVEDEFO (İsveç detonic araştırma vakfı) modeli, Larson modeline, basamak yüksekliği ve delikteki sıkılamanın etkisini ekleyerek yeni bir eşitlik geliştirmiştir. SVEDEFO modeli aşağıda yer almaktadır [47].

$$K_{50} = \hat{S} \times \left[1 + 4,67 \left(\frac{T}{L} \right)^{2,5} \right] \times e^{\left\{ \left[0,29 \times \ln B^2 \times \sqrt{\frac{S}{1,25}} - 1,18 \times \ln \left(\frac{q}{c} \right)^{-0,82} \right] \right\}}$$

2.1.8. Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi

Patlatmadan sonra oluşan yığınin parça boyut dağılımı, patlatmanın verimliliği hakkında bilgi veren en önemli değişkenlerden biridir. Parça boyut dağılımı, kayaç parametreleri, patlayıcı parametreleri, delme-patlatma düzeni gibi birçok değişken tarafından kontrol edilmektedir. Patlatma sonrası oluşan parçalanmanın belirlenmesi için kullanılan çeşitli

yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler klasik yöntemler ve sayısal görüntü analiz yöntemi olarak iki temel başlık altında toplanabilir [48,49].

Elek analizi: Bu yöntemde, oluşan yığından örnekler alınarak elek yardımıyla parça boyut dağılımı analizi yapılır. Boyut dağılımı belirlendikten sonra, istatistiksel yöntemlerle tüm yığının parça boyutu tahmin edilir.

Birincil kırıcı performansı: Patlatmadan sonra oluşan parçaları kırmak ve küçültmek için kullanılan kırıcıların performansını, makineye giren parçaların boyutları belirler. Gereğinden iri ve ya gereğinden ince parçalarla beslenen kırıcıların performansı düşeceğinden, kırıcı performansı takip edilerek patlatma sonrası parçalanma hakkında yorum yapılabilir. Bu yöntem küçük işletmeler için uygun olabilir.

Üç nokta yöntemi: Parça boyut dağılımının kestirilmesinde kullanılan üç nokta yöntemi görsel bir yöntemdir. Bu yöntemde, boyut-dağılım eğrisi, görsel olarak kestirimi yapılan üç noktadan geçmektedir. Bu noktaları, 10 mm'den küçük tanelerin % ağırlığı, ortalama parça boyutu yüzdesi ve en büyük parça boyutunun % ağırlığı oluşturmaktadır.

Fotoğraf tekniği: Bu yöntemde, farklı atımlar sonucunda elde edilen yığınlardan fotoğraflar çekilir. Bu fotoğrafların karşılaştırılması yapıp parçalanma hakkında bir yorum getirilir.

Sayısal görüntü analizi: Son yıllarda dünya genelinde en çok kullanılan parça boyut dağılımı tespit yöntemidir. Bu yöntemde, yığından elde edilen görüntüler bilgisayarda görüntü işleme teknikleri kullanılarak analiz edilmektedir [50]. Bu görüntü, fotoğraf gibi gözle görünen bir biçimde olabileceği gibi, manyetik bant'ta yazılı bir kayıt ya da bilgisayar belleğinde duran sayısal değerler biçiminde olabilir [51]. Bu yöntemin avantajları şöyledir [52];

- Hızlı ve basit bir işlemdir
- Üretim işleminde herhangi bir kesintiye gerek duyulmadan ölçümler yapılır
- Analizlerde ve sonuçlarda hatasız sonuçlar sağlar
- Üretim işlemlerinde tekdüze kullanımlara uygundur
- Maliyeti düşük ve kullanılan gereçler basittir

Yukarıda anlatılan bütün metotların içinde en güvenilir sonuçlara yığının elek analizinin yapılması ile ulaşılabilir. Ancak yığının elek analizinin yapılması her ölçekte mümkün olamamakta ve uygulanması yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Bu yüzden günümüz

teknolojisi ile kullanılabilir en iyi yöntem görüntü işleme yöntemidir. Tam ölçek kayaç patlatma testlerinde veya üretim patlatmalarında, maliyet ile kesinlik arasındaki denge en iyi bu metotla sağlanabilmektedir.

Görüntü işleme metotları ile parça boyut dağılımının hızlı bir şekilde yapılabilmesi ve patlatma veriminin değerlendirilmesinin avantajlarını gören çeşitli gruplar ve organizasyonlar araştırmalarını ilerleterek sadece patlatma sonucu oluşan yığın boyut analizi yapan programlar geliştirmişlerdir. Bu programlar temel görüntü işleme ek olarak boyut dağılımı grafiğini ve sayısal verilerini üretmeye yöneliktir. Bu programların bazıları şöyledir [53];

- IPACS
- TUCIPS
- Fragscan
- CIAS
- GoldSize
- WipFrag
- Split Desktop
- PowerSieve
- Fragalyst

2.1.9. Patlatma Uygulamalarında Kullanılan Bazı Yazılımlar

Delme-patlatma çalışmaları için ticari niteliği olan bir çok yazılım geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları delme-patlatma tasarımı yapmak, bazıları da patlatma sonucunu ve patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunları analiz etmek için kullanılabilir. Bu yazılımlar dört grup altında şöyle sıralanabilir [54];

A) Basamak patlatması için delme-patlatma tasarımı yapan yazılımlar

- JKSimBlast
- WipFrag
- DelPat
- Blasp
- Structural Blast Designer

B) Tünel patlatmaları için bazı yazılımlar

- JKSimBlast
- AEL Tunnel 2000
- AEL Ring 2000

C) Patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunların analizi için kullanılan yazılımlar

- JKSimBlast
- Rockmate
- Master Blaster & InventoryManagement Software System
- Vibration Consultant
- Vibration Assistant

D) Parça boyut dağılım analizi için kullanılan bazı yazılımlar

- JKSimBlast
- WipFrag
- WipJoint
- Split Online ve ya Split Desktop
- DelPat
- Blast Maker
- Blasp

Bu çalışmada JKSimBlast yazılımı kullanılmıştır. JKSimBlast yazılımı Avustralya, Brisbane'de bulunan Julious Kruttschnitt Technic tarafından geliştirilen ödüllü, genel amaçlı bir patlatma tasarım yazılımıdır [55].

2.2. Önceki Çalışmalar

Patlatma tasarımı ve ya parçalanma analizi konusunda şimdiye kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların genelinin amacı, patlatma tasarımını kolaylaştıracak yaklaşımlar sunmak ve ya tasarımlardan elde edilen sonuçları analiz etmektir. Burada bu çalışmaların bazısı verilmiştir.

İlk olarak, Dirikolu [56] tarafından Kayseri Pınarbaşı Mehmet Kemal Dedeman yeraltı krom işletmesinde patlatma optimizasyonu için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Bu çalışmada, ilgili işletmede 2004 yılında başlayan hazırlık ve üretim çalışmaları inceleme altına alınmıştır. Bu incelemede, delme ve patlatma faaliyetlerinde bazı sorunlara rastlanmıştır. Bunlar; düzensiz delik delme, özgül şarj miktarının fazlalığı, verimsiz

parçalanma ve başka düzeltilmesi gereken sorunlardır. Bu nedenle, çalışmalar delme ve patlatma üzerinde yoğunlaştırılıp, işletme için en uygun delik düzeni elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, İlk başta, patlatmaların tasarımı esnasında hataların en düşük düzeye indirilebilmesi için, literatürden birçok yaklaşım incelenmiş, delme-patlatmaya etki eden değişkenler araştırılmıştır. Kaya birimlerinden örnek alınıp, laboratuvar ortamında örneklerin fiziksel yapısı hakkında veriler elde edilmiştir. Daha sonra, işletmede hazırlık ve üretim faaliyetleri için uygulanmakta olan yöntem ve kaya malzeme-kütle özellikleri göz önünde bulundurularak deneme yanılma yöntemi ile en uygun patlatma koşulları belirlenmiştir. Bu koşulların belirlenmesinde, parça boyut dağılımı, özgül şarj, atım boyu ve maliyetler esas alınmıştır. Son olarak, belirlenen delme-patlatma tasarımını optimum düzeye getirmek amacıyla, patlatma sonrası parçalanma verimlilik analizleri yapılmıştır.

Dağçimen [38] tarafından yapılan bir çalışmada, patlatma tasarımı için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bunun için en başta, delme-patlatmaya etki eden değişkenler araştırılmıştır. Bu değişkenlerin arasındaki ilişkileri anlamak için, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen yaklaşımlar incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda, tünel ve basamak patlatmaları için Langefors yaklaşımı, parça boyut dağılımı için ise Kuz-Ram modeli kullanılarak DelALPat adında bir bilgisayar programı yazılmıştır. DelALPat programının içeriğinde, hem basamak ve tünel patlatma tasarımı hemde parça boyut dağılımı analizi yapabilen modüller mevcuttur. Bu yazılım, basit patlatmaların kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi için geliştirilmiştir.

Geliştirilen yazılımın test etmek için bazı deneysel saha çalışmalarından yararlanılmıştır. Basamak patlatması tasarımı için, Ayazağa köyü mevkiinde bulunan iki adet kırmataş ocağı seçilmiştir. Tünel patlatması için ise, Sair Kahraman ve Alaettin Kılıç tarafından tasarlanan Tarsus ayrımı Gaziantep otoyolu T2 tüneli uygulaması seçilmiştir. Örnek sahaların verileri DelALPat programına girilip, üretilen sonuçlar gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yazılımdan elde edilen sonuçların gerçek saha verilerine yakın olmasına rağmen, deneme yanılma yöntemi ile modifiye edilme gereksinimi, çalışmanın bir çok kısmında ifade edilmiştir.

Ashutosh Mishra [16] tarafından yapılan bir çalışmada, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlerin açık ocak basamak patlatmalarındaki etkileri belirlenmiştir. Bu araştırmaların sonucunda, Langefors and Kihlstrom [22] tarafından önerilen yaklaşımlara dayanarak 'OCBlasts1.0' adlı bir bilgisayar yazılımı hazırlanmıştır. Bu yazılım, C++

programlama dilinde geliştirilmiş, 'NetBeans IDE 6.5' programı yardımı ile Java platformunda inşa edilmiştir. Geliştirilen yazılım, 'Joda' demir ocağında ve bir kömür madeninde test edilmiş ve makul sonuçlar elde edilmiştir.

Kwangmin Kim [53] tarafından yapılan çalışmada, kaya kırılma tokluğu değerleri ve fotoğraf analizi yöntemi kullanılarak patlatma tasarımı için yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı; özgül patlayıcı enerjisini (E_{SE}), parça küçültme oranı (RR) ve kaya kırılma tokluğu (K_{IC}) ile ilişkilendirerek ampirik bir model geliştirmektir. Daha sonra geliştirilen bu model Kuz-Ram modeli ile birleştirilerek, parça boyutu dağılımı için eşitlikler geliştirilmiştir. Parça küçültme oranı, basamak yüzeyindeki blok boyutu dağılımı ve parçalanmış yığındaki parça boyutu dağılımı analizi ile elde edilmiştir. Bu işlem, fotoğraf analiz yöntemi ile yapılmıştır. Kaya kırılma tokluğu ise, 'Edge Notched Disk Wedge Splitting' testi ile elde edilmiştir. Bu yöntem ile yapılan testlerde, örnek kayaların kırılmaya karşı dirençleri belirlenmiştir.

Örnek çalışma olarak, 4 farklı ocakta yapılan patlamaların verileri analiz edilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$E_{SE} = 11,7RR_{80}^{1,202} \times K_{IC}^{4,14}$$

Burada;

E_{SE} : Özgül patlayıcı enerjisi (Wh/ton)

RR_{80} : Parça küçültme oranı (%80'i geçen malzemeye dayanarak)

K_{IC} : Kaya kırılma tokluğu

Bu eşitlikte, belirli bir parça boyut değeri için öngörülen patlatma enerjisinin, Kuz-Ram modeli ile karışımından, yük mesafesi ve delikler arası mesafe için şu eşitlik geliştirilmiştir;

$$B \times S = \left\{ \frac{1}{11,7 \times (RR_{80})^{1,2} \times (K_{IC})^{4,1}} \right\} \times \left\{ \frac{E_x}{SG_r \times H} \right\}$$

Burada;

RR_{80} : Parça küçültme oranı (%80'i geçen malzemeye dayanarak)

K_{IC} : Kaya kırılma tokluğu

E_x : Her delikte kullanılan patlayıcı miktarı (kg)

Ayrıca, parça boyut dağılımı eğrisinden elde edilen %80 ve %50 geçen boyutlar arasındaki ilişki şöyle belirlenmiştir.

$$P_{50} = \left\{ \frac{\ln 0,5}{\ln 0,8} \right\}^{\frac{1}{n}} \times P_{80}$$

Yukarıdaki eşitlik, görgül değerler kullanılarak, basamak yüksekliği sabit kalma şartıyla, şu şekilde yazılabilir;

$$P_{50} = 0,5 \times P_{80}$$

Şallı [57] tarafından yapılan bir çalışmada, Ermenek barajı ve HES gövde kazıları patlatmaları inceleme altına alınmıştır. Bu çalışmada; Ermenek barajı ve HES projesi tanıtılıp, 700 m kotu altında uygulanan ön kesme kontrollü patlatma yöntemi incelenmiştir. Bu barajın temelden yüksekliği 230 m ve rezervuar alanı 60,74 km² genişliktedir. Bu çalışmanın amacı; barajın gövdesini oluşturacak alanda kontrollü patlatmalar tasarlayarak, bu alanı uygun boyutlara getirmektir. Bu amaç doğrultusunda, alanın sağ ve sol yamacında yapılan patlatmalarda, deneme yanılma yöntemi ile en uygun delik paterni ortaya konulmuştur. Baraj yapılacak alanda, temelin sarsılmaması ve çevreye verecek zararın en az olması için, titreşimler 30 mm/sn altında tutulmuştur. Uygulanan kontrollü patlatmalarda, sağ ve sol yamaçta şarj yoğunluğu 0,424 kg/m³ belirlenerek, toplam 120904 kg patlayıcı kullanılmış ve 284940 m³ kazı yapılmıştır.

Edizer [58] tarafından yapılan bir çalışmada, sayısal görüntü işleme yöntemi ile tane boyut dağılımı analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, 'ImageJ' yazılımı kullanılarak sayısal görüntü analizleri yapılmış ve tanelerin parça boyutları, miktarları ve ölçüm değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 'ImageJ' yazılımının seçilme amacı, bu yazılımın açık kaynak kodlu olmasıdır. Yani tamamen ücretsizdir. Bu özelliğin yanı sıra, her türlü bilgisayar sisteminde kullanılabilir ve gerektiğinde yazılım bilgisi desteği ile ihtiyaca göre programlanabilecek avantajlara sahiptir. Bu özellik sayesinde yazılımı geliştirmek ve ihtiyaca göre şekillendirmek, kullanıcının elinde olmakla birlikte, herhangi bir telif ücreti, güncelleme ücreti vb. ek bedellerin ödenmeyeceği garantilenmiş durumdadır. Bu da çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, 'ImageJ' yazılımının güvenilirliğini ortaya koyabilmek için, boyutları bilinen bazı objelerin sayısal görüntüleri analiz edilerek alanları ve boyutları ölçülmüştür. Ayrıca boyutları daha önceden bilinmeyen rastgele seçilmiş taş parçaları ile bazı araştırmacıların makalelerinde yer alan

ve elek analizi sonuçları alınmış sayısal görüntüler de kullanılmıştır. Bu taş parçalarının sayım ve boyut ölçümleri, iki yöntem ile yapılmıştır. El ile ve sayısal görüntü analizi yöntemi ile. Bu iki yöntemden ortaya çıkan sonuçlar çizelgelere aktarılmıştır. Elde edilen bu değerler kullanılarak elle yapılan ölçümler için tane miktarı, ortalama tane boyutu, en büyük ve en küçük tane boyutu değerleri elde edilmiştir. 'ImageJ' yazılımı kullanılarak elde edilen değerlerden ise, tane miktarı, ortalama tane boyutu, ortalama ve toplam alan, ortalama ve toplam çevre değerleri elde edilmiştir. Daha sonra bu çizelgelerdeki parçaların tane boyut dağılımını görebilmek amacıyla, tane boyut değerlerinin karşılaştırılmalı histogram grafikleri çizilmiştir. Sonuç olarak el ile ölçüm ve sayısal görüntü analizi sonucu alınan ölçüm değerleri arasında büyük farklılıklar olmadığı, ortalama tane boyutu ve standart sapmanın birbirine yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Topal [59] tarafından yapılan bir çalışmada, kırmataş işletmelerinde parça boyutunun üretim sürecine ve maliyetlere olan etkileri araştırılmıştır. Kırmataş sektöründe, üretici firma sayılarının artması ile birlikte, rekabet artmıştır. Bu da kar oranlarının düşmesine sebep olmuştur. Üreticiler, bu durum karşısında kar oranlarını yeniden arttırabilmek için üretim maliyetlerini azaltma yönüne gitmişlerdir. Bu ise üretim faaliyetlerindeki süreçlerin dikkatlice izlenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, kırmataş işletmelerinin genel verimliliğini arttırmak ve maliyetin düşmesini sağlamak için bir takım çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar şöyledir: Kırmataş işletmelerinde öncelikle üretim süreçleri belirlenmiştir. Bir kırmataş işletmesindeki süreçler şöyledir; planlama, delme-Patlatma, yükleme, nakliye ve kırma-sınıflandırma. Bu süreçler tek tek incelenerek, kritik süreç tespit edilmiş, süreçlerin birbirleri ile etkileşimleri ortaya konularak, verimliliği arttıracak yaklaşımlar tespit edilmiştir. Bunun için bir kırmataş işletmesindeki üretim süreçleri iki yıl boyunca izlenmiş ve çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bu süreçlerdeki değişkenler dikkatle incelenmiş, her birinin toplam maliyet'teki etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda delme-patlatma sürecinde elde edilen ürün boyutu, takip eden tüm süreçlerin verimliliğini ve maliyetlerini etkilediği tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak kırmataş üretimindeki kritik sürecin delme-patlatma süreci olduğu ortaya konmuştur. Delme-patlatma sonucu oluşan yığındaki parça boyutu büyüdükçe delme-patlatma maliyeti azalmakta ancak takip eden yükleme, nakliye ve kırma-sınıflandırma süreçlerindeki maliyetler artmaktadır. Tüm bunlar birlikte değerlendirildiğinde, toplam üretim maliyetinin, patlatma sonrası elde edilen yığındaki parça boyutunun artmasına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Patlatma sonrası oluşan boyut dağılımında, delik düzeni ve kayacın

mekanik özellikleri etkili olmaktadır. Farklı mekanik özelliklere sahip yerlerde aynı delik düzeni uygulamak homojen olmayan parça boyut dağılımına neden olduğu için maliyetler üzerinde olumsuz etkiye sahip olmaktadır. Bunun önlenmesi için sahada kaya mekaniği özellikleri ve diğer değişkenlere bağlı olarak istenen parça boyut dağılımını sağlayacak farklı delik düzenleri uygulaması gerekliliği tespit edilmiştir. Böylece üretim maliyetlerini en düşük seviyede tutabilmek için delme patlatma sürecinde sistematik çalışmalar yapılması gerekliliği ortaya konmuştur.

Yonar [37] tarafından yapılan bir çalışmada, açık ocak patlatmalarında bilgisayar yazılımlarının kullanımı araştırılmıştır. Açık ocaklarda, basamak patlatmalarının tasarımı ve analizi için, bir çok yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan elde edilen sonuçların doğruluğunu test etmek için gerçek saha çalışmalarını kullanmak gerekir. Şöyle ki; gerçek patlatma çalışmalarının bilgileri, bilgisayar yazılımlarına aktarılır ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılır. Eğer yazılımdan elde edilen sonuçlar gerçek saha çalışmalarından elde edilen sonuçlara uyuyorsa, yazılım güvenilirdir. Bu çalışmada, gerçek saha çalışmaları için Afyonkarahisar Beyyazı beldesinde ve Emirdağ ilçesinde bulunan iki farklı kalker ocağının basamak patlatmaları seçilmiştir. Bu ocaklarda, patlatmalar sonucu oluşan yığının yerinde parça boyut dağılımı 'Split Desktop' yazılımı kullanılarak görüntü analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Parça boyut dağılımının tahmininde ise JKSimBlast yazılımı kullanılmıştır. Uygulanan tasarım parametreleri ve kaya özellikleri, JKSimBlast yazılımına aktarılmış ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar, Split Desktop yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılıp, JKSimBlast yazılımının gerçek değerlere çok yakın tahminlerde bulunduğu belirlenmiştir. Ancak her ocak için bir düzeltmeye ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Böylece JKSimBlast yazılımından elde edilen sonuçlar bir düzeltmeye tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak, seçilen tasarım parametreleri ile oluşacak parça boyutunun JKSimBlast yazılımı ile önceden tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmadaki kalker ocaklarının verileri, gelecek bölümlerde test çalışması olarak kullanılmıştır.

Buraya kadar anlatılan bu çalışmaların genelinin amacı, patlatma alanında pratik çözümler üretip, zaman ve enerjide tasarruf sağlayarak daha fazla kar elde etmektir. 'Basamak Patlatmaları İçin Tasarım Nomogramlarının Geliştirilmesi' başlığı altında hazırlanan bu tez çalışmasında aynı amaç gözetilmektedir.

Açık ocaklarda patlatma tasarımı, deneme yanılma yöntemi ile yapılır. Bu yöntemde, kaya özellikleri, patlatma amacı ve çevre şartları göz önünde bulundurularak ilk tasarım yapılır.

Bu tasarım sahada uygulanıp, elde edilen sonuçlar incelenir. İstenilen sonuçlar elde edilmediyse, tasarım şeklinde değişiklikler yapıp tekrar uygulanır. Bu süreç, nihai tasarımın şekillendirilmesine kadar devam eder. Sonunda, istenilen sonuçları verebilecek tasarım şekli bulunur. Bu sürecin hızlı bir şekilde sonuç vermesi, yapılan ilk tasarımın şekline ve dikkatine bağlıdır. Bu tez çalışmasında, basamak patlatması yapacak üreticilerin ilk tasarımını kolay, hızlı ve hatasız yapmalarını sağlayabilmek için tasarım nomogramları geliştirilmiştir. Bu nomogramlar, farklı kaya türleri için yapılmıştır. Şöyle ki; kaya türleri 4 ana sınıfa ayrılmıştır. Bütün kaya türleri için farklı süreksizlik düzlemleri belirlenmiştir. Ampirik yaklaşımlar kullanılarak her kaya türü için farklı patlatma tasarımları geliştirilmiştir. JKSimBlast yazılımı ile yapılan bu tasarımlardan elde edilen sonuçlar kaydedilip, verilerle beraber aynı nomogramlarda gösterilmiştir. Böylece istenilen sonuca, hangi tasarım şeklinden varabileceği belirlenmiştir. JKSimBlast yazılımı, JKTech firmasının ürünü olup, patlatma tasarımı ve analizi için kullanılan bir yazılımdır. Bu programda, patlatma sonuçlarının analizi için iki model kullanılmıştır. JKMRC ve Kuz-Ram modelleri. Bu modellerin her biri farklı yöntemlerle çalıştığından, farklı sonuçlar verebiliyorlar. Bu çalışmada kullanmak için seçilen model, gerçek saha çalışmalarında verdiği sonuçların doğruluğuna göre seçilmiştir. Şöyle ki; bir kaç saha çalışmasının verileri JKSimBlast yazılımına aktarılmıştır. Tasarım tamamlandıktan sonra, bu modellerin her biri ile parça boyut tahmini yapılmış, boyut dağılımı eğrileri çizilmiştir. Gerçek saha çalışmalarından elde edilen sonuçlara en yakın tahminleri gösteren model, bu çalışmada ana model olarak seçilmiş, bütün çalışmalar bu model ile yapılmıştır.

3. YÖNTEM

Bu bölümde, kullanılan bilgisayar yazılımını test etmek için birkaç örnek verilmiştir. Daha sonra basamak patlatmalarında etkili olan değişkenler tanımlanıp, her biri için birkaç değer seçilmiştir. Değişkenlere verilen değerler, bilimsel yaklaşımlara göre belirlenmektedir.

3.1. Test Çalışması

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, bu çalışmada JKSimBlast yazılımı kullanılarak basamak patlatmasının ilk tasarımını kolay, hızlı ve hatasız yapmak için tasarım nomogramları geliştirilmiştir. Ancak bu işleme başlamadan önce, JKSimBlast yazılımından elde edilen sonuçları saha çalışmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıp, yazılımın güvenilirliğini test etmek gerekir. Bunun için Afyonkarahisar iline bağlı Beyyazı ve Emirdağ'da bulunan iki farklı kalker ocağında yapılan delme patlatma uygulamaları izlenmiş, patlatma tasarımı parametreleri ve kayaç özelliklerinin JKSimBlast yazılımında değerlendirilmesi ile patlatma sonrası oluşan parça boyut dağılımı tahmin edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu sonuçlar ve saha çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak JKSimBlast yazılımının güvenilirliği test edilmiştir.

3.1.1. Beyyazı ve Emirdağ Çalışma Sahalarının Özellikleri

Beyyazı sahası afyonkarahisar iline yaklaşık 11 km uzaklıkta Beyyazı beldesi sınırları içinde Afyonkarahisar-Beyyazı dolomitik kireçtaşı içersinde yer almaktadır. Emirdağ sahası ise, Afyonkarahisar iline yaklaşık 75 km uzaklıkta Emirdağ sınırları içinde Afyonkarahisar-Emirdağ Karaçaltepe kireçtaşı formasyonu içersinde yer almaktadır.

Afyonkarahisar ve çevresini içine alan bölgede farklı litolojik ve tektonik özelliklere sahip kuşaklar yer almaktadır. Bunlar Toros ve iç Toros tektonik kuşaklarıdır. Afyonkarahisar ve dolayında birbirinden tektonik dokanakla ayrılmış iki temel kaya topluluğu mevcuttur. Bunlardan birisi Toros kuşağına ait Sultandağları'nın devamını oluşturan Toros Paleozoyik ve Mesozoyik birimlerdir. Diğeri ise iç Toros kuşağında yer alan ve Afyonkarahisar'ın kuzeydoğu, kuzey, kuzeybatı ve batısında Neojen örtüsü altında geniş alanlar kaplayan Afyonkarahisar metamorfitleridir.

Emirdağ ilçesi, iç Toros tektonik kuşağı içersinde yer almaktadır. İlçe ve çevresinde jeolojik yaş olarak Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşta farklı kaya birimlerine rastlanmaktadır. Bölgede en yaşlı kayaç Paleozoik yaşlı Emirdağ kalkerisi olup, renk olarak

beyaz ve gri renge sahiptir. Bu kalkerler, yeşil ve sarı renkli şistler ile birlikte bulunmakla beraber, daha çok Emirdağ'ın batısında görülmektedir. Emirdağ kalkeri üzerinde uyumsuz bir şekilde Triyas yaşlı kireçtaşları yer almaktadır. Bu Triyas yaşlı kireçtaşları üzerine de Kratese yaşlı konglomera, kumtaşı, kıltaşı ve kireçtaşları gelmektedir. Bu birim ise yeşil, kahve ve gri renkte olup farklı tabaka kalınlıkları sunmaktadır. Bölgede kireçtaşları ile aynı yaşa sahip volkanik kayalar da görülmektedir. Aynı zamanda bölgenin kuzeybatısında travertenler yer almaktadır. Geçmiş jeolojik zamanlarda denizlerdeki CaCO_3 'ün çökelp zamanla sıcaklık ve yüksek basınç altında kalması ile yer yer mermer oluşumları da meydana gelmiştir.

Beyyazı ocağındaki kalkerin (dolomitik kireçtaşı) tek eksenli basınç dayanımı 80,5 MPa, yoğunluğu $2,78 \text{ gr/cm}^3$, elastisite modülü 16,04 GPa olarak belirlenmiştir. Emirdağ ocağındaki kalkerin (dolomitik kireçtaşı) tek eksenli basınç dayanımı 82 MPa, yoğunluğu $2,73 \text{ gr/cm}^3$, elastisite modülü 13,4 GPa olarak belirlenmiştir. Bu özellikler patlatma yapılan bölgede değişmez olarak kabul edilmiş ve patlatma uygulamalarında asıl etkili değişkenin kayacın içerdiği süreksizliklerin olduğu kabul edilmiştir [37].

Bu ocaklarda uygulanan patlatmaların bir kaçı JKSimBlast yazılımında denenmiştir. Burada ilk olarak JKSimBlast yazılımı ve kullanım şekli açıklanmıştır.

3.1.2. JKSimBlast Yazılımı

JKSimBlast (Julius Kruttschnitt Simulation of Blast) yazılımı, patlatma simülasyonu, analizi ve organizasyonu için geliştirilen bir programdır. 2DBench ise, JKSimBlast yazılımının açık ocak patlatma tasarımı modülüdür.

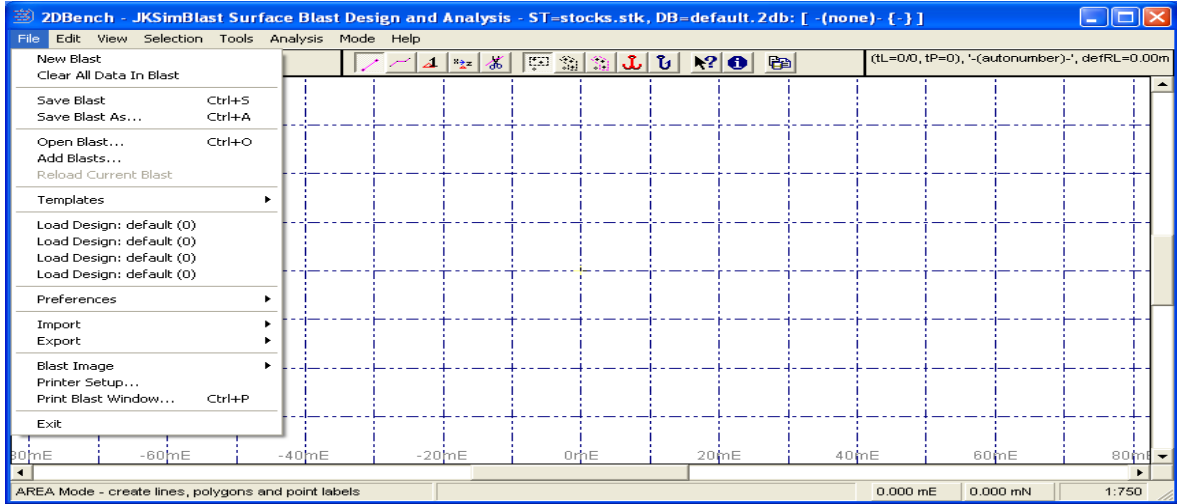
2DBench modülünde, 2D plan görünümünde delikler oluşturulur. Oluşturulan deliklerin geometrik özellikleri, kullanılan patlayıcı madde özellikleri, delik içi ve yüzey gecikme bağlantıları belirlenip, ekranda grafiksel olarak gösterilir. Patlatma planı tamamlandıktan sonra ateşleme simülasyonu ekranda çalıştırılır. Temel analizler; malzeme ve patlayıcı hacmi ve tonajı, toplam maliyetler ve çevre etkilerini kapsar. İleri analizler ise; en yüksek anlık yük, enerji dağılımı, PPV (Tepe Parçacık Hızı) haritası, dinamik yük bırakma ve parçalanma modellemesini içermektedir. Bunların hepsi Microsoft Access veri tabanında depo edilip istendiğinde değiştirilebilir.

Programaya girilen bütün veriler ve elde edilen sonuçlar, değişik çıktı formatları ve raporlar haline getirilebilir. Patlatmanın ekran görüntüsü ise, aynı ölçekle yazdırılabilir. 2DBench

patlatmaları ve verileri, JKBMS (Blast Management System) modülü ile organize edilebilir.

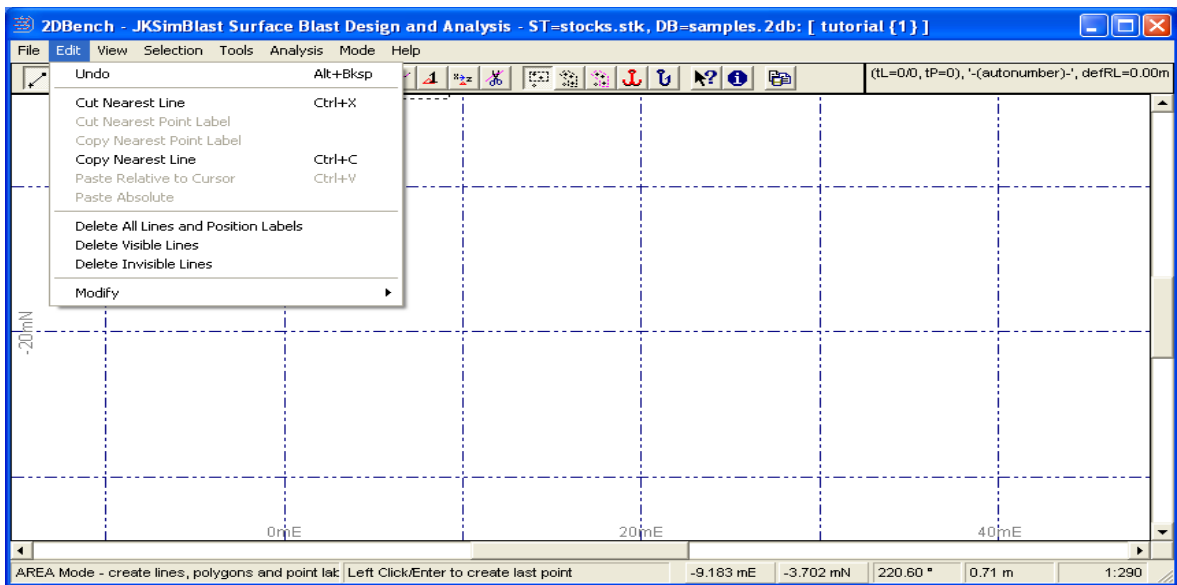
2DBench yazılımı kullanılan bazı menülere sahiptir. Bu kısımda bu menüler hakkında bilgiler verilecektir.

Dosya (File) : File menüsü ile, yapılan tasarım kaydedilip tekrar açılabilir. Birkaç tasarım aynı anda açılıp yazdırılabilir (Şekil 3.1).



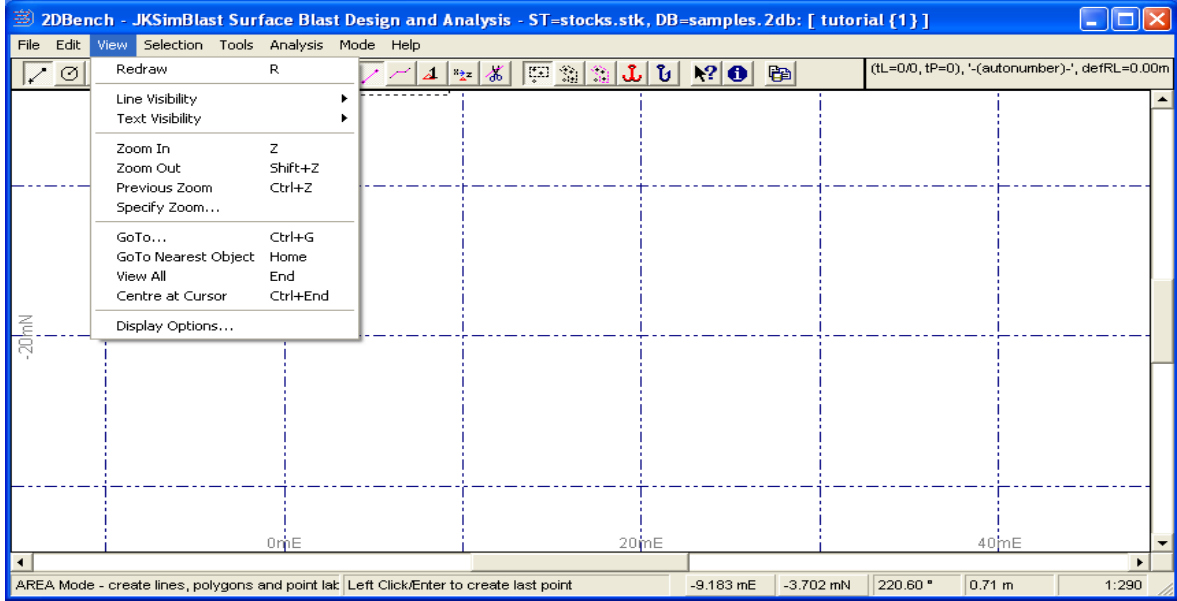
Şekil 3.1. 2DBench File menüsü

Düzen (Edit) : Edit menüsünde, 'undo' düğmesi ile yapılan son uygulama geri alınabilir. 'Cut', 'copy' ve 'paste' düğmeleri ile yapılan uygulamalar kesilip, kopyalanıp ve yapıştırılabilir (Şekil 3.2).



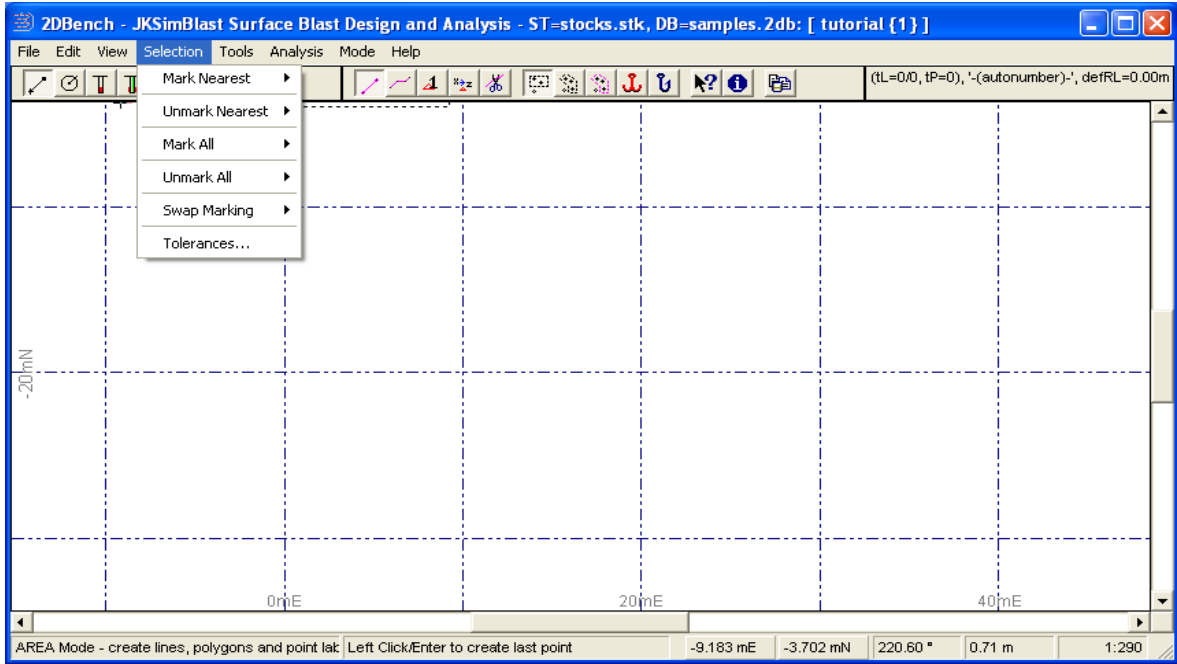
Şekil 3.2. 2DBench Edit menüsü

Görünüm (View) : Bu menüde, ‘zoom in/out’ düğmesi ile, yapılan çizim büyütülüp ve ya küçültülebilir. Açılan ekranda istenilen koordinatı görüntülemek için ‘go to...’ düğmesi kullanılabilir (Şekil 3.3).



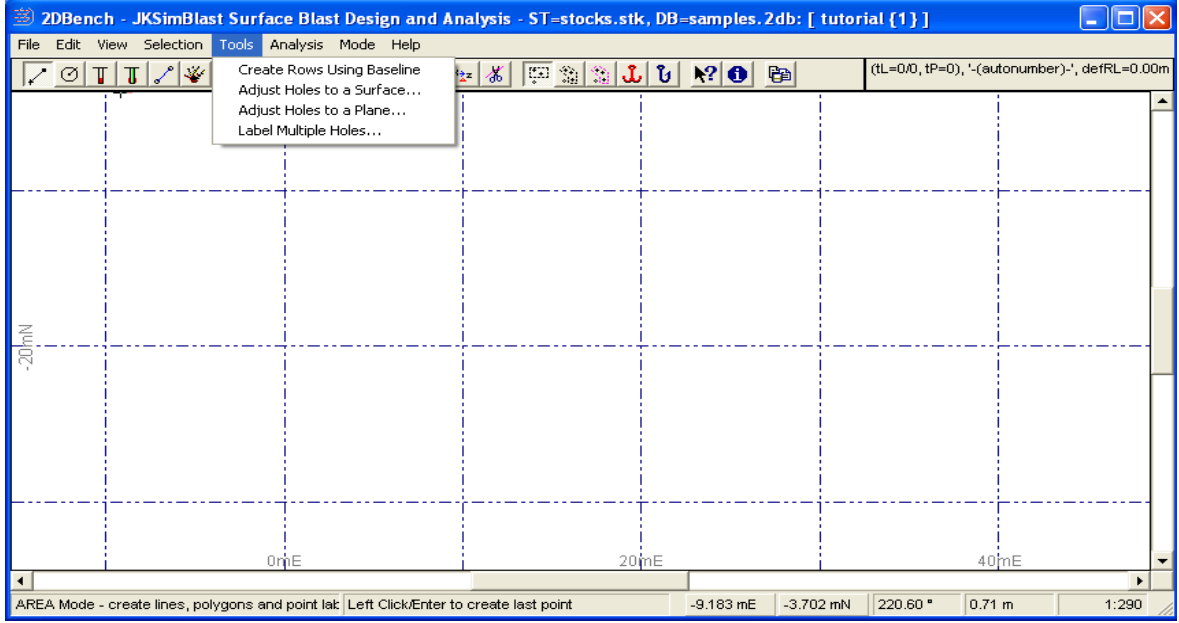
Şekil 3.3. 2DBench View menüsü

Seçenekler (Selection) : Bu menüdeki düğmeler ile patlatılmak istenen delikler işaretlenir (Şekil 3.4).



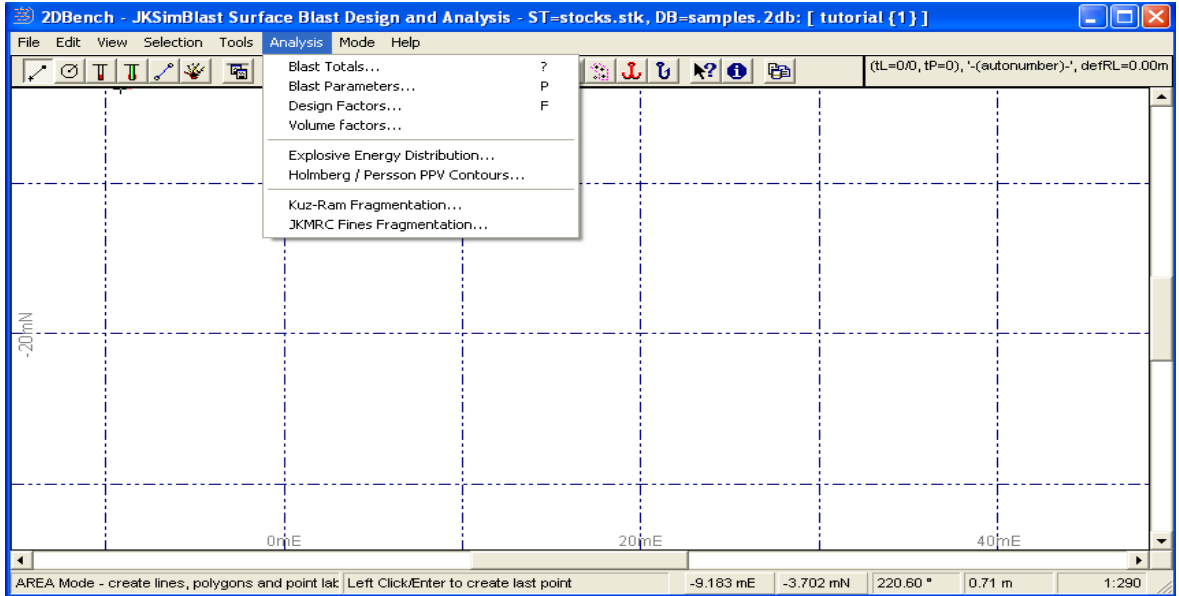
Şekil 3.4. 2DBench selection menüsü.

Araçlar (Tools) : Bu menü ile delikler, bir yüzeye aktarılabilir ve ya birden çok deliğin etiketi değiştirilebilir (Şekil 3.5).



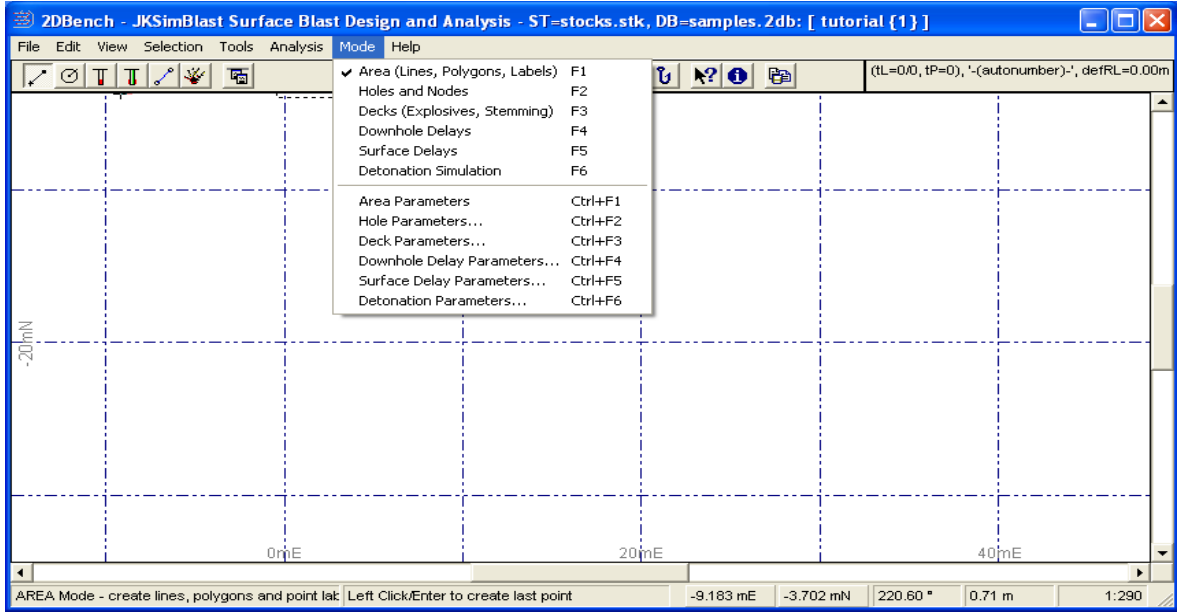
Şekil 3.5. 2DBench Tools menüsü

Analizler (Analysis) : Tasarlanan bir patlatmanın, patlatma parametreleri, şarj yoğunluğu, enerji dağılımı, titreşim, Kuz-Ram parça boyutu dağılımı, JKMRC parça boyutu dağılım analizleri bu menüde yer almaktadır (Şekil 3.6).



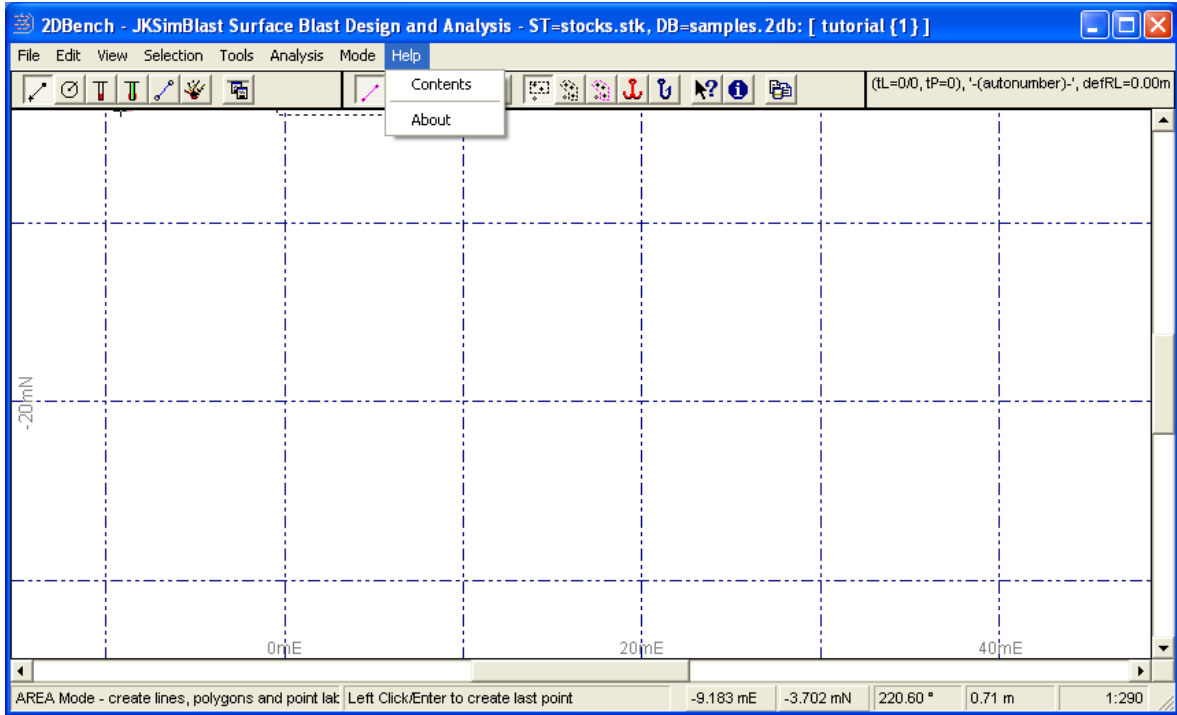
Şekil 3.6. 2DBench Analysis menüsü

Mode : Bu menüde, alan, delikler içine doldurulacak malzeme, delik içi ve yüzey gecikmeleri ve patlatma simülasyonu değişkenleri yer almaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. 2DBench Mode menüsü

Help : Bu menüde yer alan 'Contents' düğmesi ile kullanıcı, 2DBench yardım sayfasına yönlendirilmektedir. 'About' düğmesi ile yazılımın lisans süresi görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. 2DBench Help menüsü

3.1.3. Saha Çalışmalarının Uygulanması

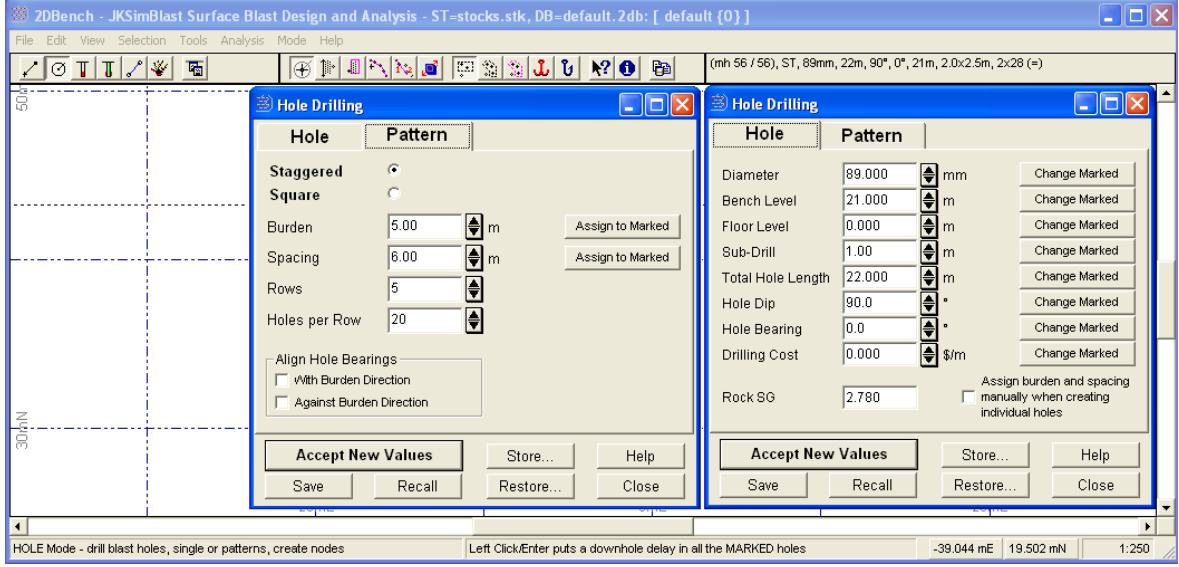
JKSimBlast yazılımında patlatma sonrası parça boyut dağılımı tahmininin yapılabilmesi için; delik boyu, yük mesafesi, delikler arası mesafe, delik taban payı, delik içindeki şarj miktarı, delik içi ve delikler arası gecikme miktarı gibi tasarım parametrelerinin yanı sıra, kayaç örneğinin tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, kaya kütlesi süreksizlik aralığı gibi girdi parametreleri tek tek yazılıma girilmektedir. Bunun yanında en son aşamada parça boyut dağılımı analizi yapılırken kaya katsayısının girilmesi gerekmektedir.

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, Beyyazı ve Emirdağ kalker ocaklarında uygulanan patlatmaların bir kaç örnek saha çalışmaları olarak göz önünde bulundurulmuştur. Bu ocaklarda uygulanan patlatmaların tasarım parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelgede verilen patlatmalardan, 1., 2. ve 3. Patlatmalar Beyyazı ocağına ve 4. Patlatma Emirdağ ocağına aittir.

Çizelge 3.1. Örnek saha çalışmalarının verileri

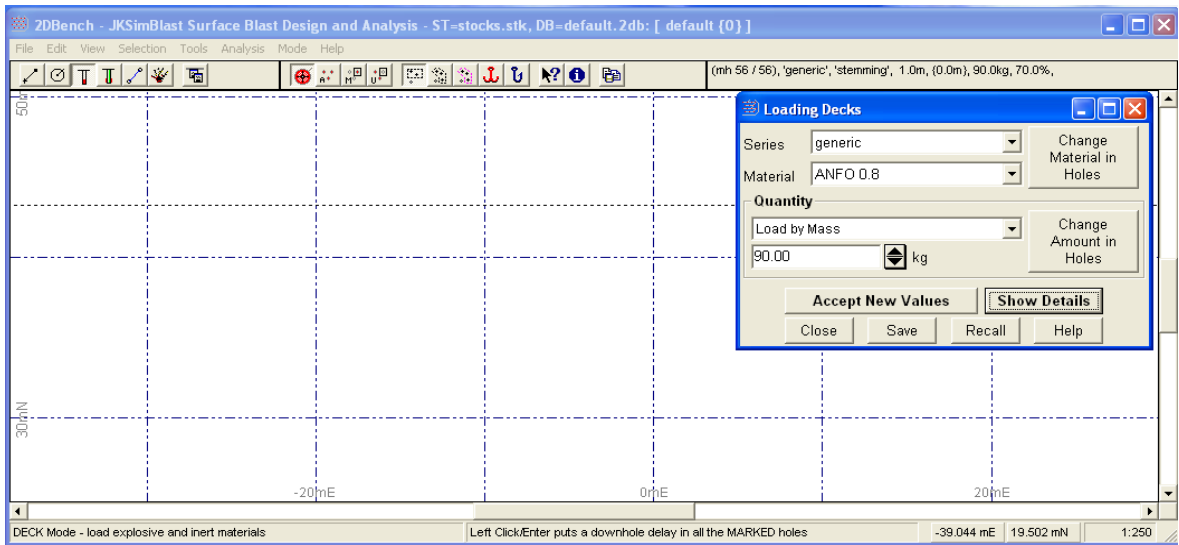
Değişken	1. Patlatma	2. Patlatma	3. Patlatma	4. Patlatma
Basamak yüksekliği (m)	21	17	12	10
Delik boyu (m)	22	18	13	11
Delikler arası mesafe (m)	2,5	2,5	2,5	3
Yük mesafesi (m)	2	2	2	3
Delik sayısı	55	41	34	180
Bir delikte kul. ANFO (kg)	90	75	50	31,1
Bir delikte kullanılan yemleyici	2 kg dinamit	2 kg dinamit	2,720 kg dinamit	2 kg dinamit
Gecikme (ms)	60	60	60	60
Şarj yoğunluğu (kg/m ³)	0,857	0,882	0,833	0,345
Süreksizlik blok boyutu (m)	1,32	1,85	3,32	0,76
Kaya katsayısı	8,66	9,979	11,852	2,969
Delik çapı (mm)	89	89	89	89
Delik düzeni	Şeşbeş	Şeşbeş	Şeşbeş	Şeşbeş
Sıra sayısı	2	2	2	8
Kayaç yoğunluğu (gr/cm ³)	2,78	2,78	2,78	2,73
Elastisite modülü (GPa)	16,04	16,04	16,04	13,4
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	80,5	80,5	80,5	82

Bu değişkenler JKSimBlast yazılımına girilerek patlatma tasarımı yapılmıştır. 2DBench programı çalıştırıldıktan sonra 'mode' menüsünden delik parametreleri seçilir. Açılan pencerede delik çapı, basamak yüksekliği, delik taban payı, delik boyu, eğim miktarı, kayacın özgül ağırlığı, delik düzeni, yük mesafesi ve delikler arası mesafe gibi değişkenler girilir. Şekil 3.9'da değişkenlerin girilişi gösterilmiştir.



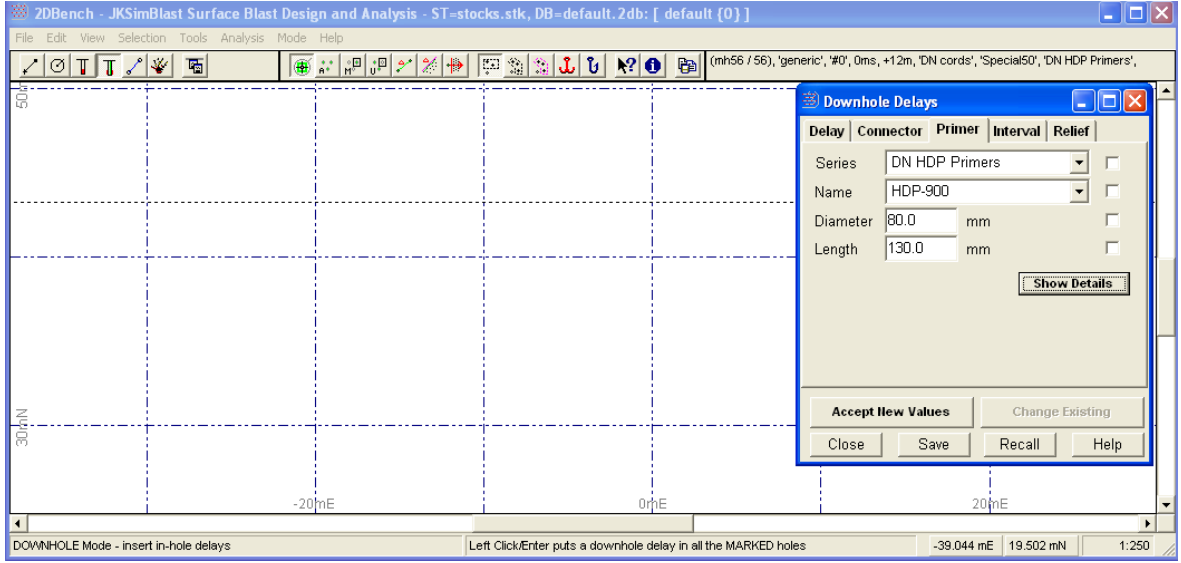
Şekil 3.9. Delik parametrelerinin girildiği ekran

Delik yükleme (Loading Decks) seçeneği seçildiğinde ANFO'nun türü ve miktarının girildiği pencere açılır (Şekil 3.10). Değişkenler girildikten sonra 'Accept New Values' düğmesi, ardından verileri kaydetmek için 'save' düğmesi tıklanıp, istenilen adrese kaydedilir.



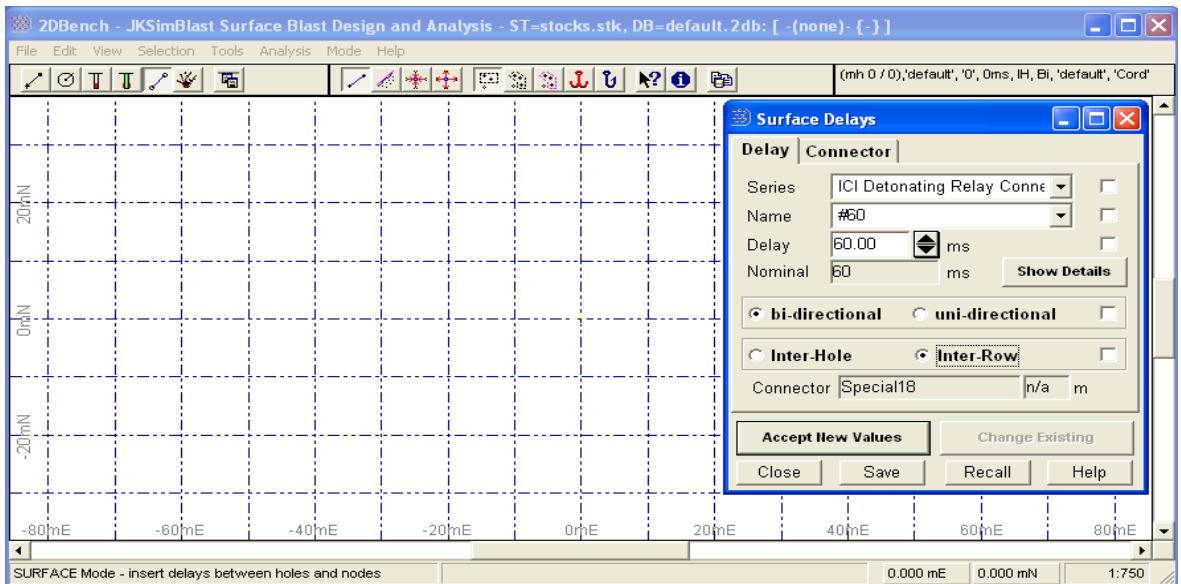
Şekil 3.10. Doldurulan patlayıcının türü ve oranının girildiği ekran

Delik içi gecikmeler (Downhole Delay) seçeneği seçildiğinde açılan pencerede delik içi gecikme miktarı, ateşleyici ve bağlantı elemanı türü belirlenir (Şekil 3.11).



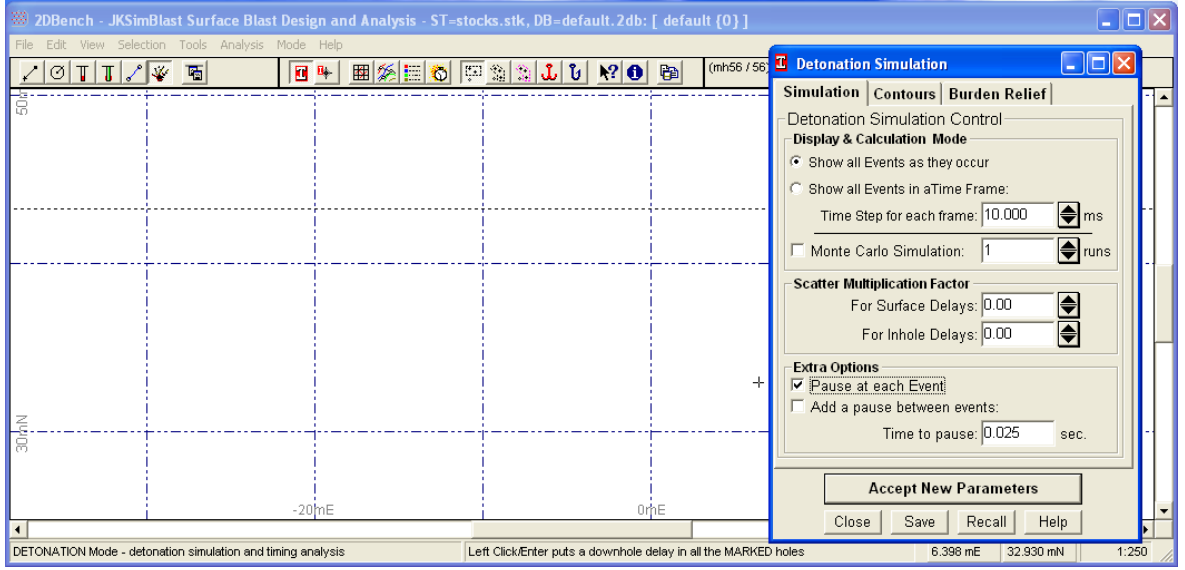
Şekil 3.11. Delik içi gecikmeler ve ateşleyicilerin girildiği ekran

Yüzey gecikmeleri (Surface Delays) seçildiğinde gecikme süreleri ve bağlantı elemanlarının belirleneceği pencere açılır (Şekil 3.12). Bu pencereye, belirlenen değerler girilir.



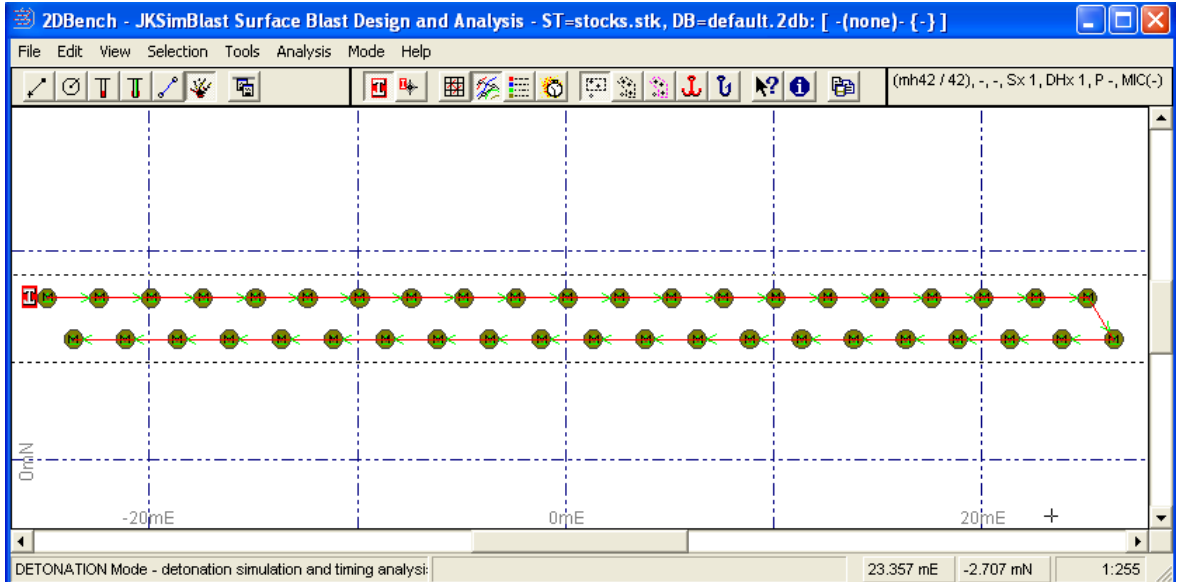
Şekil 3.12. Yüzey gecikmeleri ve bağlantı elemanlarının girildiği ekran

Detonasyon simülasyonu (Detonation Simulation) seçildiğinde simülasyonla ilgili renk seçimi ve deliklerin durumu gibi değişkenler belirlenir (Şekil 3.13).

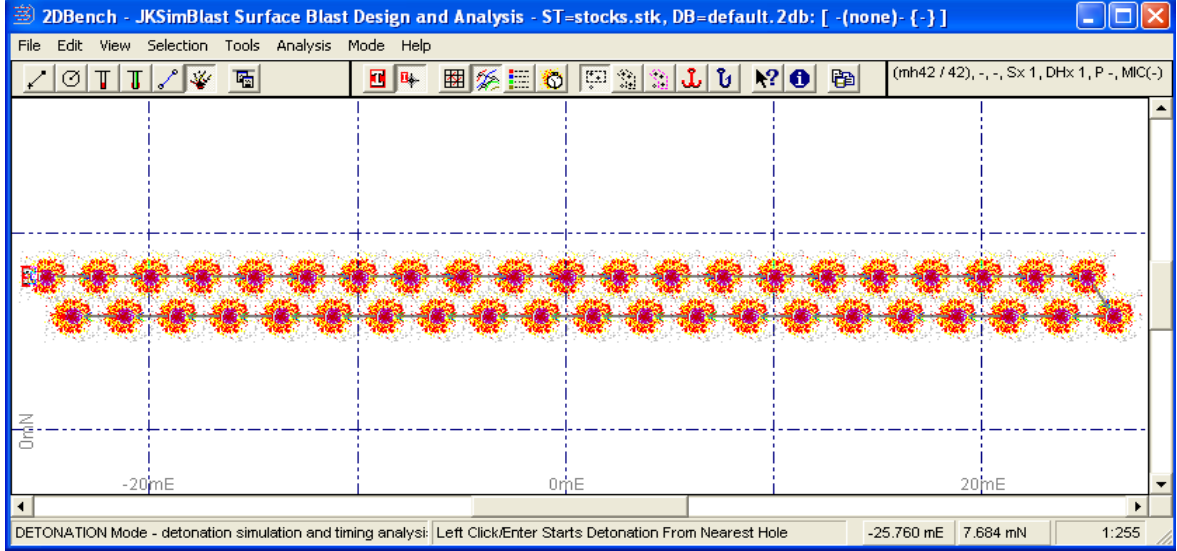


Şekil 3.13. Simülasyon özelliklerinin girildiği ekran

Bütün değişkenler ilgili ekranlara girildikten sonra, 'Delik' modu seçilerek delikler yerleştirilir. Daha sonra 'selection' menüsünden 'Mark all holes' seçeneği tıklanarak bütün delikler işaretlenir. 'DECKS-Explosives and Inert Materials' seçilerek delikler doldurulur. 'DOWNHOLE-In-Hole Delays' seçilerek delik içi gecikmeler yerleştirilir. 'SURFACE-Inter-Hole Delays' seçilerek deliklerin yüzey bağlantıları yapılır. 'DETONATION' modu seçilerek patlatma canlandırılır.



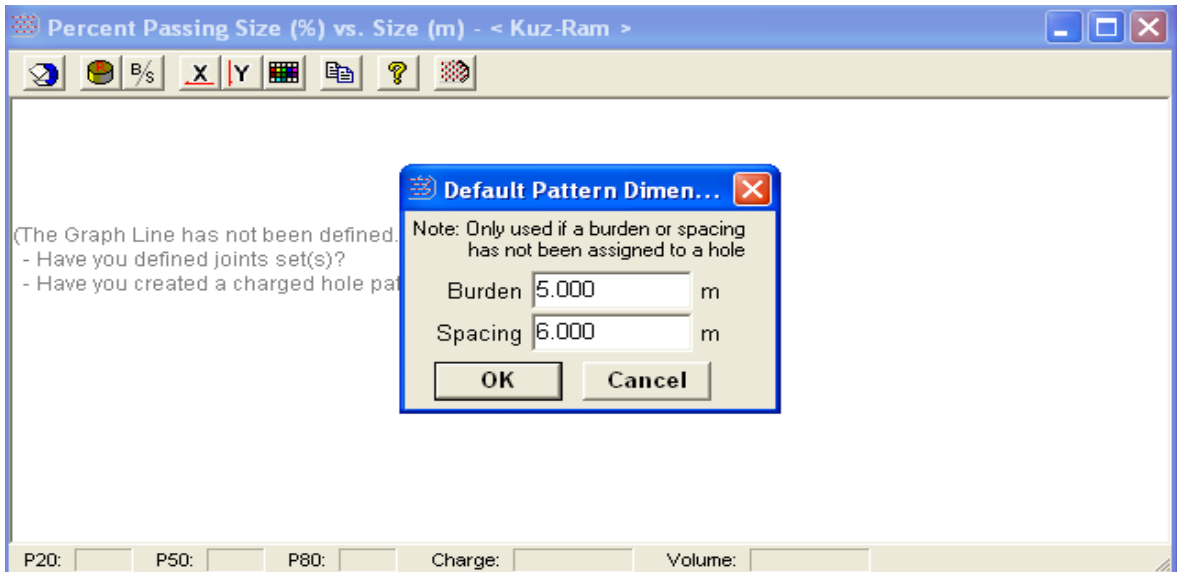
Şekil 3.14. Deliklerin yerleştirilmesi



Şekil 3.15. Deliklerin patlatma görüntüsü

‘Analysis’ menüsü açıldığında, iki parçalanma modeli görünür. Bunların biri Kuz-Ram modeli ve diğeri JKMRC modelidir. Burada ortalama parça boyutunu elde etmek için bu modellerin ikisi de kullanılır. Gerçek saha sonuçlarına en yakın sonucu veren model, bu çalışmanın sonraki bölümlerinde, kullanılan model olarak seçilmiştir.

‘Analysis’ menüsünden ilk olarak ‘Kuz-Ram Fragmentation’ seçilerek açılan pencerede yük mesafesi ve delikler arası mesafe girilir ve ‘OK’ butonuna basılır (Şekil 3.16). Daha sonra ‘A’ (kaya katsayısı) değeri ve kayacın tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, ortalama blok boyutu ve özgül ağırlığı değişkenleri girilip ‘OK’ butonuna basıldığında, program patlatma sonrası parça boyutu dağılımı eğrisini vermektedir (Şekil 3.17, 3.18).



Şekil 3.16. Yük mesafesi ve delikler arası mesafenin girildiği ekran

Rock Factor

Lilly Blastability Index: 72.167

Current Rock Factor Value: 8.6600

Recommended Factors (using given Blastability):
 Lilly ANFO Powder Factor: 0.291 kg/tonne
 Lilly Energy Factor: 1.062 MJ/tonne

Use Lilly (1986) Calculation For Blastability:

Rock | **Joints**

Mean Insitu Block Size: 1.32 m

Rock SG: 2.780

Young's Modulus of Rock: 1.60E+01 GPa

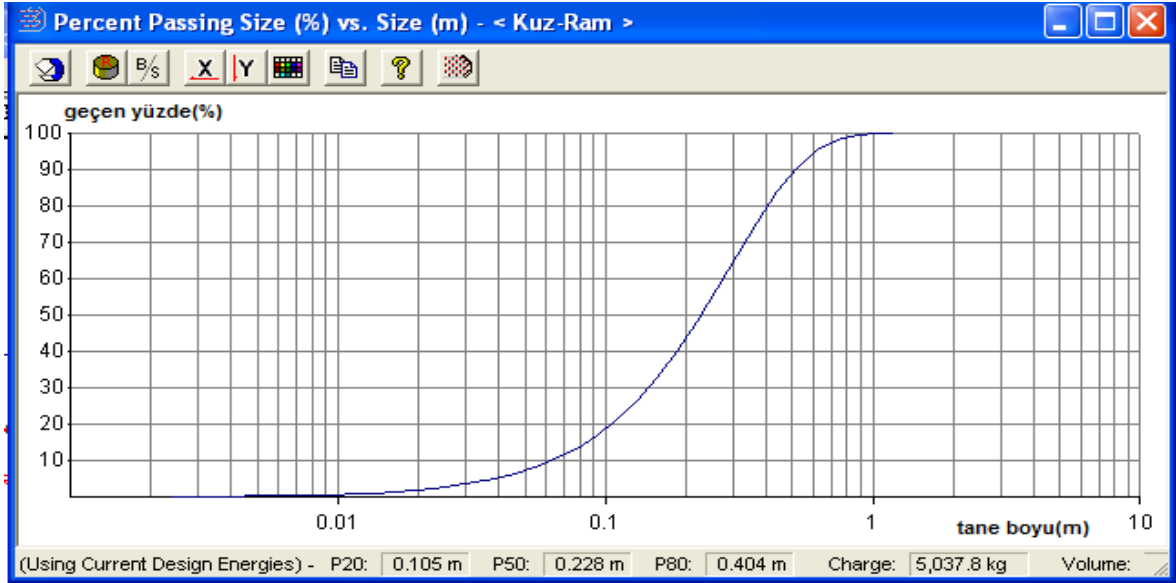
UCS of Rock: 8.05E+01 MPa

Free Face Dip: 90.00 degrees

Free Face Dip Direction: 0.00 degrees

Check Blastability Value OK Cancel

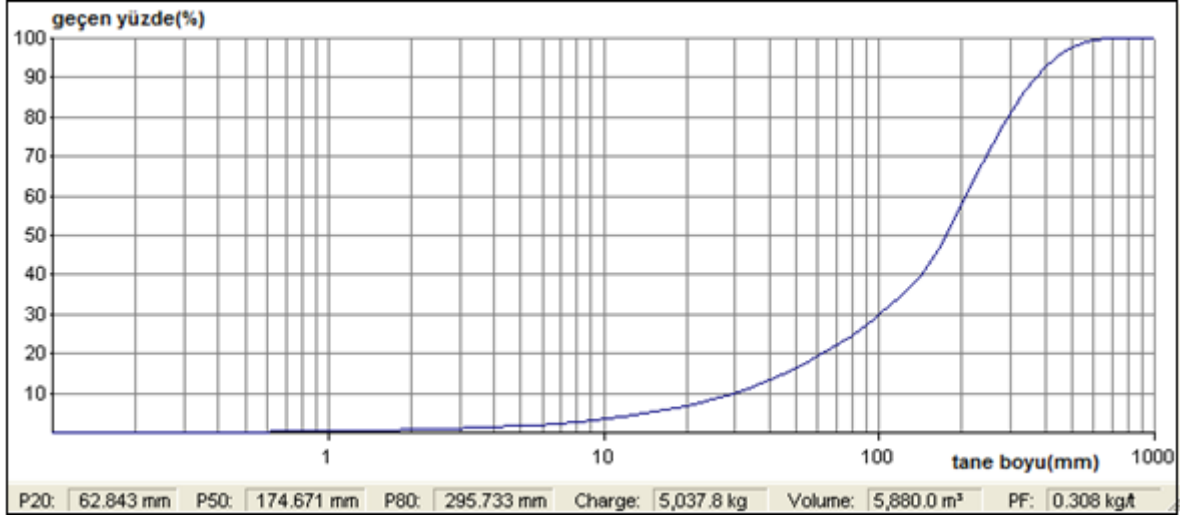
Şekil 3.17. Kayaç özelliklerinin girildiği ekran



Şekil 3.18. Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi

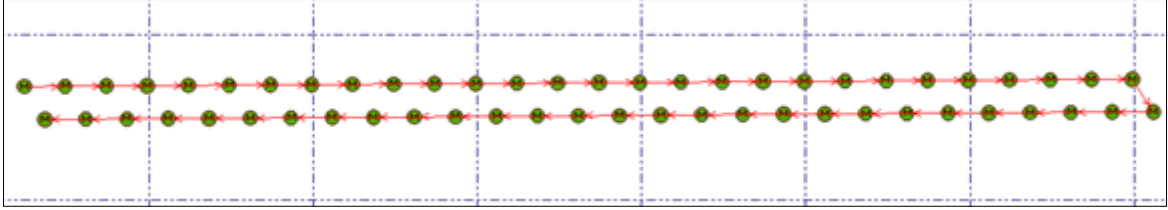
Şekil 3.18'de görüldüğü gibi patlatma sonucu parça boyutu dağılımı eğrisinde malzemenin %20, %50 ve %80'inin geçtiği elek açıklıkları verilmektedir.

'Analysis' menüsünden 'JKMRC Fragmentation' seçildiğinde aynı şekilde bilgiler girilerek parça boyutu dağılımı eğrisi elde edilir (Şekil 3.19).

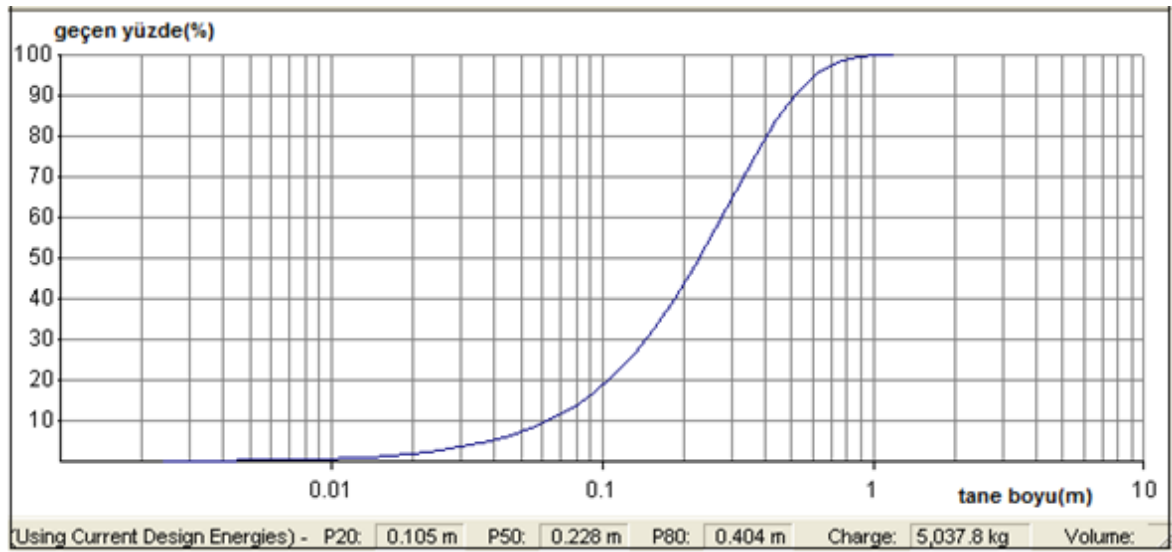


Şekil 3.19. JKMRC modeli ile parça boyut dağılımı eğrisi

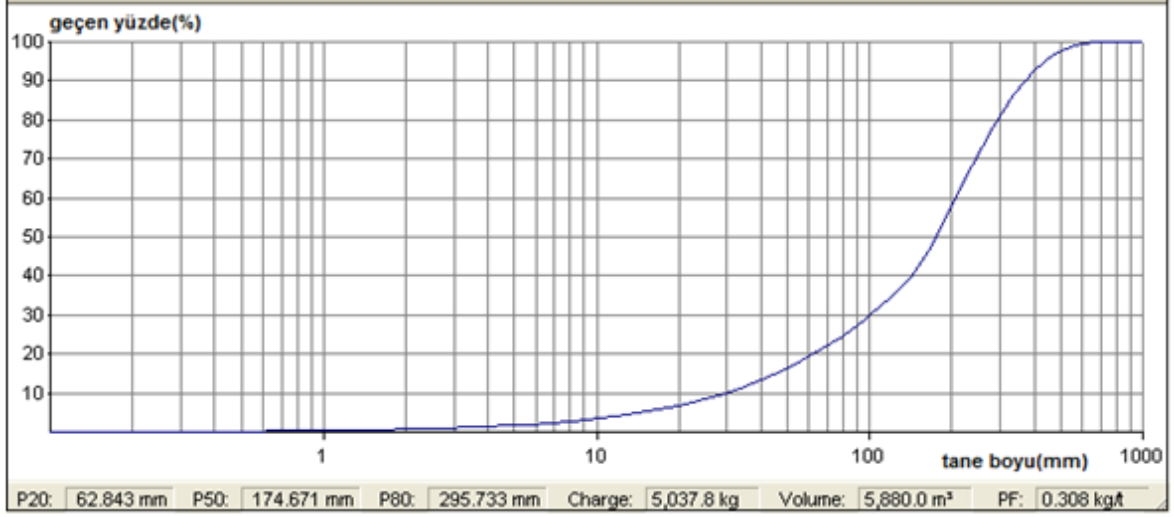
Beyyazı ve Emirdağ ocaklarındaki patlatma bilgileri Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi numaralandırılmıştır. Bu çizelgedeki birinci patlatmanın değişkenleri JKSimBlast yazılımına girilerek patlatma yapılmıştır (Şekil 3.20) ve patlatma sonucunda parça boyutu dağılımı eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 3.21, 3.22).



Şekil 3.20. Birinci patlatma simülasyonu

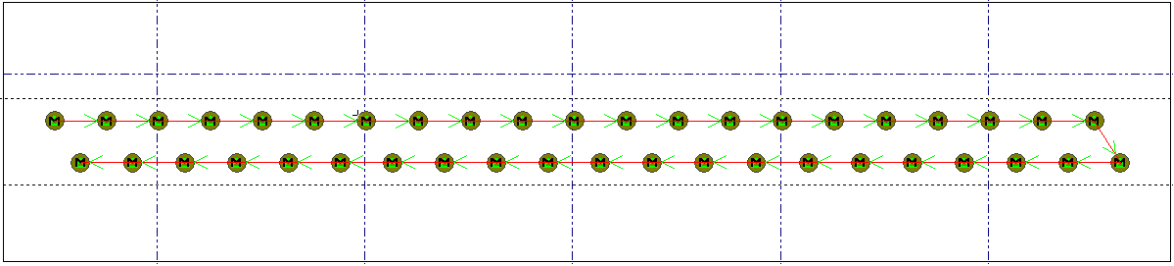


Şekil 3.21. Birinci patlatma tasarımı Kuz-Ram’a göre parça boyutu dağılımı eğrisi

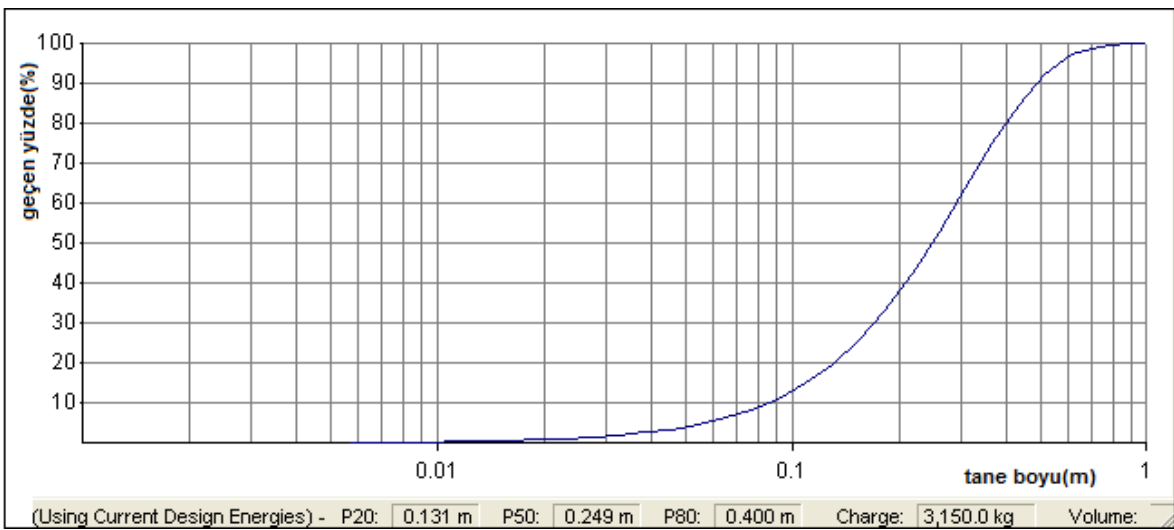


Şekil 3.22. Birinci patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyut dağılımı eğrisi

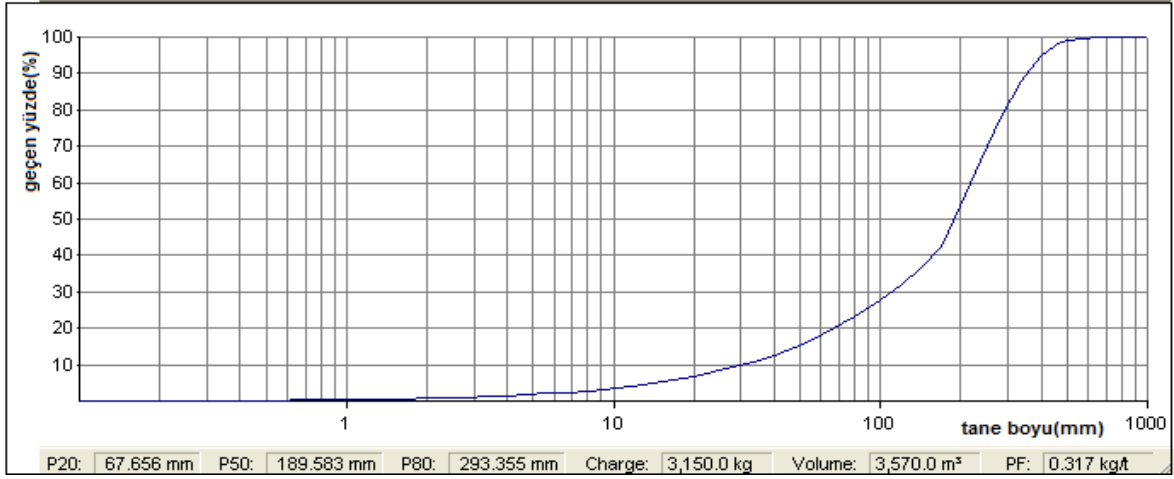
İkinci patlatmada aynı şekilde gerekli değişkenler JKSimBlast yazılımına girilerek patlatma yapılmıştır ve patlatma sonucunda parça boyut dağılımı eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 3.23. İkinci patlatma simülasyonu

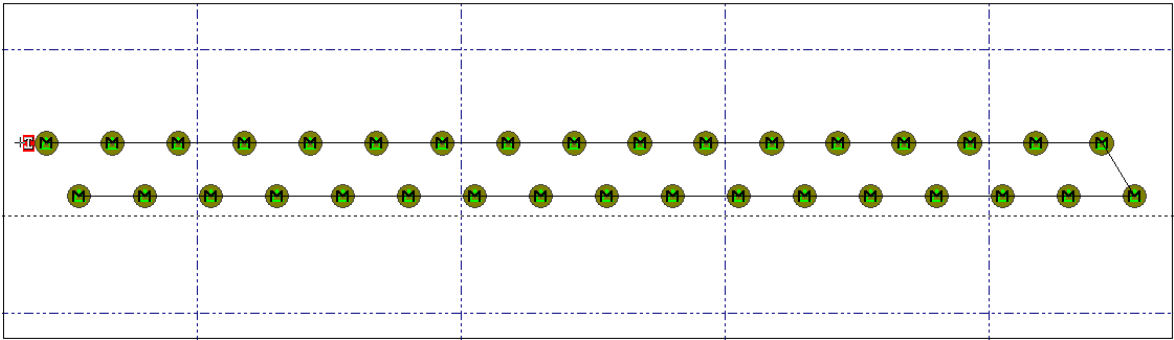


Şekil 3.24. İkinci patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi

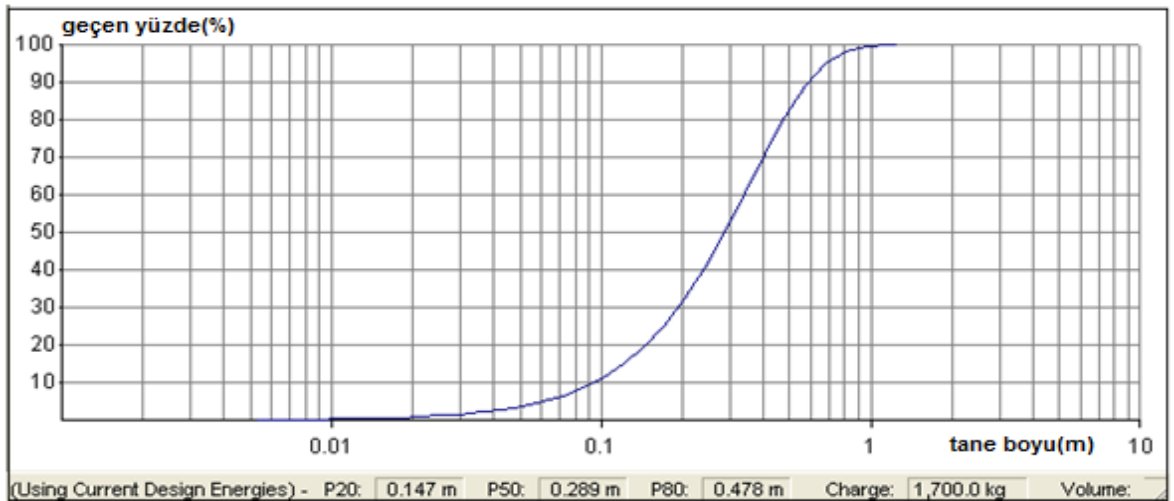


Şekil 3.25. İkinci patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyutu dağılımı eğrisi

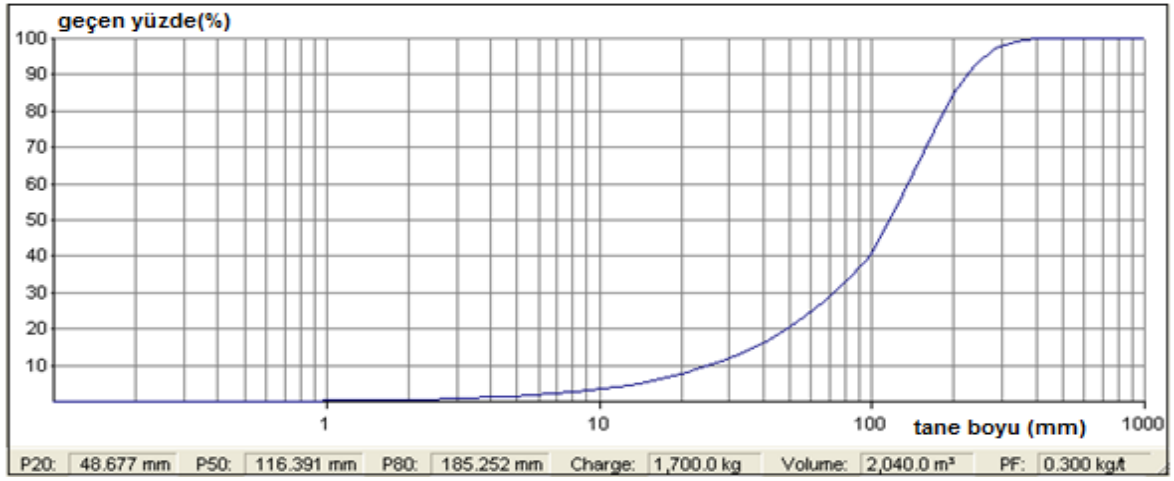
Üçüncü patlatmada, gerekli değişkenler JKSimBlast yazılımına girilerek patlatma yapılmıştır ve patlatma sonucunda parça boyut dağılımı eğrisi oluşturulmuştur. Patlatma tasarımı ve parça boyut dağılımı eğrisi görüntüleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Üçüncü patlatma simülasyonu

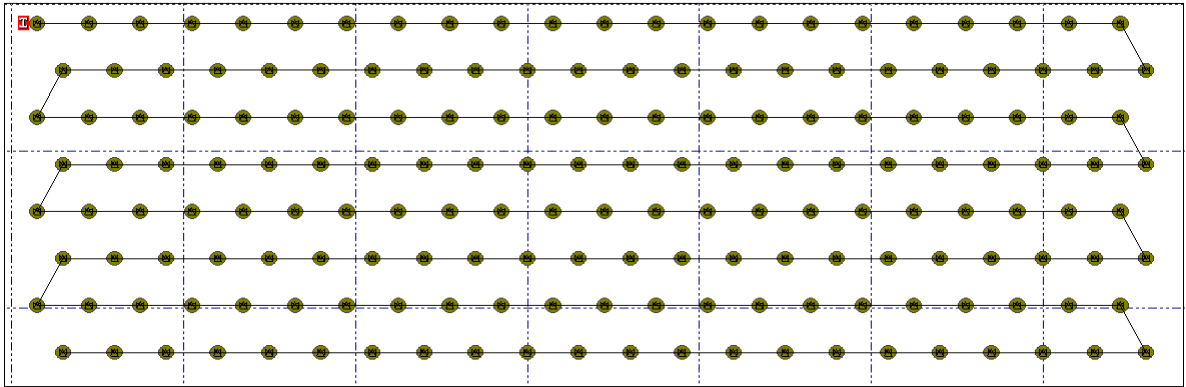


Şekil 3.27. Üçüncü patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi

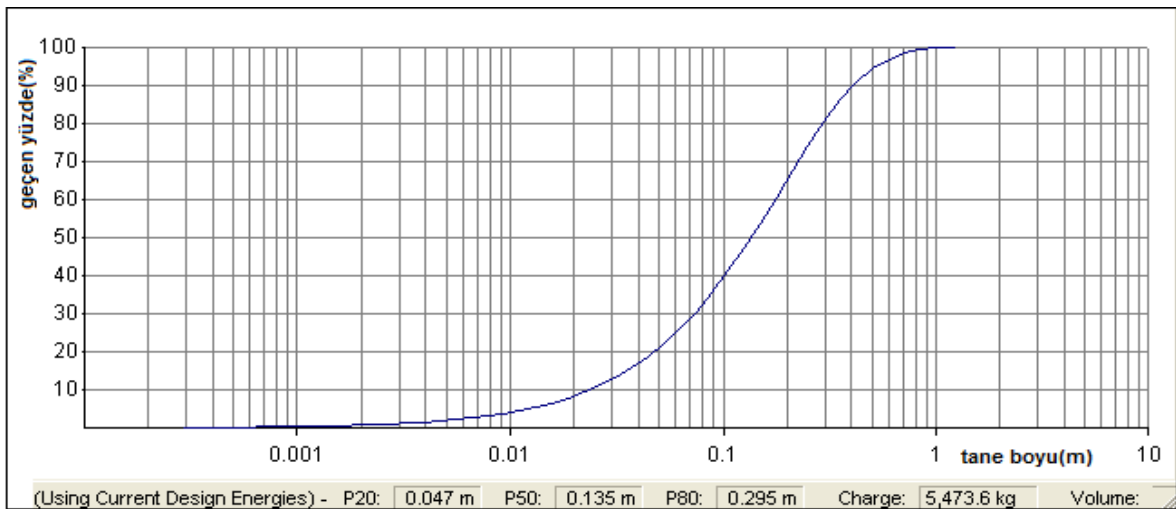


Şekil 3.28. Üçüncü patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyutu dağılımı eğrisi

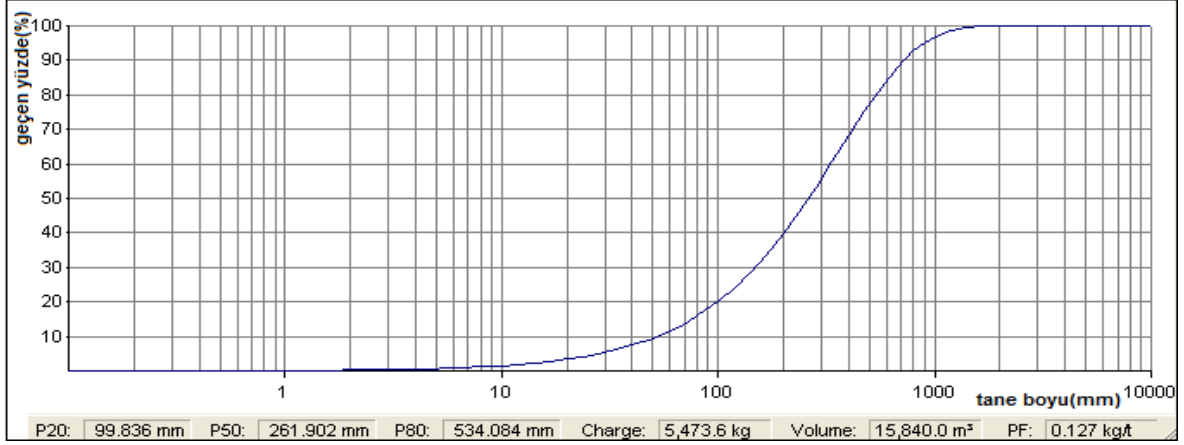
Dördüncü patlatmada aynı şekilde gerekli değişkenler JKSimBlast yazılımına girilerek patlatma yapılmıştır ve patlatma sonucunda parça boyut dağılımı eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 3.29. Dördüncü patlatma simülasyonu



Şekil 3.30. Dördüncü patlatma tasarımı Kuz-Ram'a göre parça boyutu dağılımı eğrisi



Şekil 3.31. Dördüncü patlatma tasarımı JKMRC'ye göre parça boyutu dağılımı eğrisi

Bu denemelerde JKSimBlast yazılımından elde edilen ortalama parça boyutu gerçek saha patlatmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılır. Çizelge 3.2'de bu değerler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ocaktan ve yazılımdan elde edilen ortalama parça boyutu değerleri

	Ortalama parça boyutu (cm)			
	1. Patlatma	2. Patlatma	3. Patlatma	4. Patlatma
Ocaktan elde edilen	22,71	24,79	27,49	13,48
Kuz-Ram modelinden	22,80	24,90	28,90	13,50
JKMRC modelinden	17,47	18,96	11,64	26,20

Çizelge 3.2'de verilen değerler incelendiğinde JKSimBlast yazılımı içerisindeki Kuz-Ram modeliyle yapılan parça boyutu tahminlerinin gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Böylece JKSimBlast yazılımı ile yapılan tahminlerde Kuz-Ram modelinin güvenilirliği kanıtlanmıştır. Yani tasarım nomogramlarının oluşturulmasında, JKSimBlast yazılımının kullanılabilirliği gösterilmiştir.

3.2. Çalışmada Kullanılan Değişkenler

Bu çalışmada, açık ocak basamak patlatma uygulamalarındaki ilk tasarımın kolay, hızlı ve hatasız yapılabilmesi için tasarım nomogramları geliştirilmiştir. Bu nomogramlar kullanılarak, istenilen parça boyutu için patlatma tasarımı yapılabilir. Bu amaçla, Türkiye'deki genel patlatma koşulları göz önünde bulundurularak, farklı kaya türleri için farklı patlatma tasarımları yapılmıştır. Bunun için, patlatma sonucunda etki eden en önemli değişkenler belirlenip, her biri için farklı değerler seçilmiştir. Patlatma sonucunda etki

eden en önemli değişkenler şunlardır: kaya türü, kaya içindeki süreksizlikler, kullanılan patlayıcı özellikleri, basamak yüksekliği, delik çapı ve yük mesafesi. Geri kalan diğer değişkenler bu etkenlere göre belirlenir.

3.2.1. Kaya Türü

Kaya türleri ISRM sınıflandırmasına göre 4 ana sınıfa ayrılmıştır. ISRM sınıflandırması, kayanın tek eksenli basınç dayanımına göre yapılır. Çizelge 3.3’de bu sınıflandırma ve çalışma için seçilen değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. ISRM kaya sınıflandırmasına göre kaya türü seçimi [60]

Kaya türü	UCS (MPa)	Çalışma için seçilen değer (MPa)
Zayıf	< 20	15
Orta	20-70	50
Sağlam	70-140	100
Çok sağlam	>140	170

Bu çizelgeden ve farklı literatür araştırmalarından elde edilen sonuçlara dayanarak, bu çalışmada kullanılan kaya türleri ve özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir. [61-62].

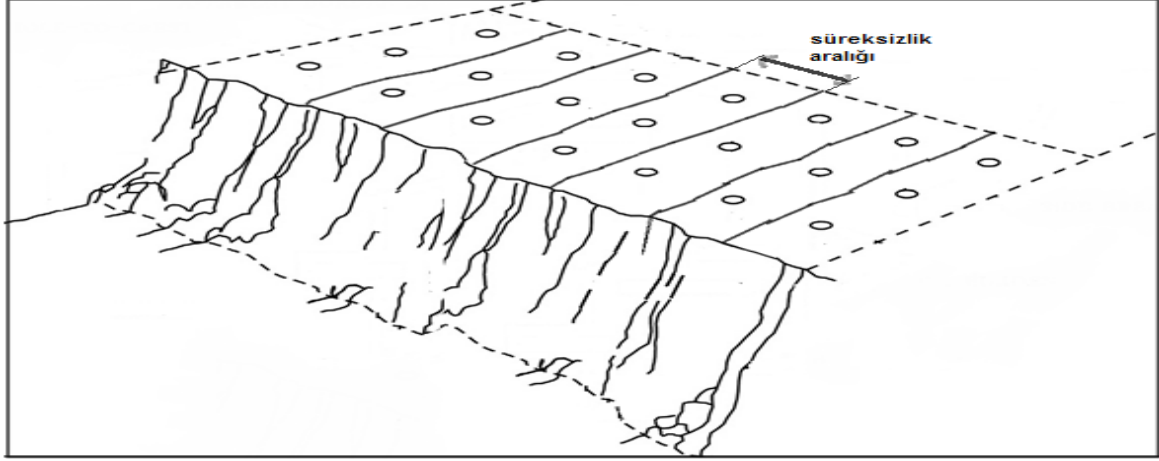
Çizelge 3.4. Çalışma için seçilen kaya türleri ve özellikleri

Kaya türü	Özgöl ağırlığı (gr/cm ³)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
Zayıf	2.5	15	10
Orta	2.6	50	20
Sağlam	2.8	100	40
Çok sağlam	3	170	60

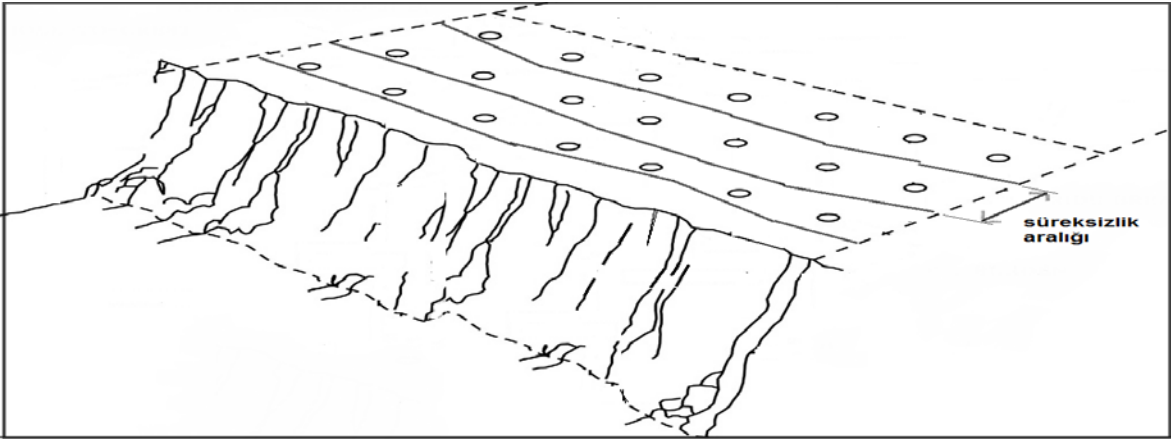
3.2.2. Kaya İçindeki Süreksizlikler

Sahada yapılan patlatma çalışmalarının genelinde, sadece basamak yüzeyinde görünen süreksizlikler patlatma tasarımı hesaplamalarına dahil edilir. Yani süreksizliklerin kaya içindeki açısı hesaba katılmaz. Bu yüzden, süreksizliklerin sadece basamak yüzeyindeki aralıkları ve şekli, bu çalışmada göz önünde bulundurulmuştur. ISRM sistemine göre, süreksizlik aralıkları 1,2 m altında ise; kaya yapısı eklemlili ve bloklı sayılır. Süreksizlik aralıkları 1,2 m üstünde ise; kaya yapısı masıf sayılır [60]. Buna istinaden, bu çalışmada eklem aralıkları 1 ve 3 m olarak, basamak aynasına dik ve paralel şekilde düşünölmüştür (Şekil 3.32, 3.33, 3.34). Basamak aynasına farklı açılarda olan süreksizliklerin patlatma

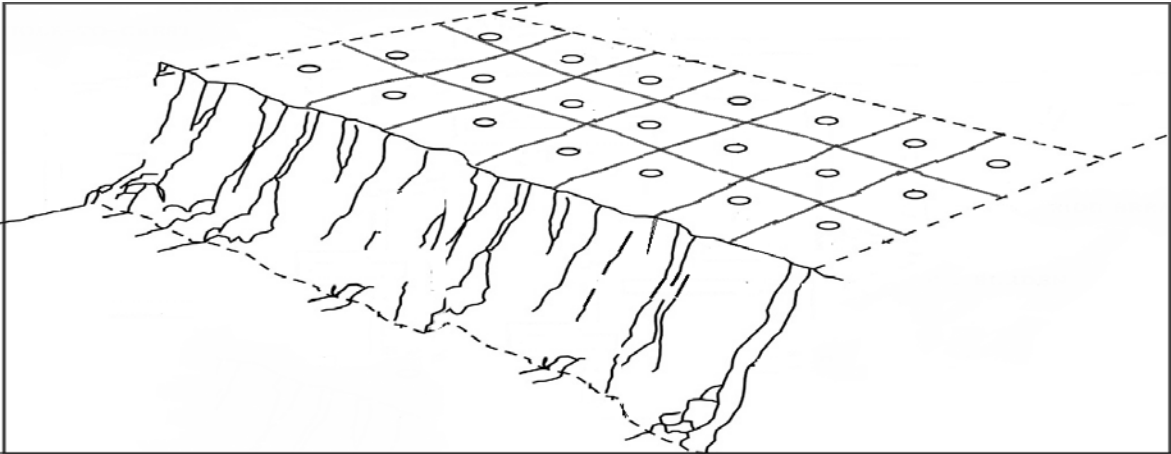
sonucundaki etkisi, dik ve paralel süreksizliklerin etkisi ile aynı olduğu için, sadece basamak aynasına dik ve paralel şekilde olan süreksizlikler bu çalışmadaki hesaplamalara dahil edilmiştir.



Şekil 3.32. Basamak aynasına dik süreksizlikler



Şekil 3.33. Basamak aynasına paralel süreksizlikler



Şekil 3.34. Basamak aynasına dik ve paralel süreksizlikler

3.2.3. Kaya Katsayısı

Kuz-Ram modelindeki kaya katsayısı (1.7), kayanın fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı bir değişkendir. Kaya katsayısı, her bir kaya türü ve her bir süreksizlik şekli için farklı değere sahiptir. Çalışmanın 3. bölümünde Şekil 3.17’de görüldüğü gibi, kaya özellikleri ilgili ekrana girildiğinde, yazılım bu özelliklerden elde edilen kaya katsayısı değerini vermektedir. Bu çalışmadaki kaya türleri için elde edilen kaya katsayısı değerleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kaya türü ve süreksizlik durumuna göre, kaya katsayısı değerleri

Kaya türü	Süreksizlik durumuna göre kaya katsayısı			
	1 m aralıklı aynaya dik	1 m aralıklı aynaya paralel	3 m aralıklı aynaya dik	3 m aralıklı aynaya paralel
Zayıf	4,580	5,180	6,440	7,040
Orta	4,945	5,545	6,805	7,405
Sağlam	5,645	6,245	7,505	8,105
Çok sağlam	7,185	7,785	9,045	9,645

3.2.4. Patlayıcı Seçimi

Basamak patlatmalarında, patlayıcı seçimi kaya özelliklerine göre yapılır. Bu çalışmada, her kaya türü için seçilen patlayıcı türü ve özellikleri Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Kullanılan patlayıcı türleri ve özellikleri [63-65]

Kaya türü	Kullanılan patlayıcı	Patlayıcının özgül ağırlığı (gr/cm ³)	Göreceli ağırlık kuvveti
Zayıf	ANFO 0,8	0,8	1
Orta	ANFO 0,8	0,8	1
Sağlam	Heavy ANFO 1,35	1,35	0,85
Çok sağlam	Emülsiyon 1,25	1,25	1,13

Patlatmalarda ateşleme sistemi olarak infilaklı fitil kullanılmıştır. Deliklerde yemleyici olarak zayıf ve orta kaya türü için 600 gr’lık, sağlam ve çok sağlam kaya türü için 900 gr’lık dinamit lokumları, delik dibinde ve ortasında olmak üzere her delikte 2 adet kullanılmıştır.

3.2.5. Basamak Yüksekliği

Patlatma tasarımı uygulamalarında, basamak yüksekliği genelde ocaktaki makinelerin boyutuna göre yapılır. Bu çalışmada ilk olarak 15 m basamak yüksekliği için patlatma hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra farklı basamak yükseklikleri için birkaç patlatma denemesi yapılmıştır ve farklı basamak yükseklikleri için şarj yoğunluğu değerleri verilmiştir.

3.2.6. Delik Çapı

Delik çapı için, genelde yaygın olarak kullanılan ekipmanlara göre 4 değer seçilmiştir. 89, 115, 152 ve 200 mm.

3.2.7. Yük Mesafesi

Yük mesafesi için birkaç değer seçilmiştir. Bu değerler Ash, Konya ve Langefors eşitliklerinden elde edilmiştir. Şöyle ki; en az yük mesafesi, Ash ve Konya eşitliğinden, en yüksek yük mesafesi ise, Langefors eşitliğinden hesaplanmıştır. Çalışmada uygulanan yük mesafeleri, en düşük ve en yüksek yük mesafesinin arasındaki değerlerden seçilmiştir. Örnek olarak çok sağlam kayada, farklı delik çapları için en az yük mesafesi ve en yüksek yük mesafesi hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, bütün kaya türleri için geçerlidir.

Konya eşitliği [30];

$$B(\text{ft}) = \left[\left(\frac{2 \times S_{Ge}}{S_{Gr}} \right) + 1.5 \right] \times D_e(\text{in}) \quad (2.2)$$

Burada;

S_{Ge} : Patlayıcının özgül ağırlığı (gr/cm^3)(1,25)

S_{Gr} : Kayacın özgül ağırlığı (gr/cm^3)(3)

D_e : Şarj çapı (in)

$$89 \text{ mm} = 3,5 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \left[\left(\frac{2 \times 1,25}{3} \right) + 1.5 \right] \times 3,5 = 8,16 \text{ (ft)} = 2,49 \text{ m}$$

$$115 \text{ mm} = 4,52 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \left[\left(\frac{2 \times 1,25}{3} \right) + 1.5 \right] \times 4,52 = 3,2 \text{ m}$$

$$152 \text{ mm} = 5,98 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \left[\left(\frac{2 \times 1,25}{3} \right) + 1.5 \right] \times 5,98 = 4,25 \text{ m}$$

$$200 \text{ mm} = 7,87 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \left[\left(\frac{2 \times 1,25}{3} \right) + 1.5 \right] \times 7,87 = 5,4 \text{ m}$$

Ash eşitliği [5];

$$B(ft) = \frac{K_B \times D(in)}{12} \quad (2.3)$$

Burada;

D : Delik çapı (in)

K_B : Kaya özelliklerine ve patlayıcı madde özelliklerine bağlı bir sayı olup Çizelge 3.7'den elde edilir.

Çizelge 3.7. Patlayıcı ve kaya türüne göre K_B değeri [5]

Patlayıcı türü	Kaya türü		
	zayıf	orta sağlam	sağlam
Yoğunluk (0,8-0,9 gr/cm ³) ve az güçlü	30	25	20
Yoğunluk (1-1,2 gr/cm ³) orta güçlü	35	30	25
Yoğunluk (1,3-1,6 gr/cm ³) güçlü	40	35	30

$K_B = 30$

$$89 \text{ mm} = 3,5 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \frac{30 \times 3,5}{12} = 8,75 \text{ (ft)} = 2,67 \text{ m}$$

$$115 \text{ mm} = 4,52 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \frac{30 \times 4,52}{12} = 3,45 \text{ m}$$

$$152 \text{ mm} = 5,98 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \frac{30 \times 5,98}{12} = 4,56 \text{ m}$$

$$200 \text{ mm} = 7,87 \text{ in} \quad \rightarrow \quad B = \frac{30 \times 7,87}{12} = 6 \text{ m}$$

Langefors eşitliği [22];

$$B_{\max} = \frac{D}{33} \times \sqrt{\frac{P \times E}{C_o \times f \times (S/B)}} \quad (2.1)$$

Burada;

P : Patlayıcının delikteki özgül ağırlığı (kg/dm³) (1-1,6). Çok sağlam kayada emülsiyon patlayıcı kullanıldığı için, patlayıcının özgül ağırlığı ile aynıdır (P = 1,25).

E : Patlayıcının göreceli ağırlık kuvveti, emülsiyon için; E = 1,13

Co : Kaya sabiti → Co = C + 0,05

Eklemlı kayalar için: C = 0,55 kg/m³

$$Co = 0,55 + 0,05 = 0,6$$

f : Delik açısına bağlı bir sabit, dik delikler için: f = 1

S/B : Delikler arası mesafe/yük mesafesi (S/B = 1,25)

$$89 \text{ mm için; } B_{\max} = \frac{89}{33} \times \sqrt{\frac{1,25 \times 1,13}{0,6 \times 1 \times 1,25}} = 3,7 \text{ m}$$

$$115 \text{ mm için; } B_{\max} = \frac{115}{33} \times \sqrt{\frac{1,25 \times 1,13}{0,6 \times 1 \times 1,25}} = 4,78 \text{ m}$$

$$152 \text{ mm için; } B_{\max} = \frac{152}{33} \times \sqrt{\frac{1,25 \times 1,13}{0,6 \times 1 \times 1,25}} = 6,3 \text{ m}$$

$$200 \text{ mm için; } B_{\max} = \frac{200}{33} \times \sqrt{\frac{1,25 \times 1,13}{0,6 \times 1 \times 1,25}} = 8,3 \text{ m}$$

Bu çalışmada kullanılan yük mesafesi değerleri, bu eşitliklerden elde edilen yük mesafesi ve en yüksek yük mesafesinin arasındaki değerlerden seçilmiştir. Bu değerler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Çalışmada kullanılan yük mesafesi değerleri

Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)
89	2, 3, 4
115	3, 4, 5
152	4, 5, 6
200	5, 6, 7, 8

Patlatma tasarımındaki diğer değişkenler şunlardır: delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, delik eğimi, delik düzeni ve gecikme aralıkları.

Delikler arası mesafe, sıkılama boyu ve taban payı, Ash eşitliğinden elde edilmiştir [5].

$$\text{Delikler arası mesafe: } S = 1,25 \times B \quad (2.4)$$

$$\text{Sıkılama boyu: } T = B \quad (2.6)$$

$$\text{Delik taban payı: } U = 0,3 \times B \quad (2.5)$$

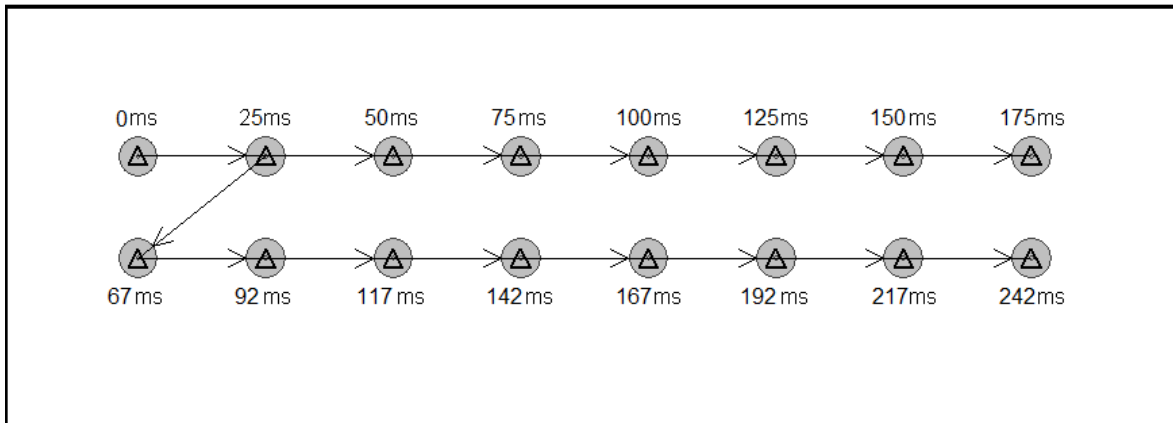
Çizelge 3.9’de farklı yük mesafeleri için elde edilen bu değerler verilmiştir.

Çizelge 3.9. Farklı yük mesafesi değerleri için delikler arası mesafe, sıkılama boyu ve delik taban payı değerleri

Yük mesafesi (m)	Delikler arası mesafe (m)	Sıkılama boyu (m)	Delik taban payı (m)
2	2,5	2	0,6
3	3,75	3	0,9
4	5	4	1,2
5	6,25	5	1,5
6	7,5	6	1,8
7	8,75	7	2,1
8	10	8	2,4

Delik eğimi, Türkiyedeki patlatma çalışmaları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Türkiyedeki basamak patlatmalarında, eğimli delik delme uygulaması yapılamadığı için, delikler eğimsiz ve dik olarak düşünülmüştür.

Delik düzeni ve gecikme aralıklarını belirlemek için, Uyar [66] tarafından yapılan bir çalışmada kullanılan patlatma uygulaması konu alınmıştır. İtalya'daki bir açık ocakta yapılan bu patlatmada, delik düzeni kare şeklinde tasarlanmıştır. Toplam delik sayısı 16 adet ve 2 sıra halindedir. Delikler arasında 25 ms ve sıralar arasında 42 ms gecikme uygulanmıştır. Patlatma ilk delikten başlayıp, 25 ms sonra, sıra içindeki ikinci deliğe aktarılır. Bu delikten sıranın sonuna doğru devam ederken, aynı anda 42 ms gecikme ile arka sıraya aktarılır. Böylece patlatma son deliğe kadar devam eder. Delik düzeni ve gecikme aralıkları Şekil 3.35'te gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Delik düzeni ve gecikme aralıkları

4. PROGRAM ÇIKTILARI VE NOMOGRAMLARIN ÇİZİLMESİ

Değişkenlerin sayısı ve değerleri belirlendikten sonra, sıra bu değişkenlerin yazılımda uygulanmasına gelmiştir. Bu bölümde, değişkenlerden oluşan farklı kombinasyonlar JKSimBlast yazılımına aktarılıp, elde edilen sonuçlar verilerle beraber nomogramlar şeklinde hazırlanmıştır. Nomogramların değerlendirilmesi, kullanım şekli, örnek bir saha çalışması ve basamak yüksekliği değişiminin maliyetteki etkisinin araştırılması bu bölümün diğer kısımlarını oluşturmaktadır.

4.1. Program Çıktıları

Önceki bölümde, patlatma uygulamaları için tasarım değişkenleri belirlenip, her değişken için uygun değerler seçilmiştir. Bütün bu değerler tek tek yazılıma girilip, elde edilen P80 parça boyutu ve şarj yoğunluğu değerleri kaydedilmiştir. Farklı süreksizlik aralıkları için programdan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Programdan elde edilen şarj yoğunluğu değerleri

Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)	Şarj yoğunluğu			
		Zayıf ($\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$)	Orta ($\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$)	Sağlam ($\text{kg}_{\text{H.ANFO}}/\text{m}^3$)	Çok sağlam ($\text{kg}_{\text{emülsiyon}}/\text{m}^3$)
89	2	0,902	0,902	1,523	1,410
	3	0,380	0,380	0,642	0,594
	4	0,202	0,202	0,342	0,316
115	3	0,635	0,635	1,072	0,993
	4	0,338	0,338	0,570	0,528
	5	0,204	0,204	0,344	0,319
152	4	0,590	0,590	0,996	0,922
	5	0,356	0,356	0,601	0,556
	6	0,232	0,232	0,392	0,363
200	5	0,617	0,617	1,040	0,963
	6	0,402	0,402	0,679	0,628
	7	0,276	0,276	0,466	0,432
	8	0,197	0,197	0,332	0,308

Çizelge 4.2. 1 m süreksizlik aralığı için P80 parça boyut değerleri

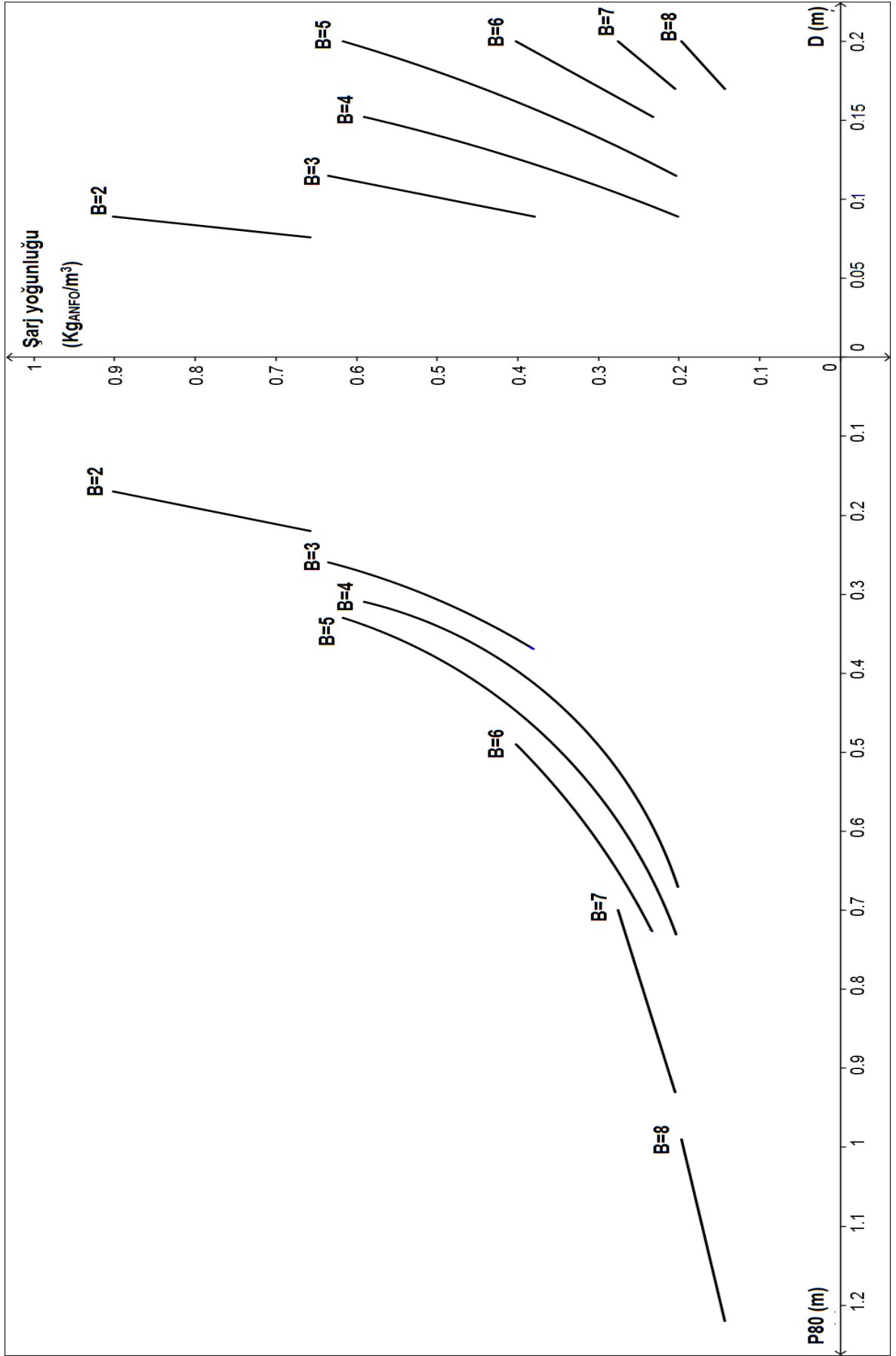
Kaya türü	Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)	P80 Parça boyutu (m)		
			Dik süreksizlik	Paralel süreksizlik	Dik ve paralel
Zayıf	89	2	0,17	0,20	0,18
		3	0,37	0,42	0,40
		4	0,67	0,75	0,71
	115	3	0,26	0,29	0,27
		4	0,45	0,52	0,49
		5	0,73	0,83	0,78
	152	4	0,31	0,35	0,33
		5	0,49	0,55	0,52
		6	0,73	0,83	0,78
	200	5	0,33	0,37	0,35
		6	0,49	0,55	0,52
		7	0,70	0,80	0,75
8		0,99	1,12	1,05	
Orta	89	2	0,19	0,21	0,20
		3	0,40	0,45	0,43
		4	0,72	0,81	0,76
	115	3	0,28	0,32	0,30
		4	0,49	0,55	0,52
		5	0,79	0,89	0,84
	152	4	0,33	0,38	0,35
		5	0,53	0,59	0,56
		6	0,79	0,89	0,84
	200	5	0,36	0,40	0,38
		6	0,53	0,60	0,56
		7	0,76	0,85	0,80
8		1,07	1,20	1,14	
Sağlam	89	2	0,17	0,19	0,18
		3	0,37	0,41	0,39
		4	0,66	0,73	0,69
	115	3	0,26	0,28	0,27
		4	0,45	0,50	0,48
		5	0,73	0,80	0,77
	152	4	0,31	0,34	0,32
		5	0,48	0,53	0,51
		6	0,72	0,80	0,76
	200	5	0,33	0,36	0,34
		6	0,49	0,54	0,52
		7	0,70	0,77	0,73
8		0,98	1,08	1,03	
Çok sağlam	89	2	0,19	0,21	0,20
		3	0,41	0,44	0,42
		4	0,73	0,79	0,76
	115	3	0,28	0,31	0,29
		4	0,50	0,54	0,52
		5	0,80	0,87	0,83
	152	4	0,34	0,37	0,36
		5	0,53	0,58	0,56
		6	0,80	0,87	0,83
	200	5	0,36	0,39	0,37
		6	0,54	0,58	0,56
		7	0,77	0,83	0,80
8		1,08	1,17	1,13	

Çizelge 4.3. 3 m süreksizlik aralığı için P80 parça boyut değerleri

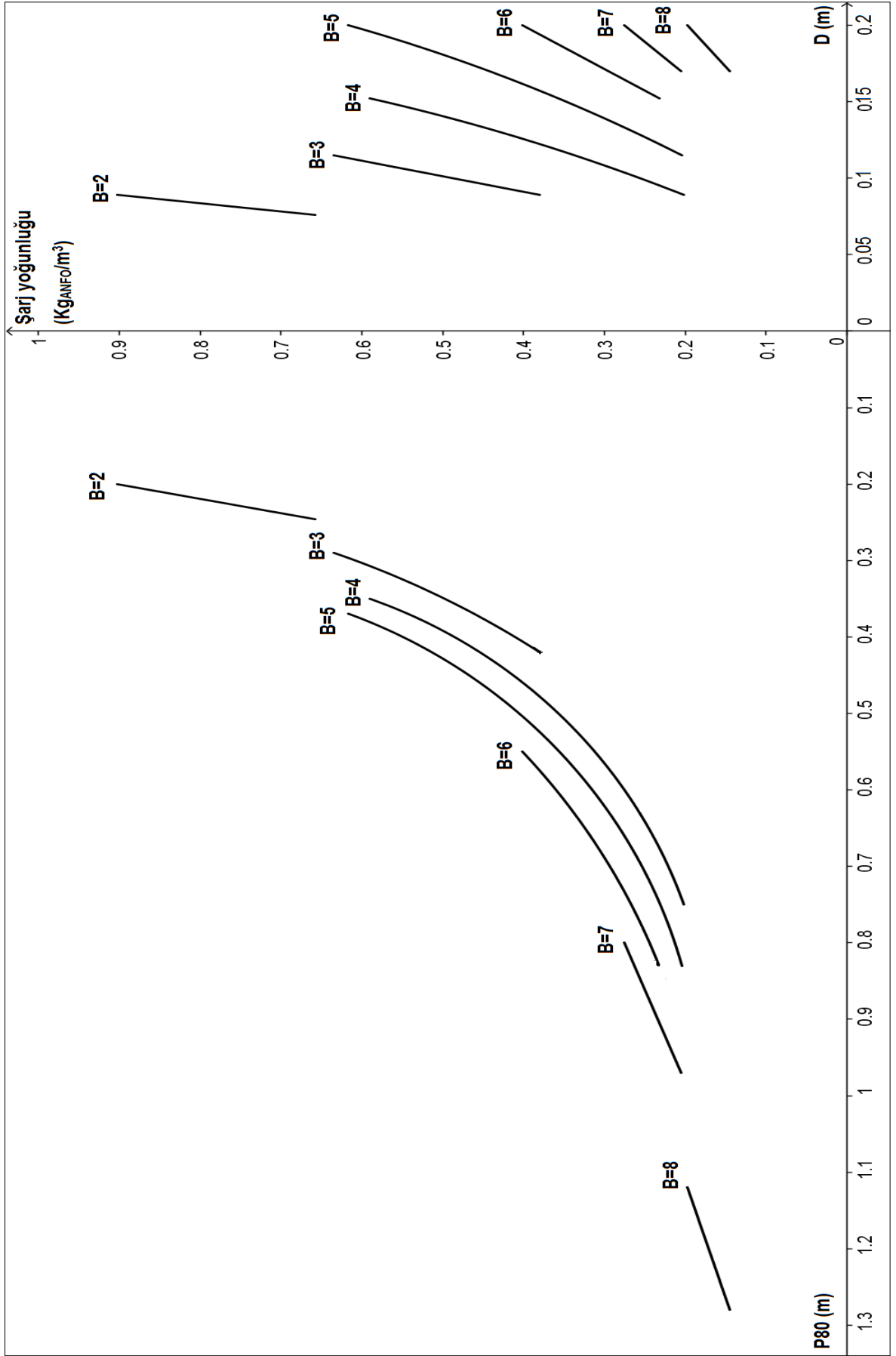
Kaya türü	Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)	P80 Parça boyutu (m)		
			Dik süreksizlik	Paralel süreksizlik	Dik ve paralel
Zayıf	89	2	0,25	0,27	0,26
		3	0,52	0,57	0,55
		4	0,94	1,02	0,98
	115	3	0,36	0,40	0,38
		4	0,64	0,70	0,67
		5	1,03	1,13	1,08
	152	4	0,43	0,47	0,45
		5	0,68	0,75	0,71
		6	1,03	1,12	1,08
	200	5	0,47	0,51	0,49
		6	0,69	0,75	0,72
		7	0,99	1,08	1,04
8		1,40	1,53	1,46	
Orta	89	2	0,26	0,28	0,27
		3	0,55	0,60	0,58
		4	0,99	1,08	1,04
	115	3	0,39	0,42	0,40
		4	0,68	0,74	0,71
		5	1,09	1,19	1,14
	152	4	0,46	0,50	0,48
		5	0,73	0,79	0,76
		6	1,09	1,19	1,14
	200	5	0,49	0,54	0,51
		6	0,73	0,80	0,76
		7	1,05	1,14	1,10
8		1,48	1,61	1,55	
Sağlam	89	2	0,23	0,25	0,24
		3	0,49	0,53	0,51
		4	0,87	0,94	0,90
	115	3	0,34	0,37	0,35
		4	0,60	0,65	0,63
		5	0,97	1,04	1,01
	152	4	0,41	0,44	0,42
		5	0,64	0,69	0,67
		6	0,96	1,04	1,00
	200	5	0,44	0,47	0,45
		6	0,65	0,70	0,68
		7	0,93	1,00	0,97
8		1,30	1,41	1,35	
Çok sağlam	89	2	0,24	0,26	0,25
		3	0,51	0,54	0,53
		4	0,91	0,98	0,95
	115	3	0,36	0,38	0,37
		4	0,63	0,67	0,65
		5	1,01	1,08	1,04
	152	4	0,43	0,45	0,44
		5	0,67	0,72	0,69
		6	1,01	1,07	1,04
	200	5	0,46	0,49	0,47
		6	0,68	0,72	0,70
		7	0,97	1,03	1,00
8		1,36	1,45	1,40	

4.2. Nomogramların Oluşturulması

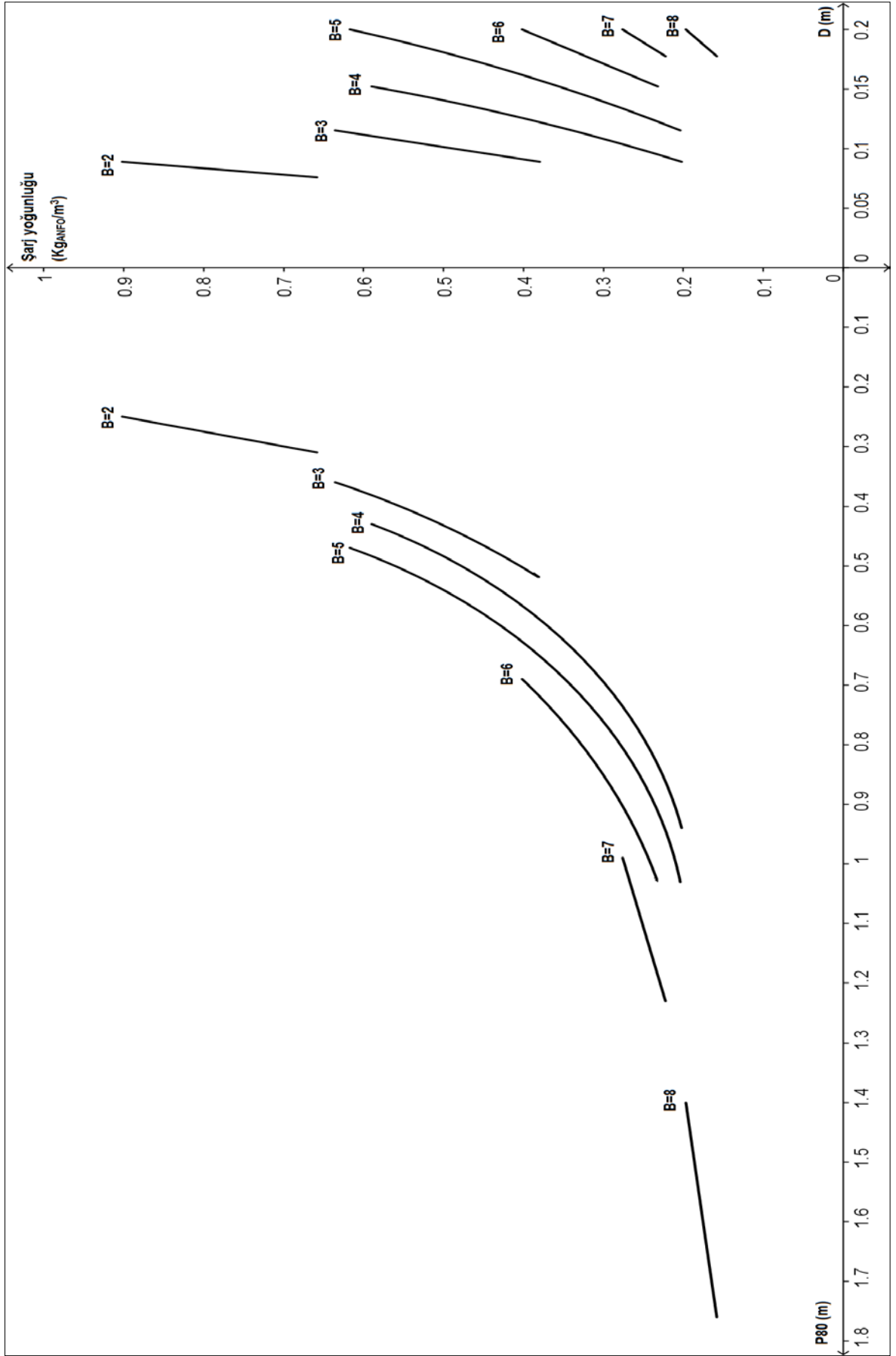
Bu çalışmanın amacı doğrultusunda elde edilen bütün değerler, nomogramlar şeklinde verilmektedir. Nomogramlar GeoGebra 4.4 yazılımı ile hazırlanmıştır. GeoGebra yazılımı, farklı matematiksel grafik çizimleri için kullanılan bir yazılımdır. Elde edilen bütün sonuçlar (P80 parça boyutu ve şarj yoğunluğu) verilerle beraber (delik çapı ve yk mesafesi) GeoGebra yazılımına girilip, tasarım nomogramları hazırlanmıştır. nomogramların X ekseni delik apı, Y ekseni şarj yoğunluğu, -X ekseni ise P80 parça boyutu değerlerini göstermektedir. Sağ ve sol taraftaki eğrilerin her biri belli bir yük mesafesini temsil etmektedir. Her kaya türündeki süreksizlik şekli için bir nomogram hazırlanmıştır. 4 tür kaya ve her kaya türünde 6 süreksizlik şekli olduğunu için, toplam 24 nomogram çizilmiştir. Bu nomogramların tamamı şekil 4.1-4.24'te verilmiştir. şekil 4.1-4.6 zayıf, şekil 4.7-4.12 orta, şekil 4.13-4.18 sağlam ve şekil 4.19-4.24 çok sağlam kaya için verilmiştir.



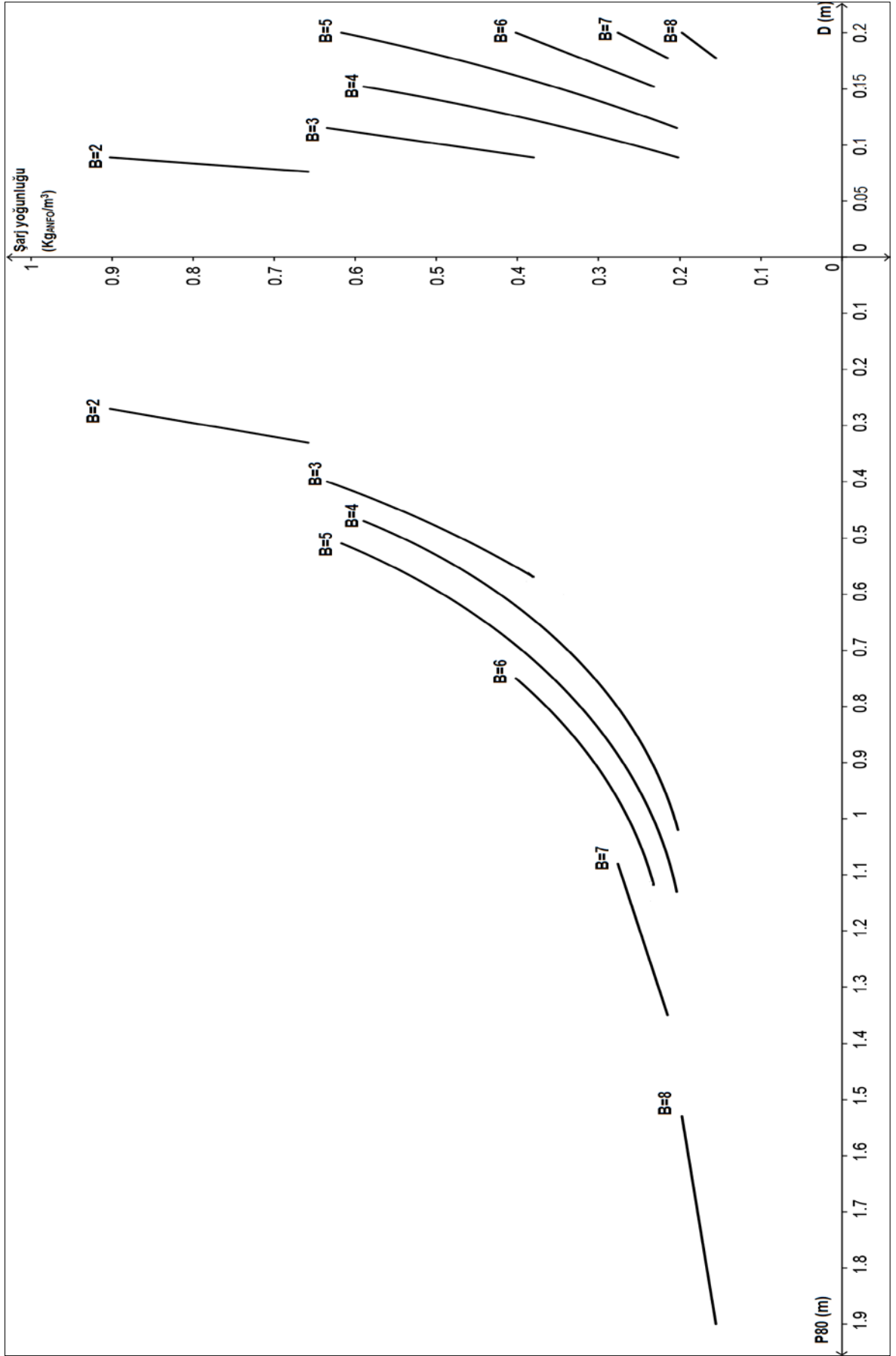
Şekil 4.1. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı



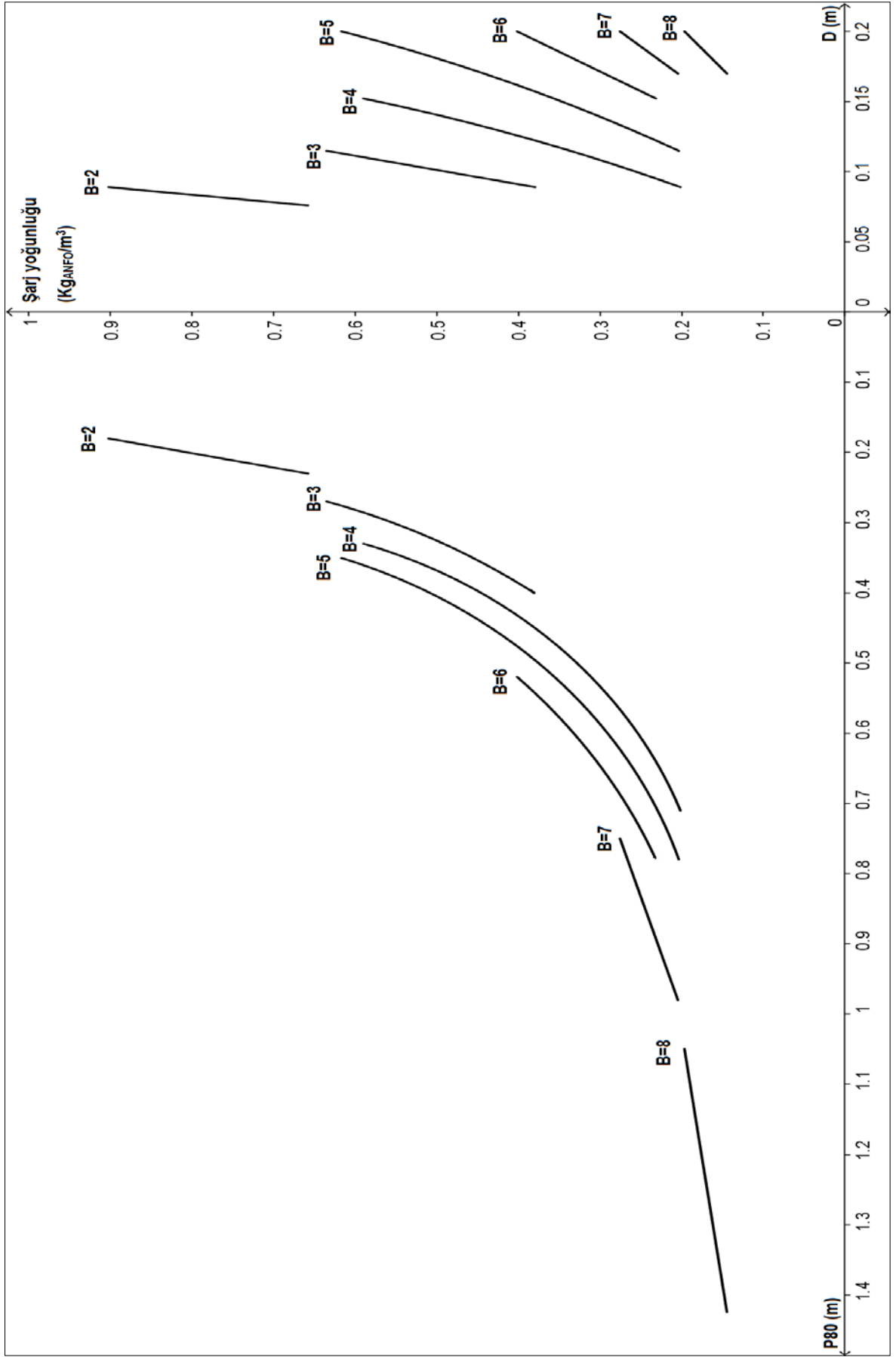
Şekil 4.2. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı



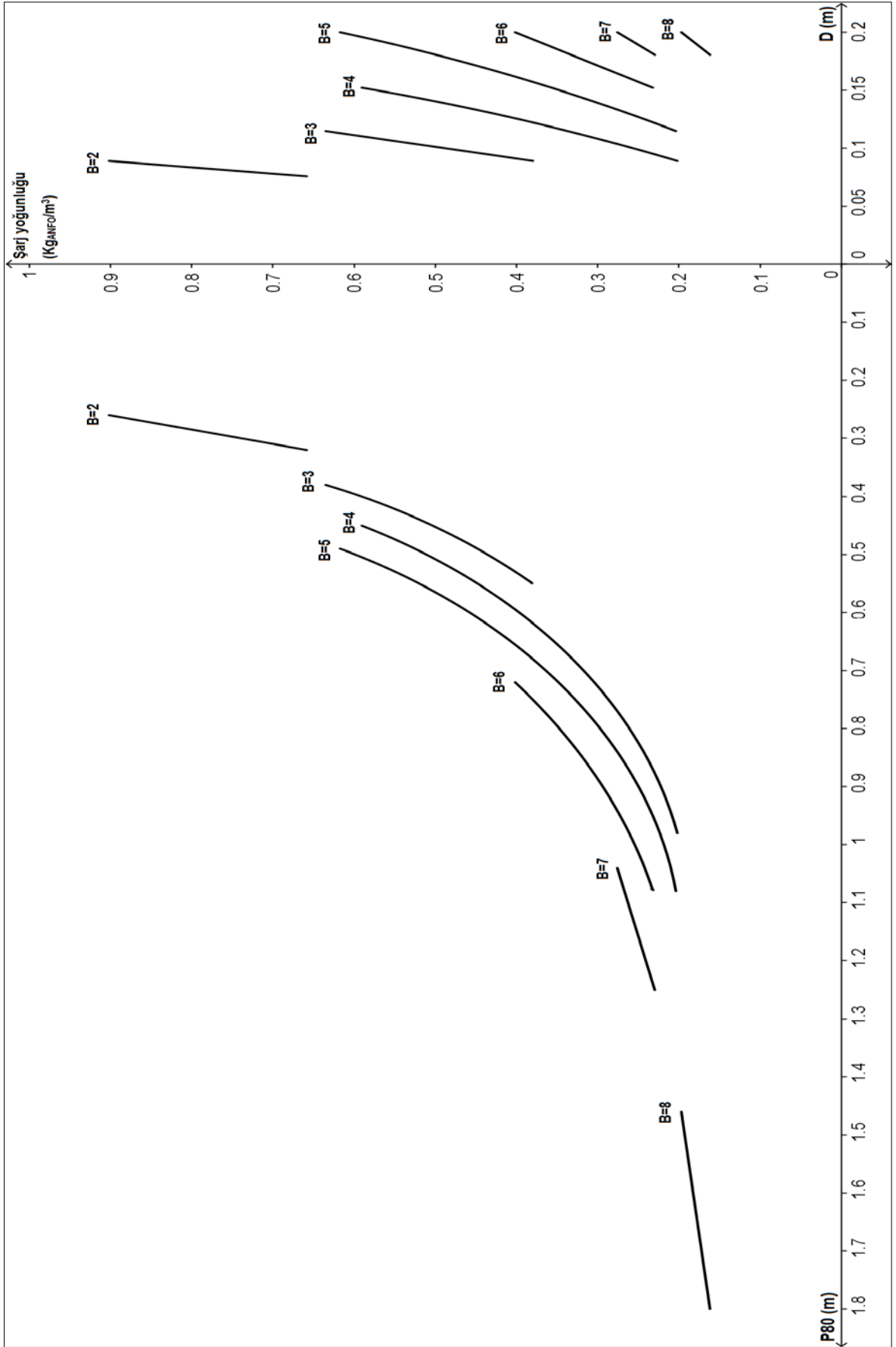
Şekil 4.3. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı



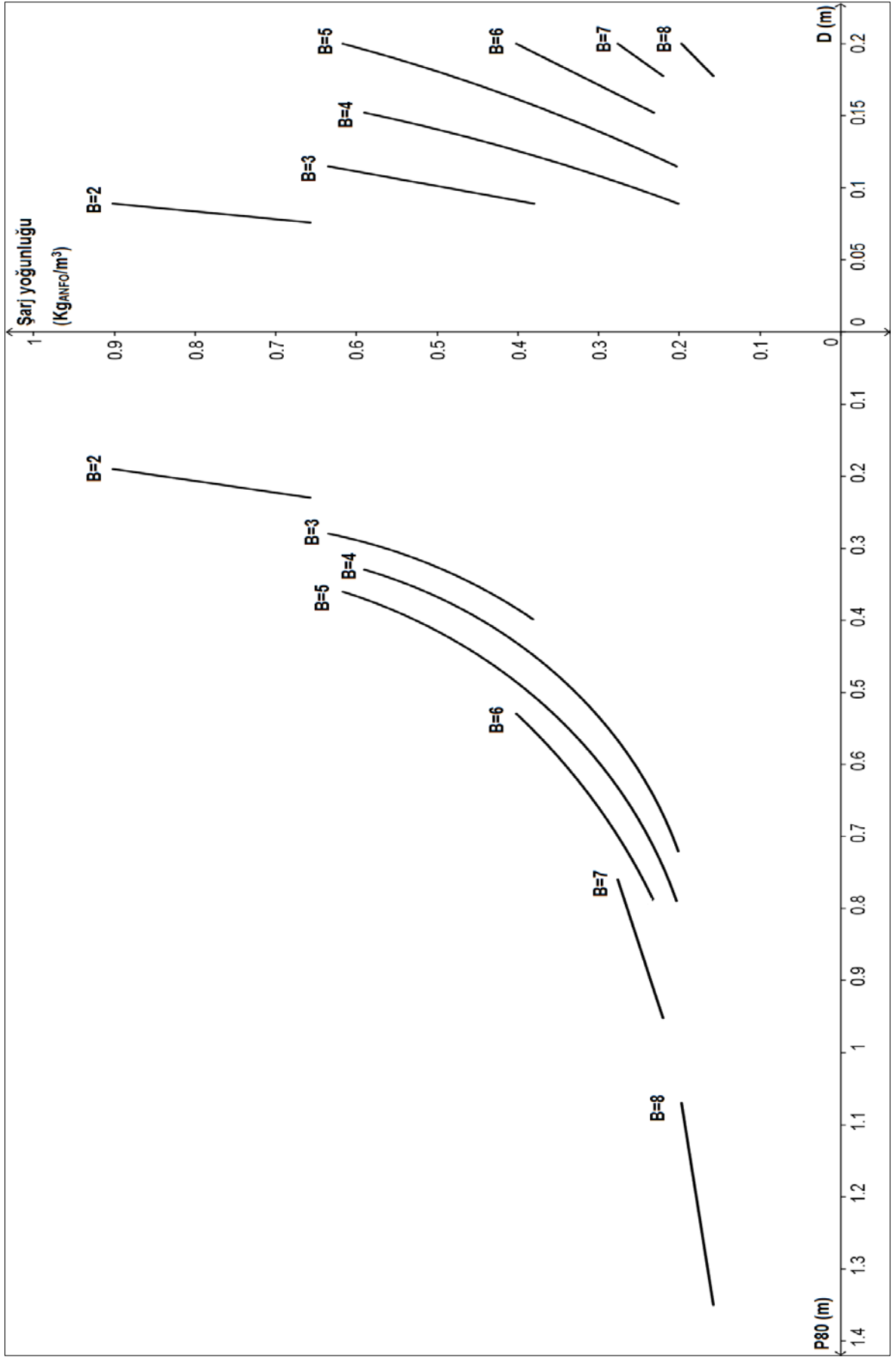
Şekil 4.4. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı



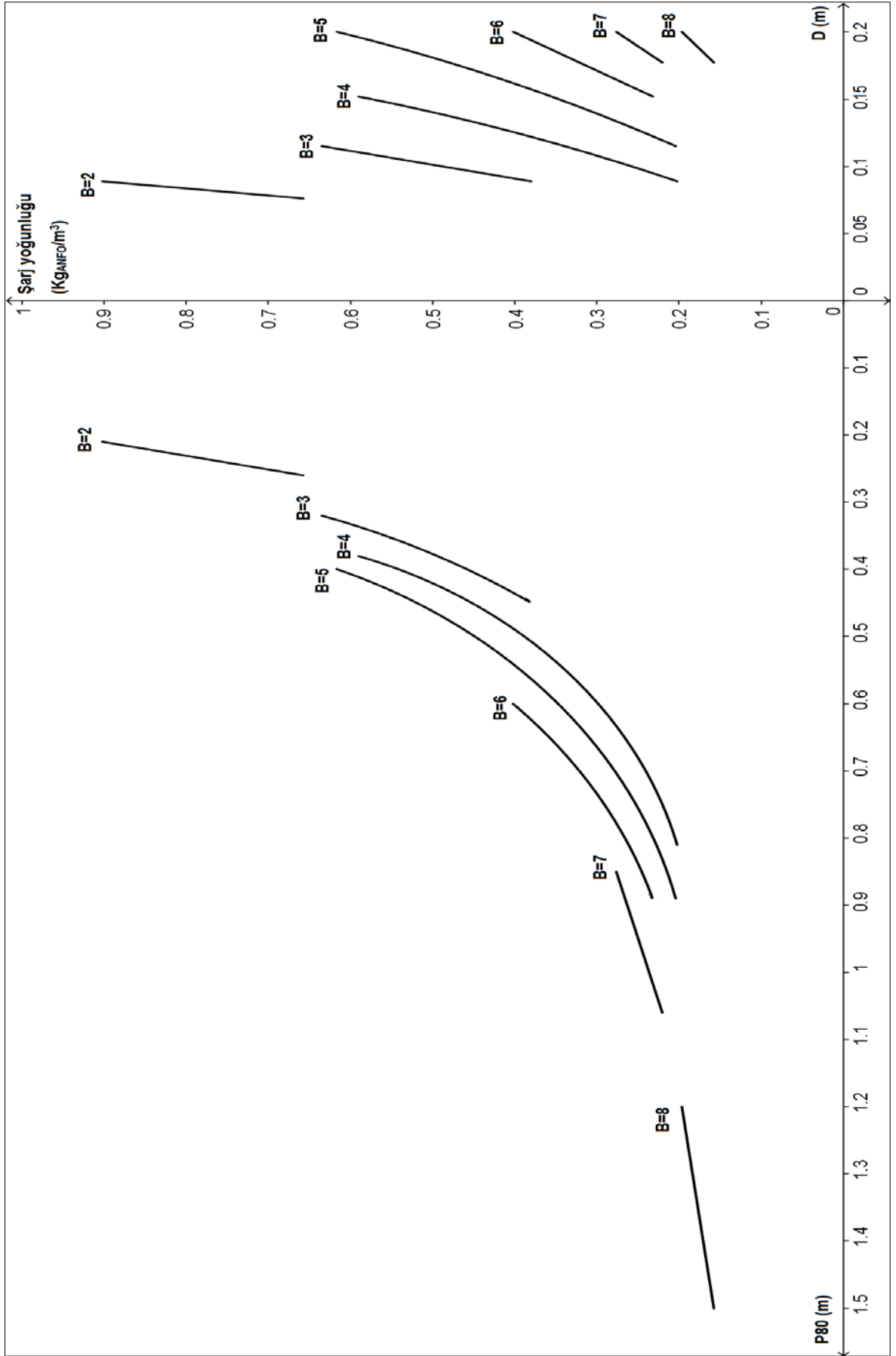
Şekil 4.5. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı



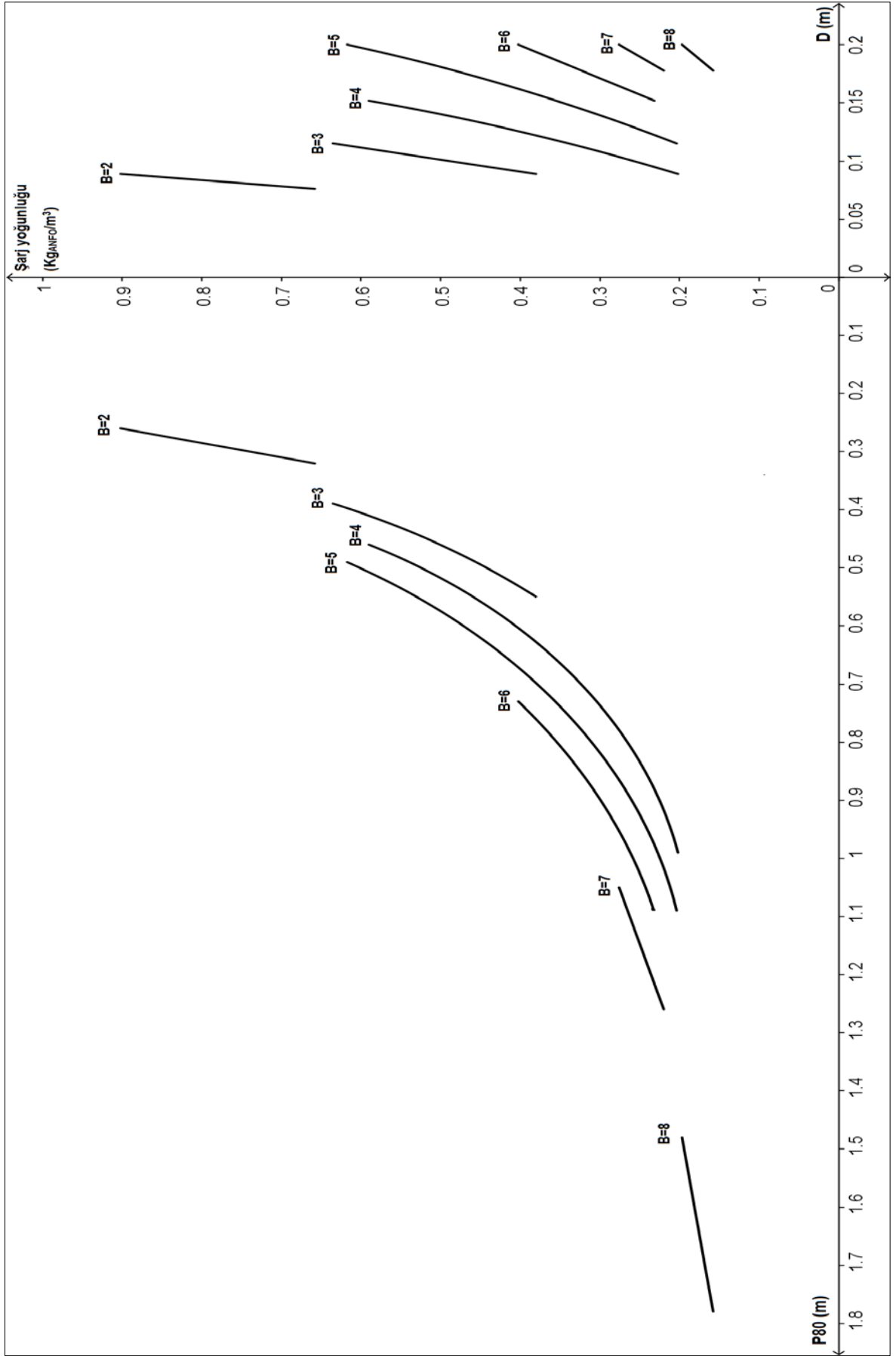
Şekil 4.6. 3 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip zayıf kayada tasarım nomogramı



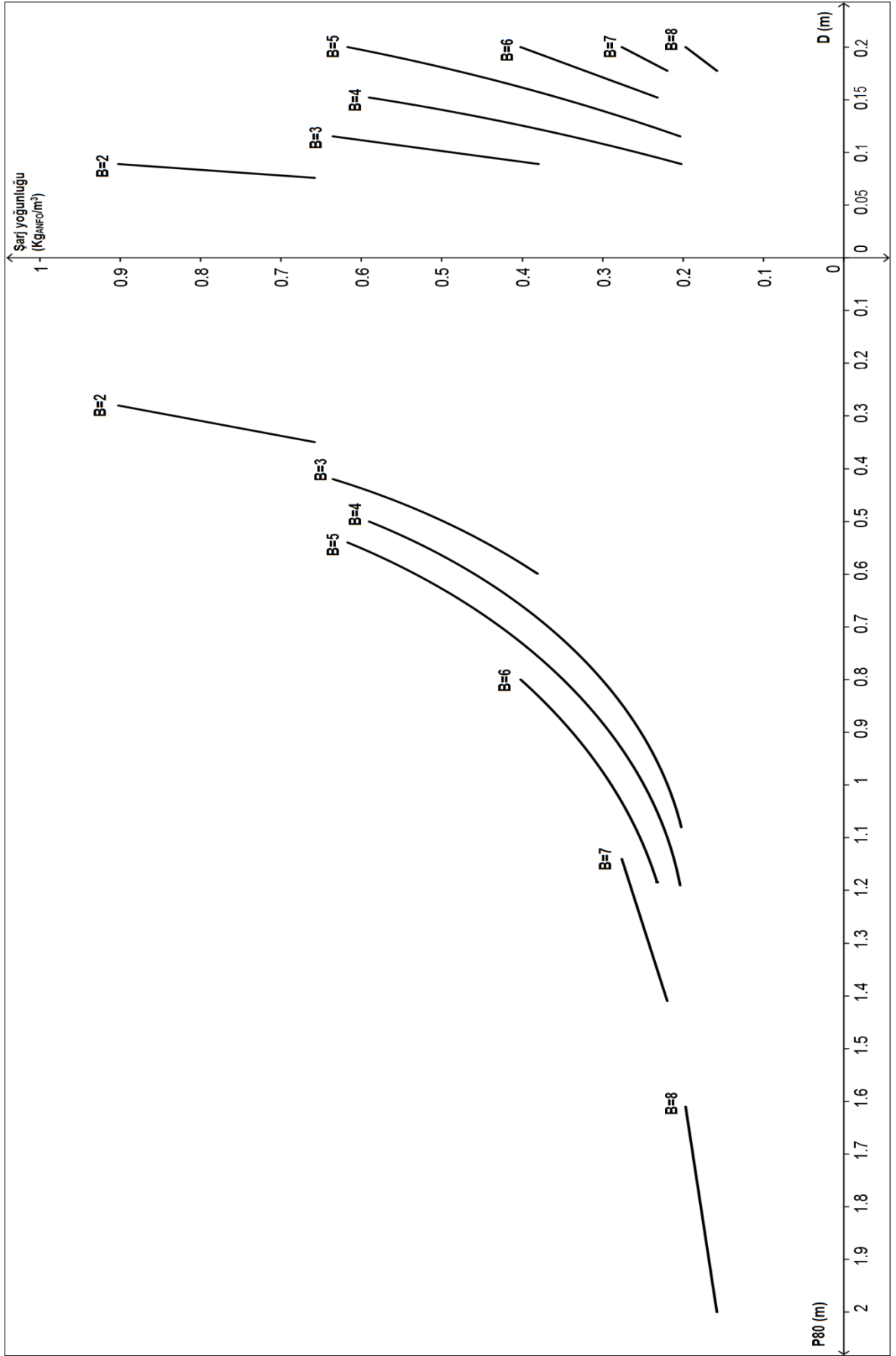
Şekil 4.7. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı



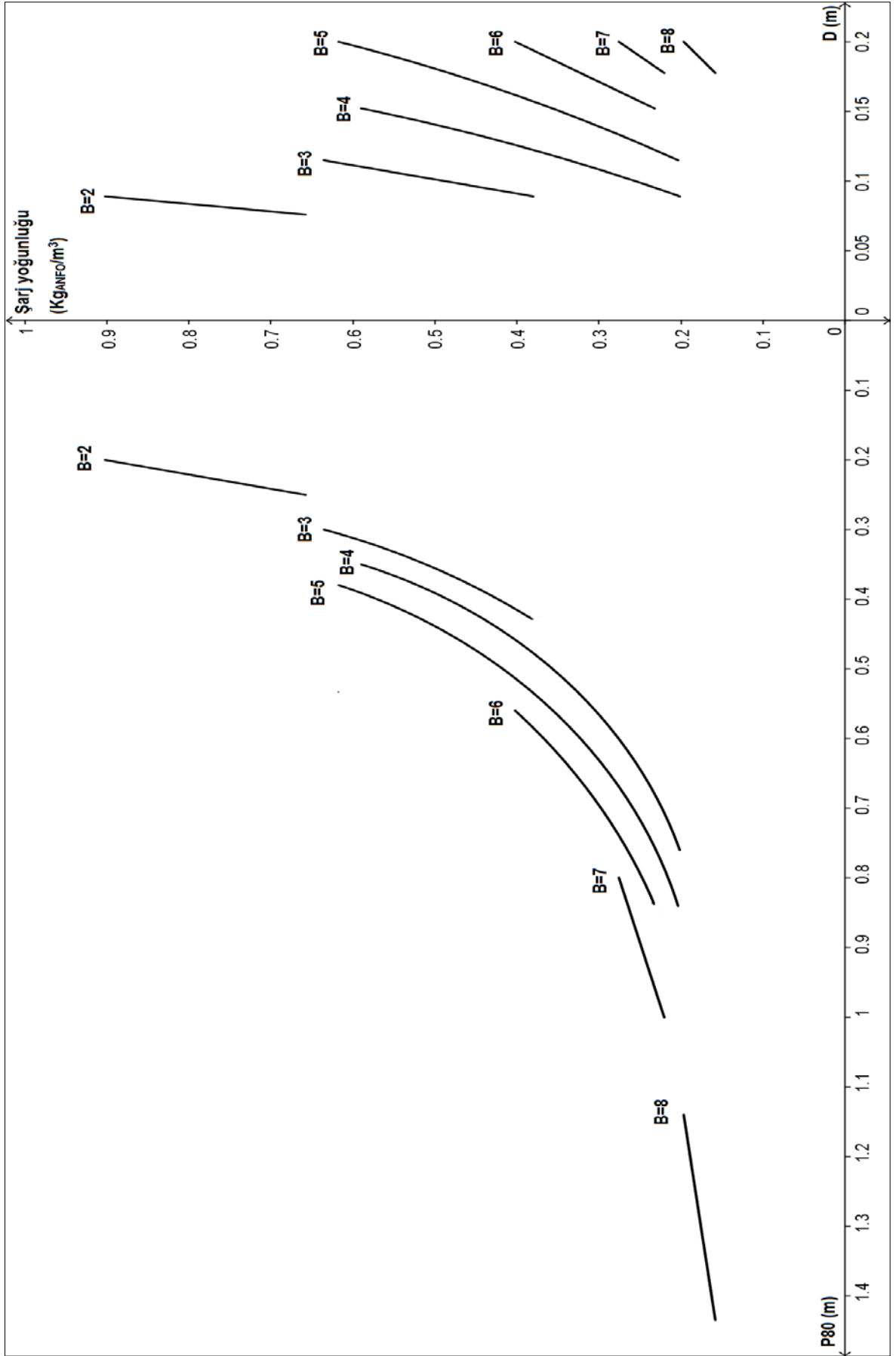
Şekil 4.8. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı



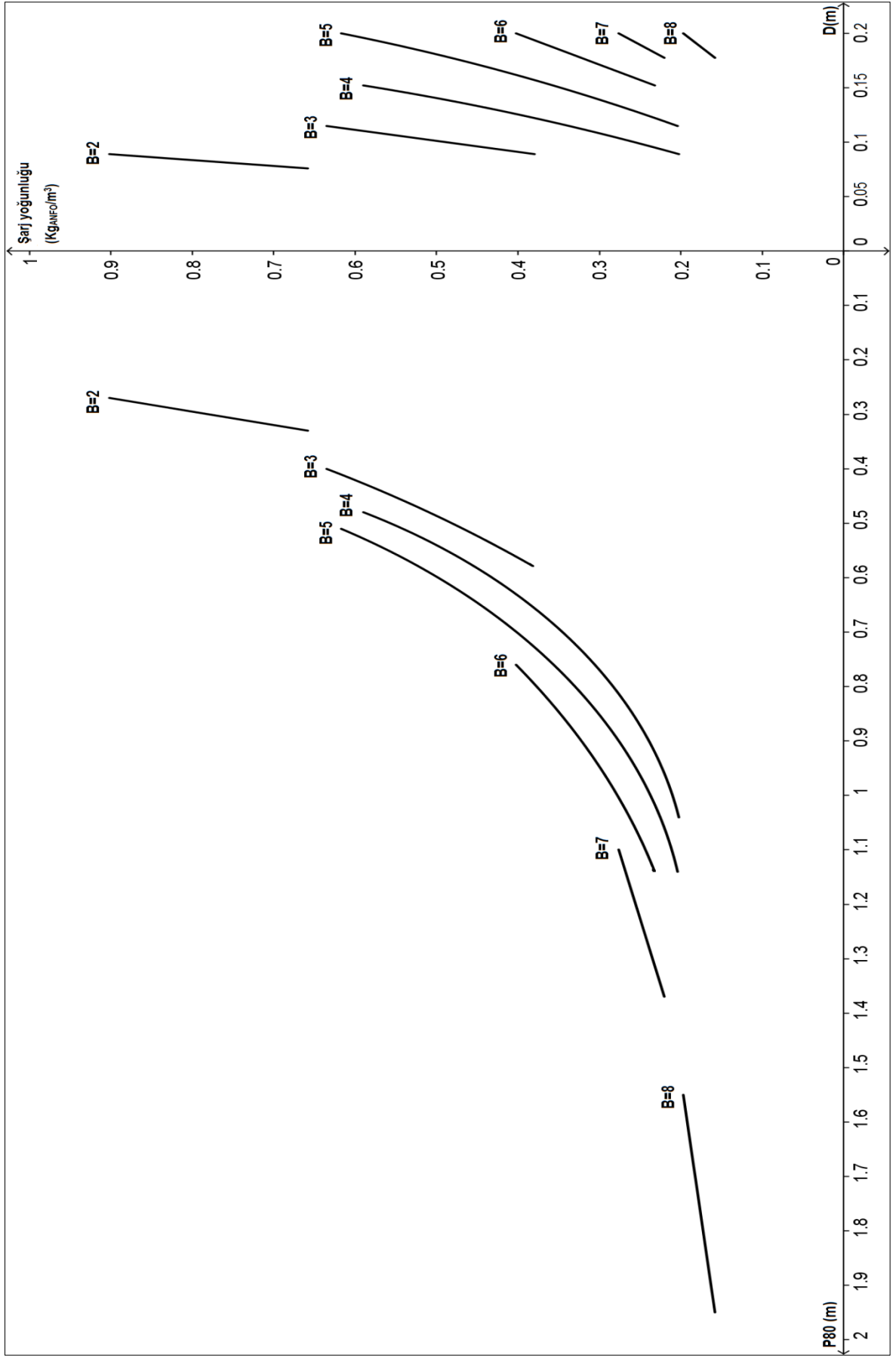
Şekil 4.9. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı



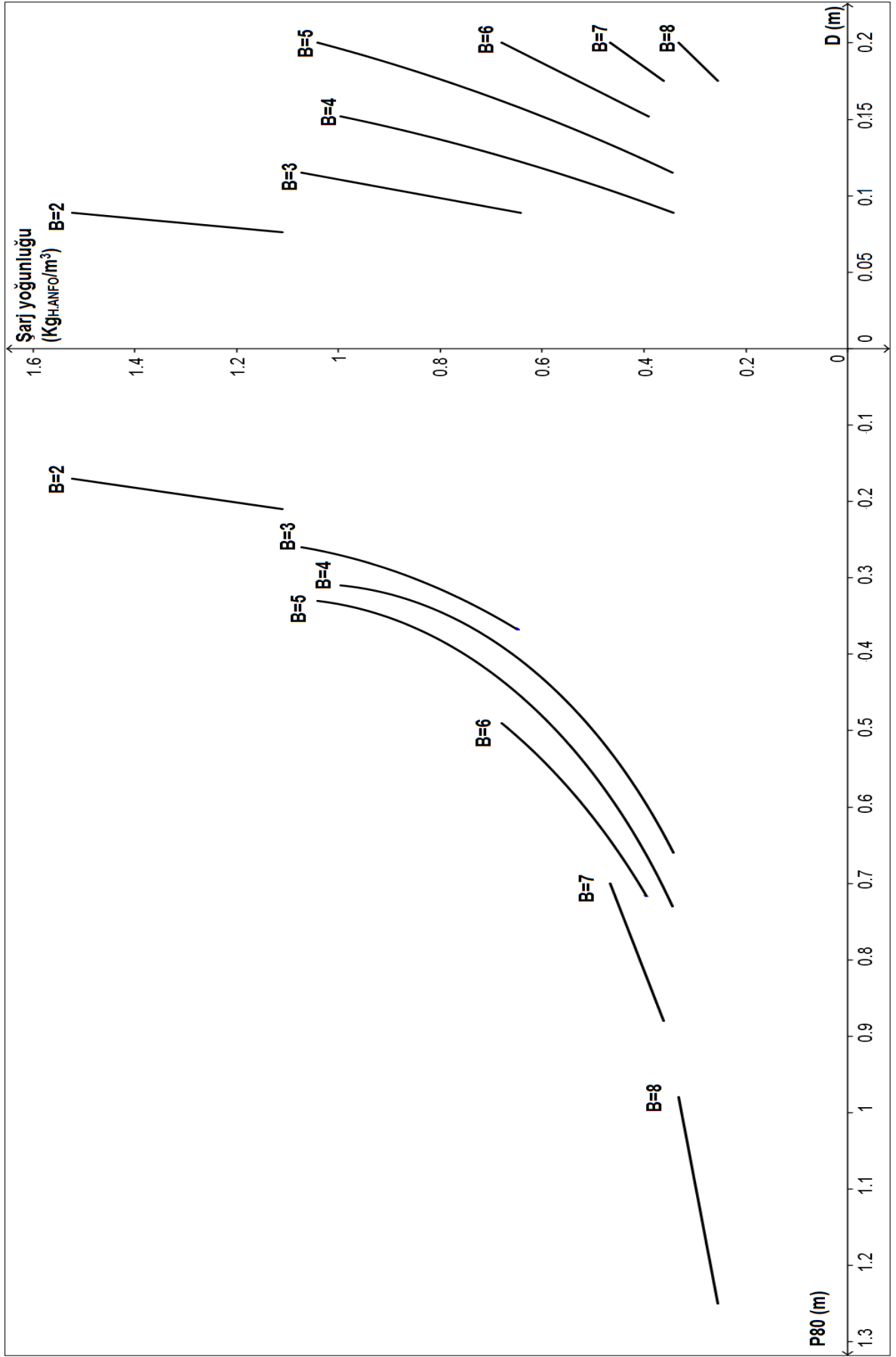
Şekil 4.10. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı



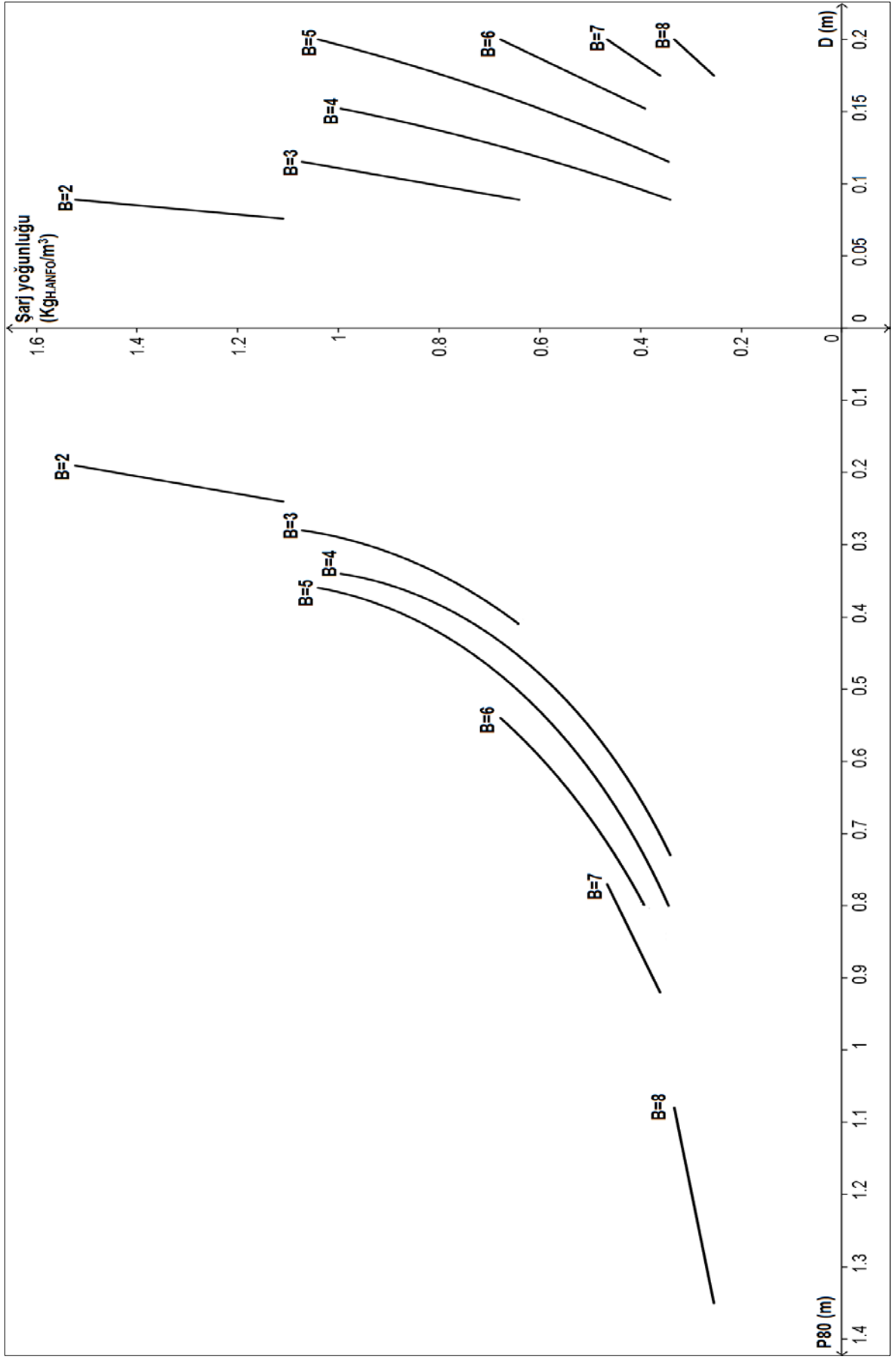
Şekil 4.11. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı



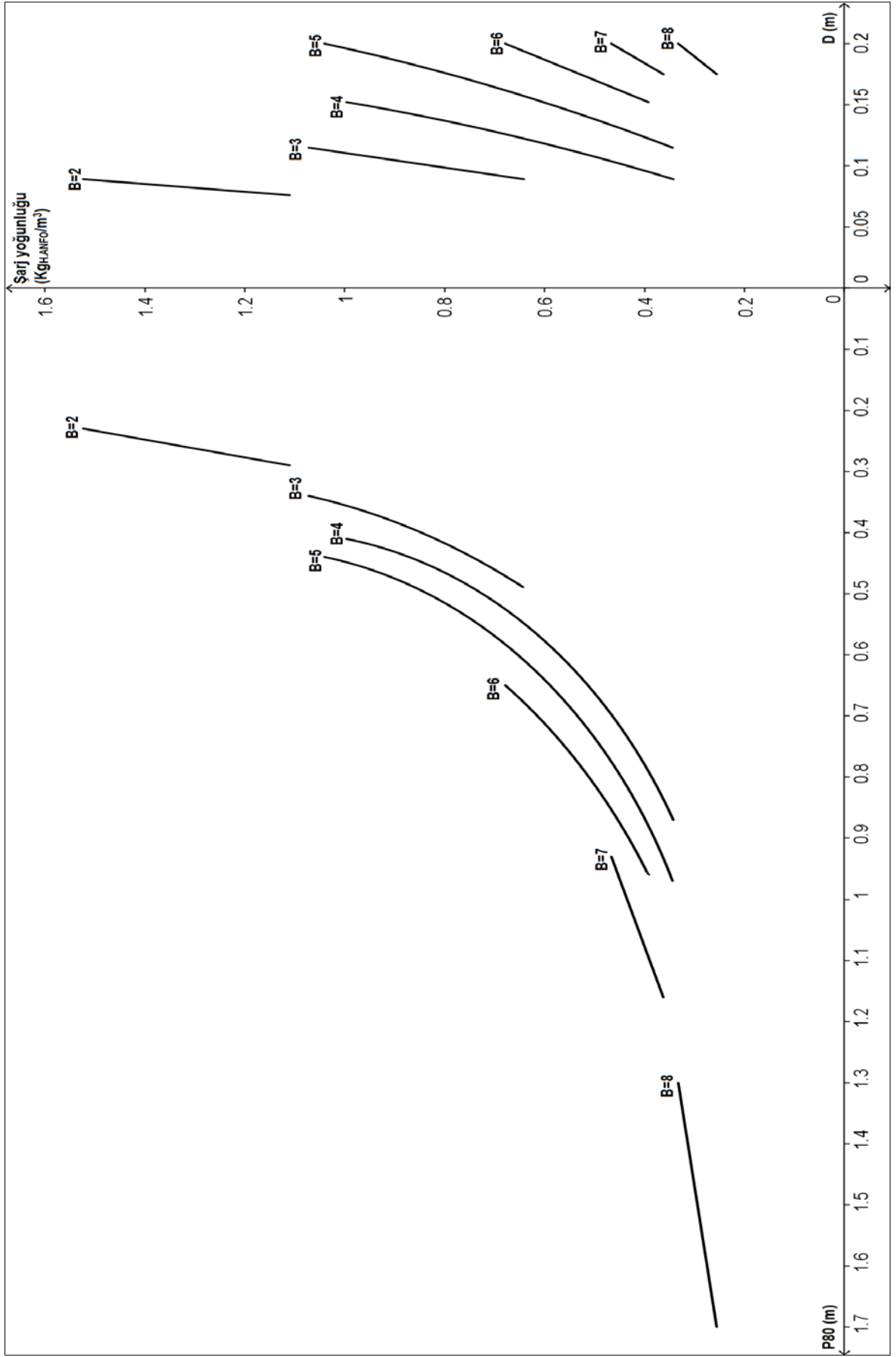
Şekil 4.12. 3 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip orta kayada tasarım nomogramı



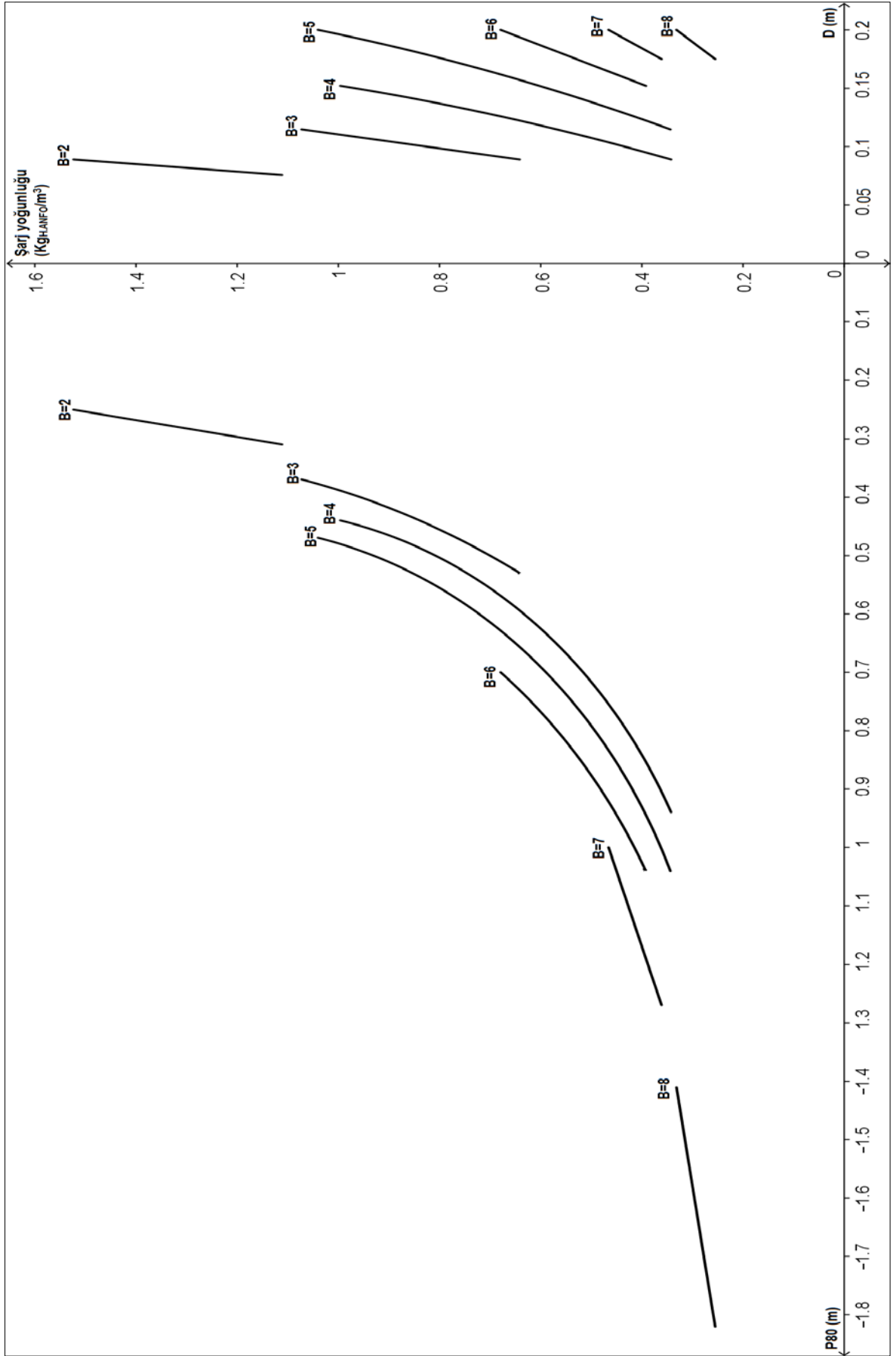
Şekil 4.13. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı



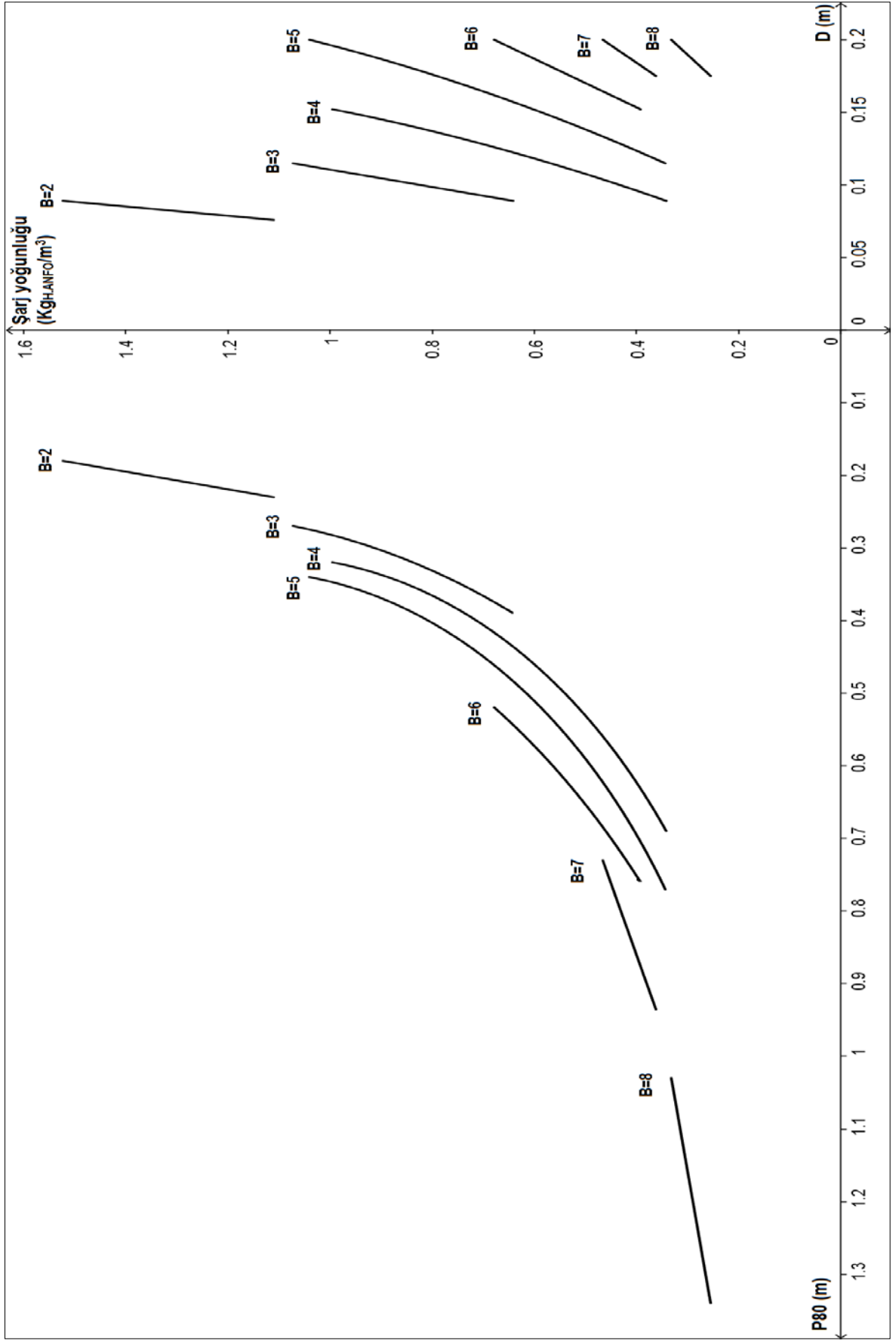
Şekil 4.14. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı



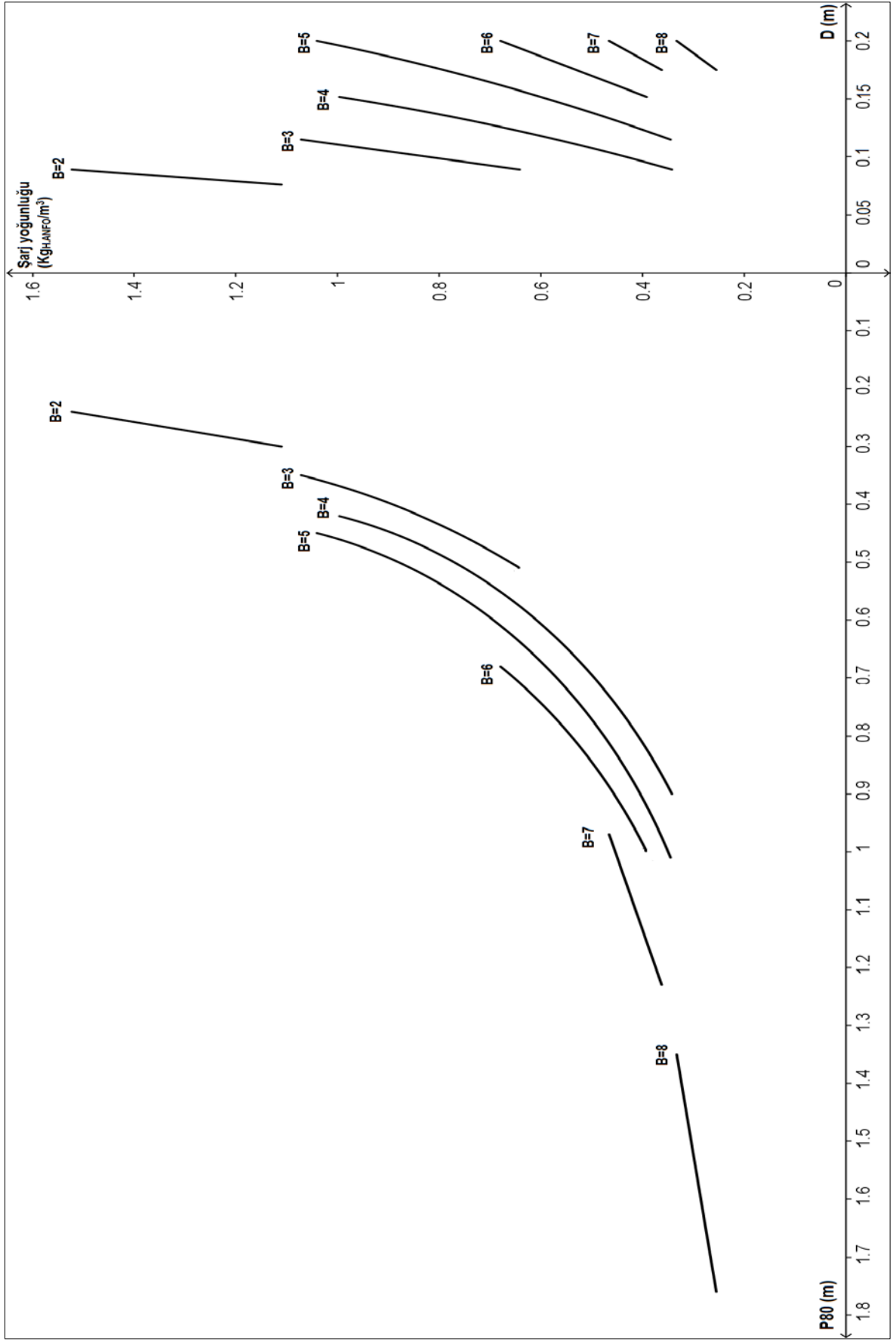
Şekil 4.15. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı



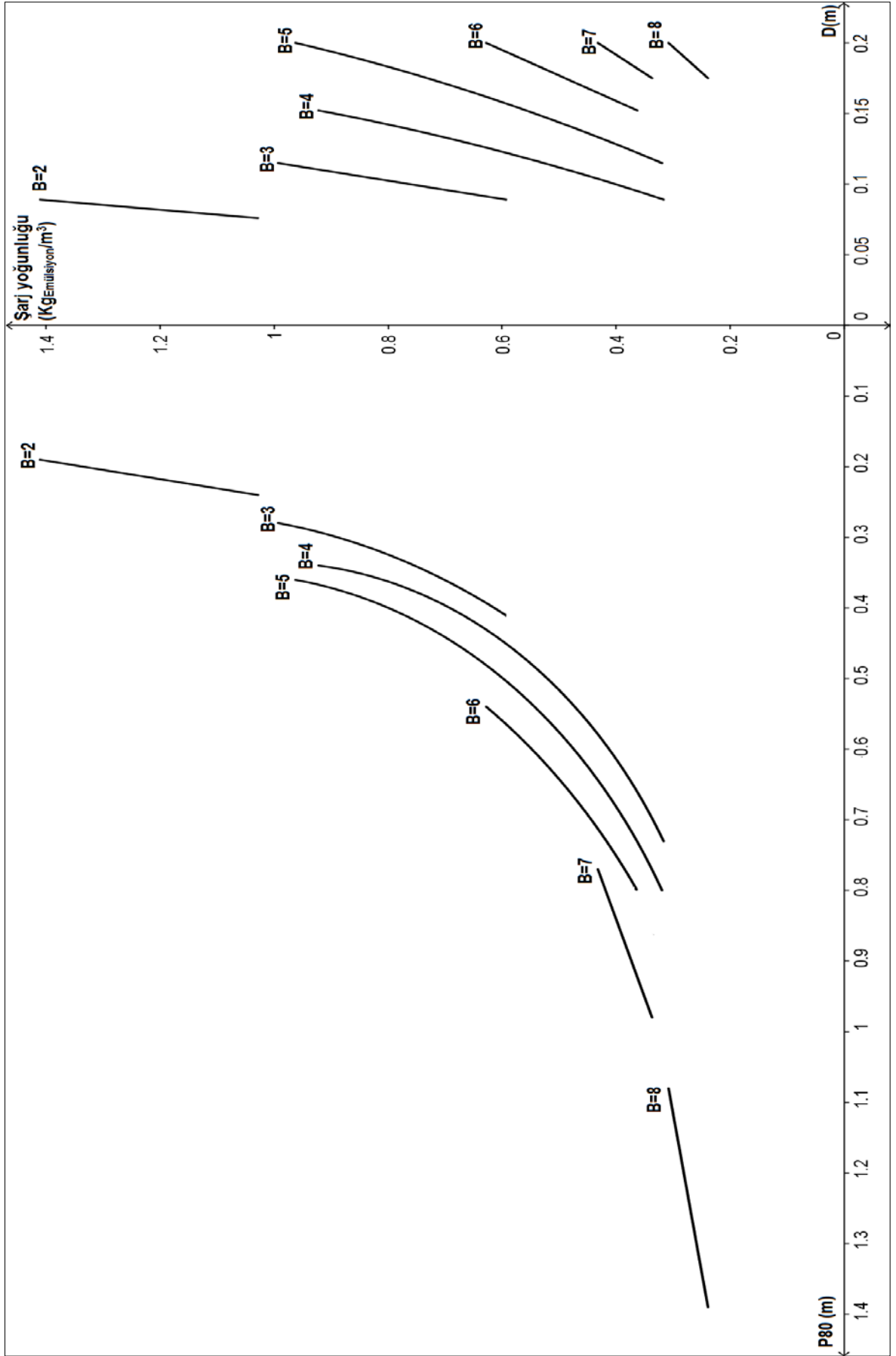
Şekil 4.16. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı



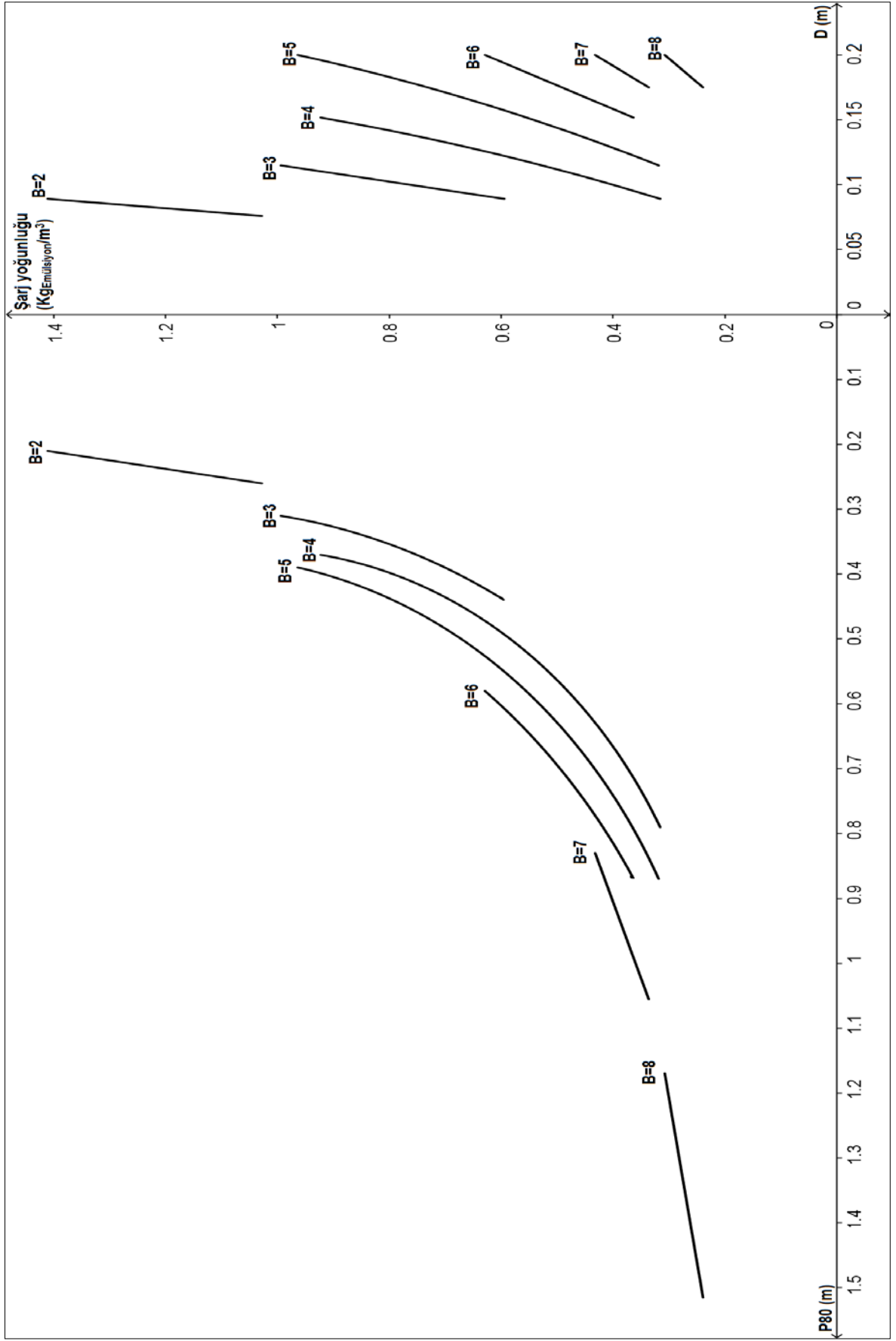
Şekil 4.17. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı



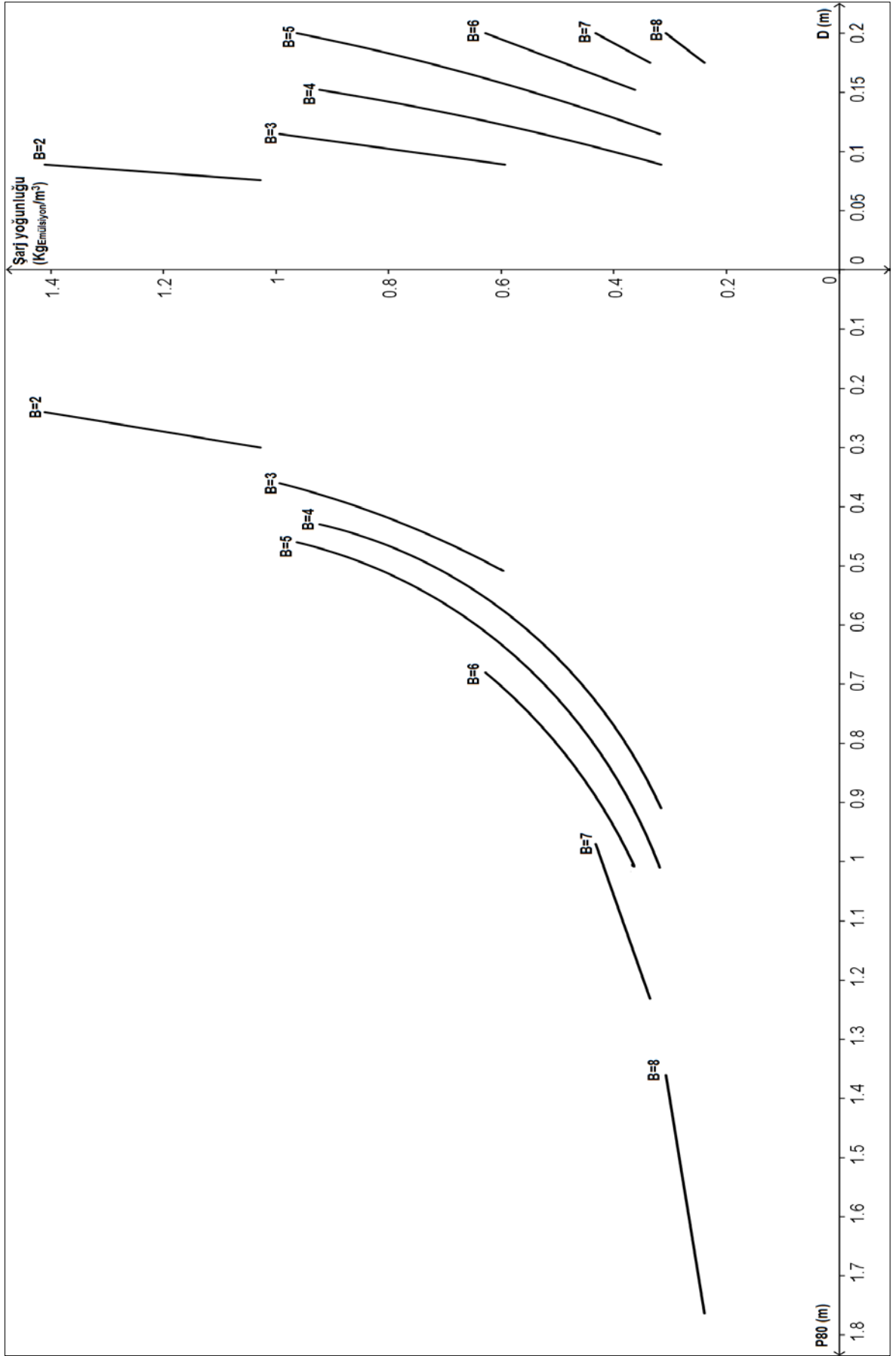
Şekil 4.18. 3 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip sağlam kayada tasarım nomogramı



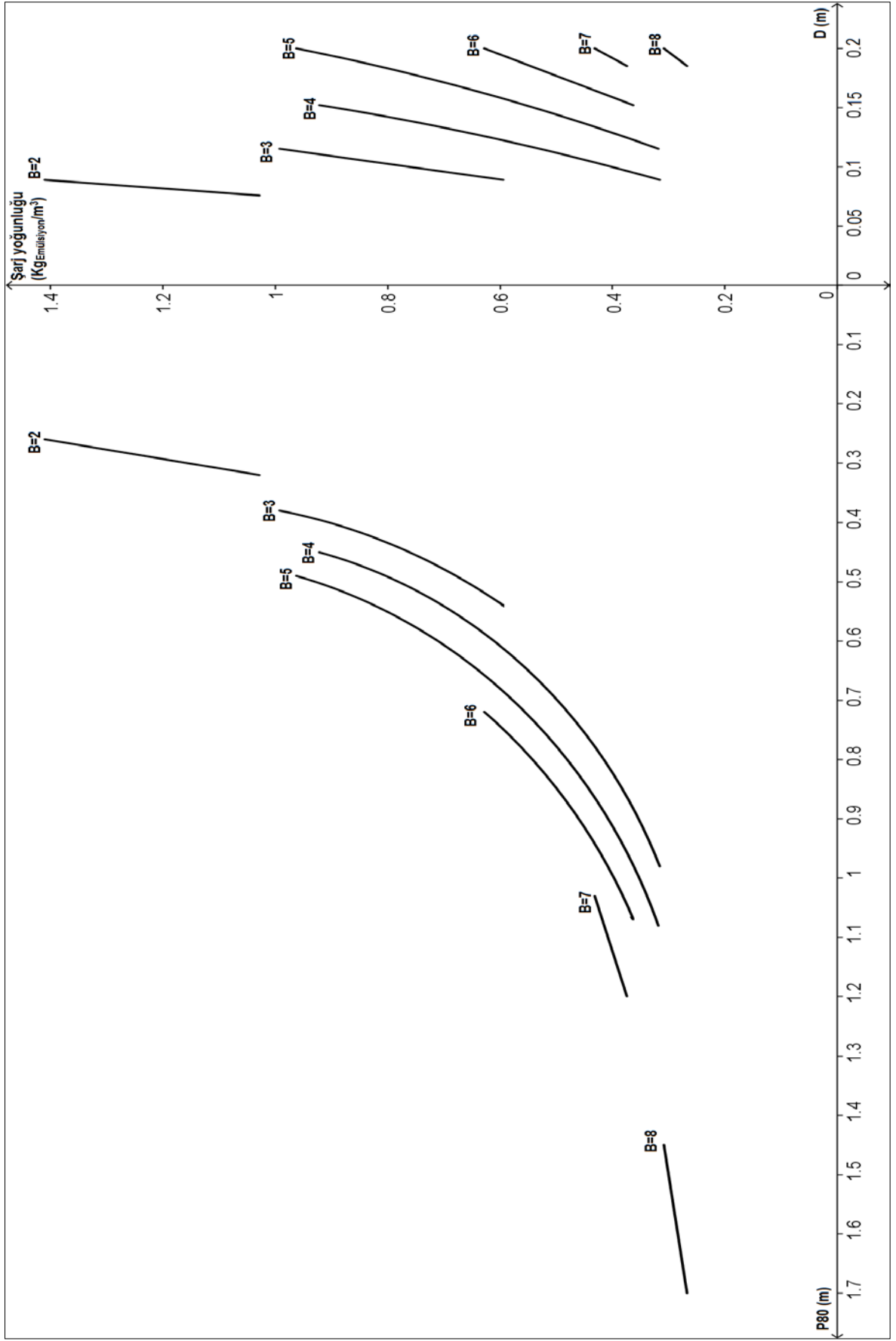
Şekil 4.19. 1 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı



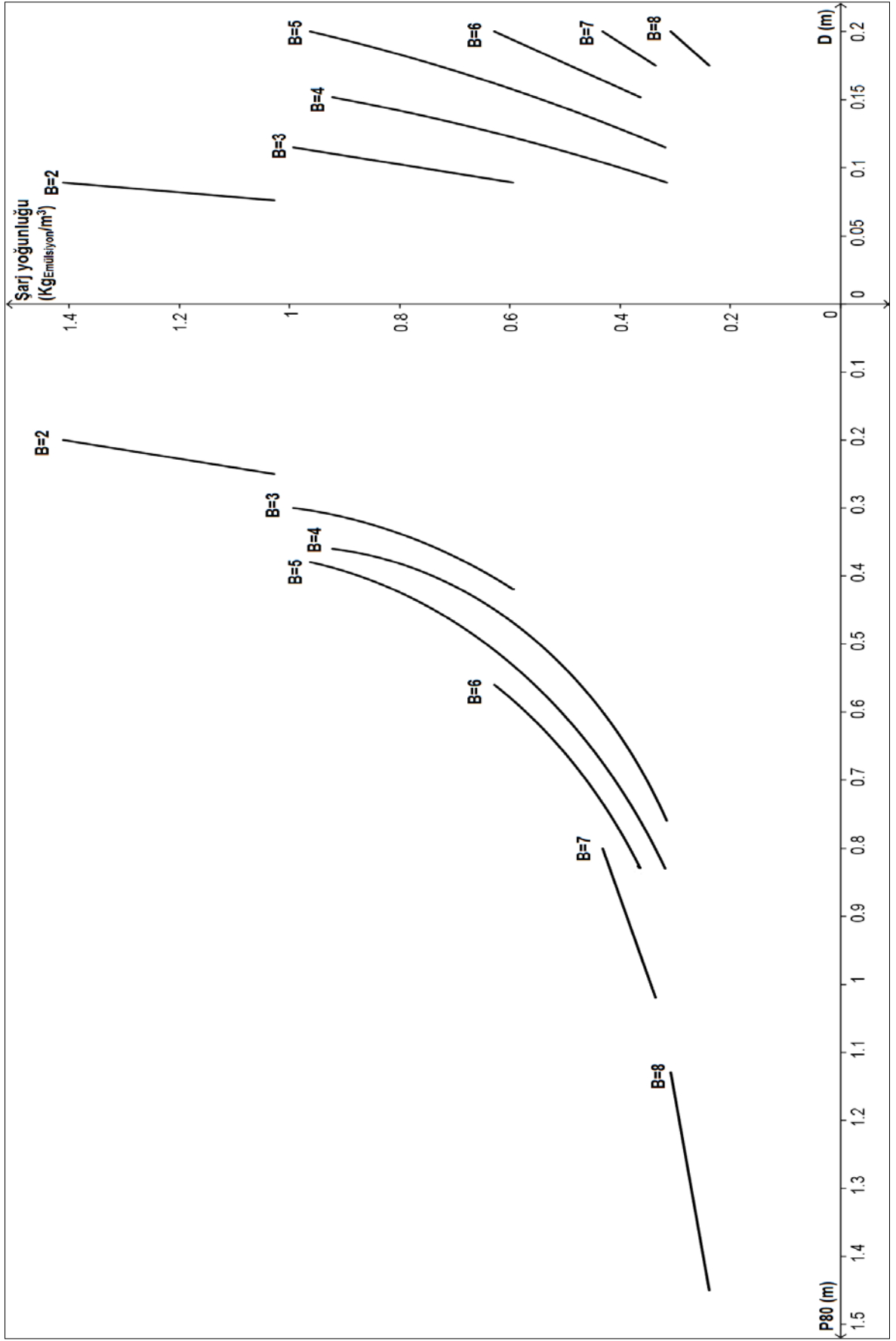
Şekil 4.20. 1 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı



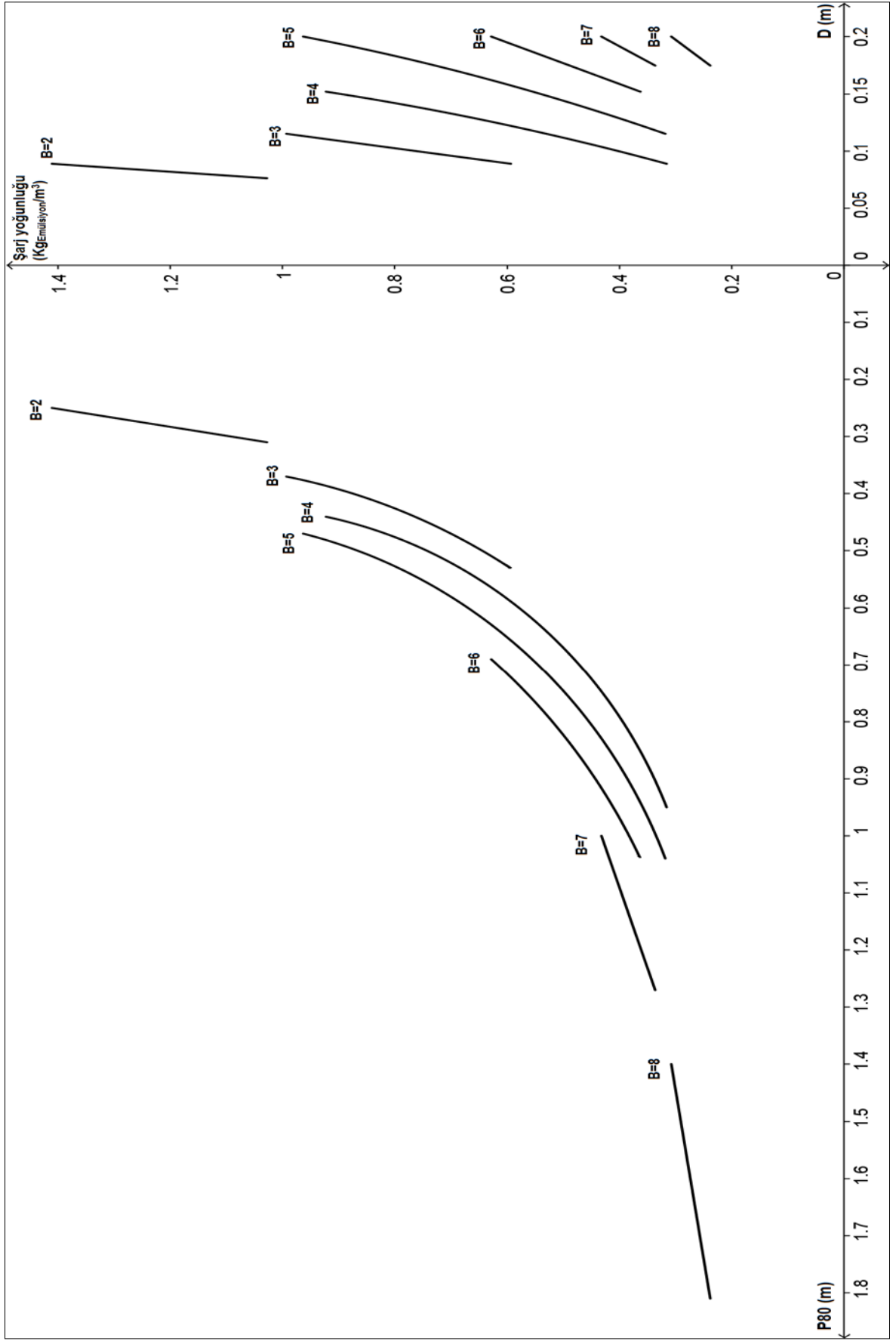
Şekil 4.21. 3 m aralıklı, dik süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı



Şekil 4.22. 3 m aralıklı, paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı



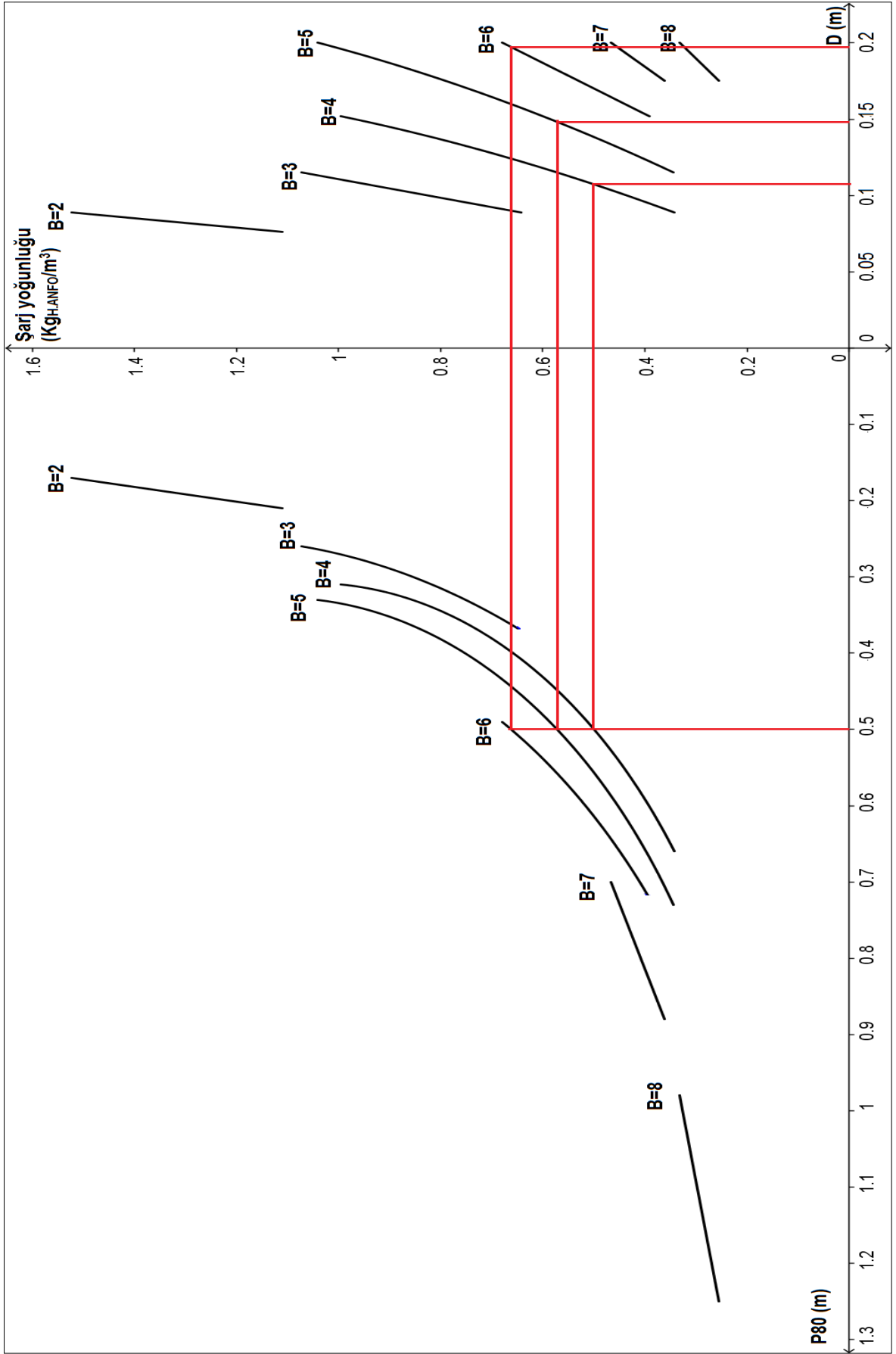
Şekil 4.23. 1 m aralıklı, dik ve paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı



Şekil 4.24. 3 m aralıkta, dik ve paralel süreksizliklere sahip çok sağlam kayada tasarım nomogramı

4.3. Nomogramların Kullanım Şekli

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, bu çalışmada, basamak patlatması yapacak mühendislerin ilk tasarımlarını kolay, hızlı ve hatasız yapmalarını sağlayabilmek, patlatma sonucunu önceden tahmin edebilmek için tasarım nomogramları geliştirilmiştir. Bu nomogramların kullanım şekli şöyledir; ilk olarak, patlatılacak kaya türüne ve kaya içindeki süreksizlik şekline göre bir nomogram seçilir. Bu nomogram'da, elde etmek istenen parça boyutu (-X ekseninde) işaretlenir. Bu noktadan çizilen dik bir çizgi, nomogram'daki eğrilerle kesişir. Şarj yoğunluğu miktarına göre, kesişen eğrilerin biri seçilip, kesiştiği noktadan dik bir şekilde şarj yoğunluğu ekseninin sağ tarafına kadar devam eder. Nomogram'ın sağ tarafındaki eğriler, delik geometrisinin detaylarını göstermektedir. Bunun daha kolay anlaşılabilmesi için, sağlam kayada yapılacak bir patlatma örnek olarak verilmiştir. Örneğimizde, basamak üstünde 1 m aralığa sahip bir set süreksizlik görünüyor. Süreksizlikler basamak aynasına dik şekildedir. Nomogramların arasından, 1 m aralıklı ve aynaya dik süreksizliklere sahip sağlam kayanın nomogramı seçilir. Bu örnekte, elde etmek istenen en büyük boyut 50 cm civarında düşünülmüştür. Bunun için P80 ekseninde (-X ekseninde) 0,5 m noktası işaretlenip, dik bir çizgi çizilir. İstenilen şarj yoğunluğu değerine göre kesişen eğrilerin biri seçilir. Bu eğrilerin her biri belli bir yük mesafesini temsil etmektedir. Burada en az şarj yoğunluğu değerini seçmek için, ilk eğriyle kesişen nokta işaretlenir. Bu eğri 4 metre uzunluğundaki yük mesafesini temsil etmektedir. Bu noktadan, sağ tarafta 4 metre yük mesafesine ait eğriye kadar dik bir çizgi çizilir. Bu noktadan, delik çapı eksenine doğru dik bir şekilde indiğimizde, kesişen noktadan delik çapı miktarı elde edilir. Bu nokta 11 cm civarındadır (Şekil 4.25). Bu örnekte olduğu gibi belli dayanıma sahip bir kaya için bu nomogramlar kullanılarak, istenen parça boyutuna göre patlatma tasarımı yapılabilir ve amaca uygun olarak kullanılacak delik çapı ve/veya özgül şarj miktarı nomogramdan elde edilir.



Şekil 4.25. Parça boyutu ve şarj yoğunluğuna göre, patlama detaylarının belirlenmesi

4.4. Nomogramlar İçin Örnek Uygulama

Bu bölümde, bir kırmataş işletmesinde yapılan patlatma uygulaması örnek olarak sunulmuştur [59]. Bu örnekte, nomogramlarla yapılan patlatma tasarımı, ilgili işletmede uygulanan patlatma tasarımı ile karşılaştırılmıştır. Bu patlatmaya ait değişkenler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kırmataş işletmesine ait patlatma parametreleri

Değişken	Değer
Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	66,07
Kayacın özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,69
Basamak yüksekliği (m)	15
Yük mesafesi (m)	2,8
Delikler arası mesafe(m)	3,7
Delik çapı (mm)	114,3
Sıkılama boyu(m)	4,2
Kullanılan patlayıcı madde	ANFO
Şarj yoğunluğu (kg/m ³)	0,64
Kaya katsayısı	6,41
P80 parça boyutu (mm)	404,82

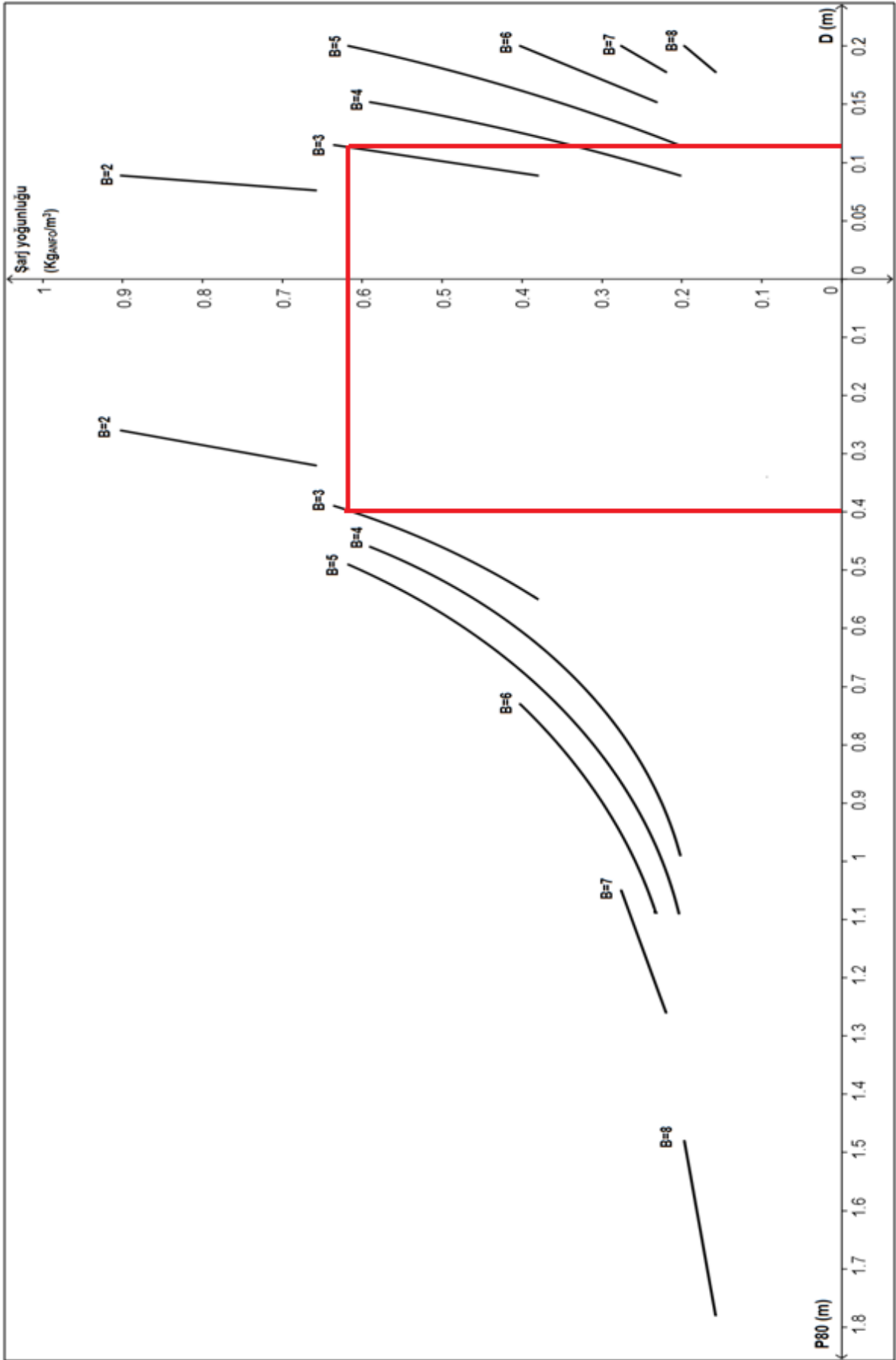
Tasarım işlemini başlatmak için, ilk olarak kaya türü ve süreksizlik aralığına göre bir nomogram seçilir. Bu örnekteki kırmataş ocağının kaya özellikleri ve kaya katsayısı değerlerine bakıldığında, bu değerler 3 m aralıklı, aynaya dik süreksizliklere sahip 'orta' kayanın değerlerine yakınlık göstermektedirler. Böylece, 3 m aralıklı, aynaya dik süreksizliklere sahip 'orta' kayanın nomogramı, bu örnekte uygun nomogram olarak seçilmiştir.

Kırmataş ocağındaki patlatma örneğinden elde edilen P80 parça boyutu değeri, 0,4 m civarındadır. Dolayısıyla, P80 ekseninde (-X ekseninde) 0,4 m noktası işaretlenip, 3 m yük mesafesini gösteren eğriye kadar dik bir çizgi çizilir. Bu noktadan, sağ tarafta 3 metre yük mesafesini gösteren eğriye kadar dik bir çizgi çizilip, 'Y' ekseninden şarj yoğunluğu değeri elde edilir. Bu noktadan, delik çapı eksenine doğru dik bir şekilde indiğimizde, kesişen noktadan delik çapı miktarı elde edilir (Şekil 4.26).

Bu nomogramdan elde edilen şarj yoğunluğu değeri 0,62 civarındadır. Elde edilen delik çapı değeri ise, kırmataş ocağında kullanılan değerle yaklaşık aynıdır. Bu değerler 3 m yük

mesafesinde geçerlidir. Kırmataş ocağındaki yük mesafesi değeri 2,8 m'dir. Ancak aradaki fark çok az olduğu için, şarj yoğunluğu ve delik çapı değerlerinde önemli bir değişikliğe sebep olamaz. Ayrıca, bu nomogramlar, ocaktaki patlatmaların ilk tasarımı için geliştirilmiştir. Yani nomogramlardan elde edilen sonuçlar, saha özelliklerine göre modifiye edilebilir.

Bu örnekten elde edilen sonuçlar, nomogramların güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.26. Kırmataş ocağında, P80 parça boyutuna göre patlatma detaylarının belirlenmesi

4.5. Değerlendirme

Bu nomogramların arasındaki fark, kaya türü ve süreksizlik şeklidir. Bu iki değişkenin, parça boyutu ve şarj yoğunluğundaki etkilerini araştırmak için, örnek olarak 152 mm delik çapı ve 5 m yük mesafesinde elde edilen şarj yoğunluğu ve parça boyutu değerleri inceleme altına alınmıştır. Parça boyutu değerlerinin birimi metre olarak verilmiştir. Yalnız her kaya türünde farklı patlayıcı madde kullanıldığı için, elde edilen şarj yoğunluğu değerleri aynı cinsten değildir. Şarj yoğunluğu değerinin birimi, zayıf ve orta kayada; $\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$, sağlam kayada; $\text{kg}_{\text{H}\cdot\text{ANFO}}/\text{m}^3$ ve çok sağlam kayada $\text{kg}_{\text{emülsiyon}}/\text{m}^3$ 'tür. Bu değerleri birbiriyle karşılaştırmak için, hepsi $\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$ birimine dönüştürülmüştür. Bunun anlamı, ANFO kullanımını durumunda elde edilen şarj yoğunluğu değeridir. Bu değer, şarj yoğunluğunun, göreceli ağırlık kuvvetine çarpımından elde edilir. Heavy ANFO1.35 ve emülsiyon 1.25'in göreceli ağırlık kuvvetleri sırasıyla 0,85 ve 1,13'tür. Kullanılan örnekte, elde edilen şarj yoğunluğu değeri heavy ANFO için $0,601 \text{ kg}_{\text{H}\cdot\text{ANFO}}/\text{m}^3$ ve emülsiyon için $0,556 \text{ kg}_{\text{emülsiyon}}/\text{m}^3$ 'tür. Bu değerlerin $\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$ birimine dönüşümü şöyledir;

$$\text{Heavy ANFO için: } 0,601 \frac{\text{kg}_{\text{H}\cdot\text{ANFO}}}{\text{m}^3} \times 0,85 = 0,511 \frac{\text{kg}_{\text{ANFO}}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Emülsiyon için: } 0,556 \frac{\text{kg}_{\text{Emülsiyon}}}{\text{m}^3} \times 1,13 = 0,628 \frac{\text{kg}_{\text{ANFO}}}{\text{m}^3}$$

Bu örnek için elde edilen şarj yoğunluğu ve P80 parça boyutu değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. 152 mm delik çapı ve 5 m yük mesafesinde elde edilen değerler

Değişken	Kaya türü				
	Zayıf	Orta	Sağlam	Çok sağlam	
Şarj yoğunluğu ($\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$)	0,356	0,356	0,511	0,628	
P80 parça boyutu (m)	1 m aralıkta, aynaya dik süreksizlikler	0,49	0,53	0,48	0,53
	1 m aralıkta, aynaya paralel süreksizlikler	0,55	0,59	0,53	0,58
	3 m aralıkta, aynaya dik süreksizlikler	0,68	0,73	0,64	0,67
	3 m aralıkta, aynaya paralel süreksizlikler	0,75	0,79	0,69	0,72
	1 m aralıkta, aynaya dik ve paralel süreksizlikler	0,52	0,56	0,51	0,56
	3 m aralıkta, aynaya dik ve paralel süreksizlikler	0,71	0,76	0,67	0,69

Kaya türü değişiminin parça boyutundaki etkisi, şarj yoğunluğuna göre yorumlanmaktadır. Genel bir bakışta, belli bir süreksizlik şeklinde elde edilen parça boyutu değerleri yaklaşık aynıdır. Şarj yoğunluğu değerlerinde ise, kaya sağlamlığı arttıkça, şarj yoğunluğu artıyor. Yani farklı kaya türlerinde aynı parça boyutunu elde etmek için, farklı şarj yoğunluğu değerleri kullanılmaktadır. Zayıf ve orta kayada aynı patlayıcı kullanıldığı için, şarj yoğunluğu değerleri aynıdır. Parça boyutu değerlerinde ise, iki kaya türü arasında 4-5 cm fark vardır. Orta kayanın parça boyutu, zayıf kayadan daha büyüktür.

Kaya içindeki süreksizliklerin parça boyutundaki etkisini araştırmak için, süreksizliklerin basamak aynasına göre açıları ve aralıklarına bakmak gerekir. Süreksizliklerin basamak aynasına göre açıları, iki şekilde incelenmiştir. Aynaya dik ve paralel. Çizelge 4.5'e bakıldığında, kaya içindeki süreksizlikler basamak aynasına dik şekilde ise, elde edilen parça boyutu değerleri, basamak aynasına paralel şekilde olan süreksizliklerde elde edilen parça boyutu değerlerinden daha küçüktür. Yapılan denemelerde, basamak aynasına farklı açılarda olan süreksizlikler, dik ve paralel süreksizliklerle aynı etkiyi göstermektedirler. Açık yüzeye 0-60 derece arasında açıya sahip olan süreksizlikler, paralel süreksizlikler gibi ve açık yüzeye 60-90 derece arasında açıya sahip olan süreksizlikler, dik süreksizlikler gibi davranmaktadırlar.

Süreksizliklerin aralıklarına baktığımızda, bu aralık arttıkça, elde edilen parça boyutu değerleri artmaktadır. Örneğin; 1 m aralıkta, aynaya paralel süreksizliklerde elde edilen parça boyutu değeri 55 cm civarındayken, 3 m aralıkta ve aynaya paralel süreksizliklerde elde edilen parça boyutu değeri ortalama 75 cm'dir. Dolayısıyla, farklı süreksizlik aralıklarına sahip kayalardan aynı parça boyutunu elde etmek için, farklı patlatma tasarımları kullanmak gerekir.

Basamak aynasına hem dik hem paralel süreksizliklere sahip kayada elde edilen parça boyutu, iki değerin arasındadır. Bu değerler, sadece dik süreksizliklere sahip kayadan ve sadece paralel süreksizliklere sahip kayadan elde edilen parça boyut değerleridir. Bu durum, sabit bir kaya türü ve süreksizlik aralığı için geçerlidir. Örneğin; 1 m aralıklı ve aynaya dik süreksizliklere sahip zayıf kayada elde edilen parça boyutu değeri 0,49 m'dir. 1 m aralıklı ve aynaya paralel süreksizliklere sahip aynı kayada elde edilen parça boyutu değeri 0,55 m'dir. Bu durumda, zayıf kayada 1 m aralıklı, basamak aynasına hem dik hem paralel süreksizlikler varsa, elde edilen parça boyutu değeri bu iki değerin arasında, yani 0,52 m'dir.

4.6. Farklı Basamak Yükseklikleri İçin Şarj Yoğunluğu Değerleri

Buraya kadar elde edilen bilgiler ve çizilen nomogramlar, 15 m yüksekliğindeki basamaklar için geçerlidir. Bu bölümde, 12 m ve 20 m yüksekliğindeki basamaklar için şarj yoğunluğu değerleri verilmiştir. Bu değerler, her delik çapında en uygun yük mesafesi için hesaplanmıştır (Çizelge 4.6-4.8). Önceki bölümlerde elde edilen şarj yoğunluğu ve parça boyutu değerlerine bakıldığında, her delik çapı için en uygun yük mesafesi şöyledir; 89 mm delik çapı için: 3 m, 115 mm delik çapı için: 4 m, 152 mm delik çapı için: 5 m ve 200 mm delik çapı için: 6 m.

Çizelge 4.6. Zayıf ve orta kayada farklı basamak yüksekliklerinde şarj yoğunluğu değerleri

Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)	Şarj yoğunluğu ($\text{kg}_{\text{ANFO}}/\text{m}^3$)		
		12 m basamak yüksekliği	15 m basamak yüksekliği	20 m basamak yüksekliği
89	3	0,365	0,380	0,396
115	4	0,319	0,338	0,357
152	5	0,329	0,356	0,383
200	6	0,363	0,402	0,441

Çizelge 4.7. Sağlam kayada farklı basamak yüksekliklerinde şarj yoğunluğu değerleri

Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)	Şarj yoğunluğu ($\text{kg}_{\text{HLANFO}}/\text{m}^3$)		
		12 m basamak yüksekliği	15 m basamak yüksekliği	20 m basamak yüksekliği
89	3	0,616	0,642	0,668
115	4	0,538	0,570	0,603
152	5	0,555	0,601	0,647
200	6	0,613	0,679	0,745

Çizelge 4.8. Çok sağlam kayada farklı basamak yüksekliklerinde şarj yoğunluğu değerleri

Delik çapı (mm)	Yük mesafesi (m)	Şarj yoğunluğu ($\text{kg}_{\text{Emülsiyon}}/\text{m}^3$)		
		12 m basamak yüksekliği	15 m basamak yüksekliği	20 m basamak yüksekliği
89	3	0,570	0,594	0,619
115	4	0,498	0,528	0,558
152	5	0,514	0,556	0,599
200	6	0,567	0,628	0,689

Bu değerler kullanılarak, başka farklı basamak yükseklikleri için şarj yoğunluğu değerleri hesaplanabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalardan ve literatür araştırmalarından elde edilen bilgilere göre, bir delme patlatma çalışmasında öncelikle kayanın mekaniksel özellikleri çok iyi incelenmelidir. Patlatmanın amacına göre uygun patlayıcı madde seçilip, patlatma tasarımı yapılmaktadır.

Bu çalışmada, tasarım nomogramlarının geliştirilmesi için bir çok kaynaktan, çok sayıda formüller ve yaklaşımlar bulunup, incelenmiştir. Bunların içinden, delik parametreleri için, Ash, Konya ve Langefors tarafından önerilen yaklaşımlar seçilmiştir. P80 parça boyutu ve şarj yoğunluğu hesaplamaları için, JKSimBlast yazılımı kullanılmıştır. JKSimBlast yazılımında, parça boyutu hesaplamaları için JKMRC ve Kuz-Ram modelleri kullanılmaktadır. Sayısal örneklerle yapılan test uygulamalarında, Kuz-Ram modeli, JKMRC modeline göre daha güvenilir sonuçlar verdiği için, P80 parça boyutu hesaplamaları için Kuz-Ram modeli seçilmiştir.

Geliştirilen tasarım nomogramlarının test edilmesi için, bir kırmataş ocağının delme ve patlatma verileri kullanılmıştır. Ocaktaki patlatmalardan elde edilen P80 parça boyutu değeri kullanılarak basamak patlatması tasarımı yapılmıştır. Nomogramlarla yapılan bu tasarım, taş ocağında uygulanan tasarım ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tasarım nomogramlarından elde edilen değerler ile kırmataş ocağının patlatma verileri, birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Bu da, geliştirilen tasarım nomogramlarının kabul edilebilir sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Hazırlanan tasarım nomogramları, patlatma mühendislerinin birincil patlatmalarını kolay ve hızlı bir şekilde yapmalarını sağlamaktadır. Fakat sahaya uygun net tasarım için deneme atımı ile modifiye edilmelidir. Delme-patlatma, maliyeti yüksek bir çalışma olduğundan, en uygun tasarıma en kısa sürede ve en az sayıda deneme atımı ile ulaşılmalıdır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tasarım nomogramları, deneme atımı sayısını düşürecek olmasından dolayı avantajlıdır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların saha uygulamalarında kullanıldığı takdirde, çevrede bıraktığı etkileri mutlaka araştırılmalıdır. Ayrıca bu çalışmada her kaya türü için farklı patlayıcılar kullanıldığından, maliyet analizinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle ileride yapılacak benzer çalışmalarda, bu tasarımların çevresel etkileri ve maliyet analizlerinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kahriman, A., *Patlatma mühendisliği semineri*, İstanbul, **2004**.
- [2] Davis, W. C., High explosives, *Los Alamos Science*, **1983**.
- [3] Persson, P. A., Holmberg, R., Lee, J., *Rock Blasting and Explosives Engineering*, USA Printed CRC Press Inc, **1994**.
- [4] Ostovar, R., *Blasting in Mines*, vol.1&2, Tehran University, **1994**.
- [5] Ash, R. L., *The Design of Blasting Rounds Surface Mining*, editor Pfeider E. P., **1968**.
- [6] Hagan, T. N., Rock breakage by explosives, *Australian Geomechanic National Symposium of Fragmentation.*, Alaide, **1974**.
- [7] Olofsson, S.O., *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, 2nd edition, Applex, Arla, Sweden, **1988**.
- [8] Sher, Y.N., Aleksandrova, N.I., Dynamics of breaking zone development during explosion of a concentrated charge in a brittle medium, *Journal of Mining Science*, number 36, no 5, **2000**.
- [9] Kahriman, A., *Açık Maden ve Taş Ocaklarında Kaya Patlatma Teknolojisi Eğitim Semineri*, **1999**.
- [10] Lilly, P.A., An empirical method for assessing rock mass blastibility. In: Davidson (ed.) proc AusIMM/LE. aust. *Newman Combined Group Large Open Pit Mining Conference*, Victoria, **1986**.
- [11] Lin, N.S., *New Hard Rock Fragmentation Formulas Based on Model and Full-Scale Test*, Licentiate Thesis, Lulea Universty of Technology, **1988**.
- [12] Lizotte, Y.C., Scobe, M.J., *Geological Control Over Blast Fragmentation*, CIM bulletein 87 (983), **1994**.
- [13] Latham, J.P., Lu, P., Development of an assesment system of blastibility for rock masses, *İnternational Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **1999**.
- [14] Esen, S., Bilgin, H.A., Bobo, T., Patlayıcının parçalanmaya etkisi, *4. Delme - Patlatma Sempozyumu*, Ankara, **2000**.
- [15] Tamrock, *Handbook on Surface Drilling and Blasting*, Painofactrit, Finland, **1984**.
- [16] Mishra, A., *Design of Surface Blasts-A Computational Approach*, Bachelor of Technology In Mining Engineering, Rourkela National Institute of Technology Department of Mining Engineering, **2009**.

- [17] Şeran, O., Akay, T., *Açık Ocaklarda Delme Patlatma Tasarımı ve Türkiye Kömür İşletmeleri Çan Linyitleri İşletmesinin Delme Patlatma Etüdü*, Bitirme Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, **1999**.
- [18] Coşkun, O., *Patlayıcı Maddelerle Kazı Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi ve Patas Uzman Sisteminin Denenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **2001**.
- [19] Patlayıcı madde özellikleri, <http://tr.wikipedia.org> (Mart, **2015**)
- [20] Tek, A., Erdil, M., ANFO kalitesinin kaya patlatma verimliliğine etkisi, 3. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, MMO Yayını, Ankara, **1998**.
- [21] Mamurekli, D., Tekin, F., Hafizoğlu, E., Açık ocak madenciliğinde patlatma, *Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi*, Cilt 2, sayı 6, **2006**.
- [22] Langefors, V., Kihlström, B., *The Modern Technique of Rock Blasting*, halsted press, Wiles and Sons, **1978**.
- [23] Arıoğlu, E., *Jeoloji Mühendisleri İçin Madencilik Bilgisi*, İTÜ vakfı kitap yayınları, no:4, İstanbul, **1986**.
- [24] Olofsson, S.O, *Applied Explosive Technology for Construction and Mining*, Sweden, **1988**.
- [25] Demirci, A., Ceylanoğlu, A., Kahrıman, A., Sivas – Ulaş yöresi Sölestit açık işletmesi kaya birimleri için optimum patlatma koşullarının belirlenmesi, 2. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, MMO Yayını, Ankara, **1996**.
- [26] Hoek, E., Bray, J., *Rock Slope Engineering*, Institution of mining metalurgy 3rd edition, London, **1981**.
- [27] Gustafsson, T., *Swedish Blasting Technique*, Gothenburg, **1973**.
- [28] Bilgin, H.A., Paşamehmetoğlu, A.G., Optimum burden determination and fragmentation evaluation by blasting, 4. *International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, 5-8 Temmuz, Vienna, Austria, **1993**.
- [29] Arıoğlu, E., Açık işletmelerde patlatma tasarımında dilim kalınlığının belirlenmesine işletme ve jeomekanik büyükleri gözetten yarı analitik bir yaklaşım, 2. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Bildiriler, Ankara, **1990**.
- [30] Konya, C. J., Walter, E. J., *Surface Blast Design*, New Jersey, USA, **1990**.
- [31] Rustan, A., *Fragmentation-Affecting Factors in Rock Blasting – Literature Study*, Technical Report, University of Lulea, Sweden, **1981**.
- [32] Singh, S.P., Yalcin, T., Effects of muck size distribution on scooping operations, in *Proceedings of 28th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques*, **2002**.

- [33] Olofsson, S. O., *Applied Explosives Technology For Construction and Mining*, Second Edition, **1988**.
- [34] Jimeno, L.C, Jimeno, L.E., *Drilling & Blasting of Rocks*, New York, **2006**.
- [35] Erkoç, Ö.Y., *Kaya Patlatma Tekniği*, Çelikler Matbaacılık, İstanbul, **1990**.
- [36] Bilgin, H.A., Açık işletmelerde patlatma sorunları ve tasarımı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, *Seminer No:2*, **1986**.
- [37] Yonar, S., *Açık Ocak Patlatmalarında Parçalanma Boyutunun Belirlenmesinde Bilgisayar Yazılımlarının Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2013**.
- [38] Dağçimen, A., *Patlatma Tasarımı İçin Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Adana, **2006**.
- [39] Atlas Powder Co., *Explosives and Rock Blasting*, Atlas Powder Co., Dallas, **1987**.
- [40] Hustruuld, W., *Blasting principles for open pit mining: 2 Volumes*, A.A.Balkema, **1999**.
- [41] Cunningham, C.V.B., The Kuz-Ram fragmentation model-20 years on, *Brighton Conference Proceedings*, **2005**.
- [42] Demenegas, V., *Fragmentation Analysis of Optimized Blasting in the Aitik Mine*, Msc thesis 2008: 071. Lulea: Lulea Univ. Techn., **2008**.
- [43] Esen, S., Onederra, I., Bilgin, H.A., Modelling the size of the crushing zone around a blasthole, *International Journal of Rock Mechanics and Mineral Science*, **2003**.
- [44] Kanchibotla, S.S., Valery. W., Morell. S., Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding, *In Proceedings from Explo 1999 Conference*, Carlton, Victoria, Australia: AusIMM, **1999**.
- [45] Djordjevic. N., Two-component blast fragmentation, *Proceedings of the 6th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting-Fragblast*, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa, **1999**.
- [46] Ouchterlony, F., *The Swabrec Function: Linking Fragmentation by Blasting and crushing*, Mining Technology Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, **2005**.
- [47] Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., Carcedo, F. J. A., *Drilling and Blasting of Rocks*, Balkema, Rotterdam, Brookfield, **1995**.

- [48] Özdemir, K., *Dijital Görüntü İşleme Tekniği ile Patlatma Verimlilik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **2004**.
- [49] DMVP., *Rock Fragmentation Notes*, Slovenian Association of Drillers, Blasters and Pyrotechnics, **2013**.
- [50] Hunter, G.C., McDernott, C., Mites, N.J., Singh, A., Soble, M.F., A review of image analysis techniques for measuring blast fragmentation, *Mining Science and Technology*, **1990**.
- [51] Karakuş, D., *Görüntü Analiz Yöntemleri ile Kayaçların Yapısal Özelliklerinin Tanımlanması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, **2007**.
- [52] Maerz, N. H., Zhou, W., Optical digital fragmentation measuring systems inherent sources of error, Fragblast, *The International Journal for Blasting and Fragmentation*, Vol. 2, No. 4, **1998**.
- [53] Kim, K., *Blasting Design Using Fracture Toughness and Image Analysis of the Bench Face and Muckpile*, Master of Science in Mining and Minerals Engineering, Blacksburg, Virginia, **2006**.
- [54] Gökkaya, M., *JKSimBlast Programı Yardımıyla Basamak Patlatma Tasarımı ve Taşocağı Uygulaması*, Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, **2011**.
- [55] JKSimBlast programı kullanım kılavuzu, www.soft-blast.com (Mart, **2015**).
- [56] Dirikolu, A., *Kayseri-Pınarbaşı Toruntepe Yeraltı Krom İşletmesinde Delme Patlatma Faaliyetlerinin Tasarımı ve Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, **2009**.
- [57] Şallı, R., *Ermenek Barajı ve Hes Gövde Kazısı Patlatmalarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2008**.
- [58] Edizer, E., *Sayısal Görüntü İşleme Yöntemi İle Tane Boyut Dağılımı Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2008**.
- [59] Topal, İ., *Kırmataş İşletmelerinde Parça Boyutunun Üretim Sürecine ve Maliyetlere Etkileri*, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2009**.
- [60] Jauch, F., *Using Borehole Geophysics for Geotechnical Classifications of Crystalline Rock Masses in Tunnelling*, A Dissertation Submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich for the Degree of Doctor of Natural Sciences, **2000**.

- [61] Teymen, A., *Bazı Kayaçların Petrografik, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2005**.
- [62] Dinçer, İ., Acar, A., Çobanoğlu, İ., Uras, Y., Tek eksenli sıkışma dayanımı ve ortalama elastisite modülünün schmidt sertlik değeri kullanılarak belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 395-401, **2000**.
- [63] Meyer, R., Köhler, J., Homburg, A., *Explosives*, Fifth Edition, ISBNs: 3-527-30267-0, Weinheim, **2002**.
- [64] Dyno Nobel ürün kataloğu, *TITAN 5000 Heavy ANFO Blends & Prilled Ammonium Nitrate*, Australia.
- [65] Orica Mining ürün kataloğu, *Fortis Marathon System*, **2008**.
- [66] Uyar, G., Kişisel görüşme, **2015**.
- [67] Özkahraman, H. T., *Critical Evaluation of Blast Design Parameters for Discontinuous Rocks by Blasting*, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, **1994**.
- [68] Özer, Ü., Anıl, M., Delme patlatma tasarımı için kullanılan bazı yaklaşımların ampirik olarak incelenmesi, *2. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, MMO Yayını, Ankara, **1996**.
- [69] Bilgin, H., Paşamehmetoğlu, A.G., Kayaların delinebilirlikleri ve patlatılabilirlikleri üzerine bir çalışma, *1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ankara, **1986**.
- [70] Ouchterlony, F., What does the fragment size distribution from blasting look like? *Proceedings from the 3rd EFEE World Conference on Explosives and Blasting*, Brighton, UK, **2005**.
- [71] Kulatilake, P.H.S.W., Qiong, Wu., Hudaverdi, T., Kuzu, C., Mean particle size prediction in rock blast fragmentation using neural networks, *Journal of Engineering Geology*, 114 (2010) 298–311, **2010**.
- [72] Erdil, M., Erkoç, Ö.Y., Patlatma sonrası parçalanmış malzemenin tane dağılımını belirlemeye yönelik modelleme çalışmalarına bir yaklaşım, *4. madencilik kongresi*, Türkiye, 975-395-150-7, **1995**.
- [73] Pugliese, Joseph.M., Designing blast patterns using empirical formulas, Twin cities mining research center, Minneapolis, Minn, **1972**.
- [74] Bhandari, S., *Engineering rock blasting operations*, A.A.Balkema, **1997**.
- [75] Bilgin, H.A., Patlatma bilim ve teknolojisinde son gelişmeler, *2. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, MMO Yayını, Ankara, **1996**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Okhtay JAMNİA

Doğum yeri : İran, Orumieh

Medeni Hali : Bekar

E-posta : oktaycem666@gmail.com

Adresi : Uzgörenler Sokak, No: 56/3, Demirlibahçe, Mamak, Ankara

Eğitim

Lise : Chamran lisesi

Lisans : İran, İsfahan Üniv. Maden Mühendisliği 2001

Yüksek Lisans : Hacettepe Üniv. Maden İşletme Anabilim Dalı, 2012

Yabancı Dil ve Düzeyi

Farsca (ileri), Azerice (ileri), İngilizce (orta)

İş Deneyimi

Deşte gure kireç taşı madencilik (2010, İran)

Dustali kireç taşı madencilik (2009, İran)

Bluz granit madencilik (2008, İran)

Deneyim Alanları

Madencilik (Teknik Nezaretçi)

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar