

BİR DRAGLAYN MODELLEME TABLASI ÜZERİNDE
ÇALIŞMALAR

TUĞBA DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2009

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DRAGLAYN MODELLEME TABLASI ÜZERİNDE
ÇALIŞMALAR

TUĞBA DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. BÜLENT ERDEM

SİVAS
2009

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	Yrd.Doç.Dr. Ahmet ŞENOL	_____
Üye	Yrd.Doç.Dr. Salih YÜKSEK	_____
Üye (Danışman)	Prof.Dr. Bülent ERDEM	_____

ONAY

Bu tez çalışması, 18/06/2009 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 7 sayılı toplantısında kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

ÖZET

BİR DRAGLAYN MODELLEME TABLASI ÜZERİNDE ÇALIŞMALAR

Tuğba DOĞAN

Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent ERDEM

2009, 137 sayfa

Bu tez kapsamında bir yerüstü kömür ocağında çekme-kepçe panosu tasarımı ve örtükazı uygulaması benzetimi, önce bilgisayar ortamında üç boyutlu sayısal modelleme ile sonra da bir modelleme havuzu üzerinde fiziksel benzetim yöntemleri ile yapılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım çalışması kısıtlanmamış bölgeye (serbest) pasa dökümü, başlangıç çukuru açılması ve doğrudan döküm uygulamasını içerirken kum havuzundaki çalışma, enli dilim ve geri çekimli kazı yöntemlerini de içermiştir.

Tez çalışmasının asal amacı belirli boyutlara sahip bir çekme-kepçenin çalışabileceği örtükazı panosu boyutlarının tespit edilmesidir. Böylece çekme-kepçe ve panoya ait önceden tasarılan boyutsal değerlerin uyumlu olması ve çekme-kepçenin, kazı yöntemini değiştirmeden pano kazısını bitirmesi sağlanabilecektir. Bu durumun temel göstergesi olarak nitel bir parametre olan 'geometrik tutarlılık' kavramı ileri sürülmüştür. Geometrik tutarlılığın göstergeleri ise kanal, dilim, köprü ve harman tarafında tabla üzerindeki oturma konumlarından yapılan dönüş açıları, yığın kümelerinin oluşturulduğu konilerin taban yarıçapları ve yığın kümelerindeki birleşim kümesi alınan koni adedidir. Çekme-kepçe ve dilim boyutlarının uyumlu olduğu durumda kazıya başlanan ilk setten itibaren dönüş açıları ve koni adedi artmakta ancak belirli bir setten sonra bu parametre değerlerindeki artan/azalan yöndeki marjinal değişme hızı yavaşlamakta ve sonuçta sabitlenmektedir. Çekme-kepçe boyutlarının, birlikte kullanılacağı örtükazı yöntemi için verilen pano geometrisine uygun olmaması, yukarıda bahsedilen gösterge değerlerinin sürekli artması ile anlaşılmaktadır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde; doğrudan döküm, enli dilim ve geri çekimli örtü yöntemleri ölçeklendirilmiş bir kum havuzunda modellenmiştir. Kum havuzu 2500 mm × 2500 mm × 500 mm boyutlarındadır. Örtü malzemesi olarak ufalanmış killi toprak kullanılmıştır. Öncel çalışmalarda örtü malzemesi, farklı hacimlere sahip tekil koni ve yaycıl koniler halinde dilim tabanı ve basamak üzerine dökülmüştür. Her iki döküm tipinde de, yerinde blok geometrisi ile tekil ve yaycıl koni geometrileri arasındaki hacimsel fark, blok boyutu büyüdükçe, azalmaktadır. Doğrudan döküm yöntemi uygulaması üzerine yedi, enli dilim çalışması üzerine dört ve geri çekimli kazı uygulaması üzerine üç modelleme yapılmıştır. Her denemede farklı geometrideki kazı bloklarının, 70 m çalışma yarıçapına sahip çekme-kepçe tarafından dökülebildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Benzetim, çekme-kepçe, kum havuzu, örtükazı yöntemleri

ABSTRACT

STUDIES ON DRAGLINE MODELING TABLE

Tuğba DOĞAN

Master of Science Thesis, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bülent ERDEM

2009, 137 pages

In this thesis a dragline panel design and stripping practice simulation have been carried out firstly on by three-dimensional digital modeling in computer environment and then on a sand pit by physical modeling techniques. Computer-aided simulation study encompassed simulation of dumping on an unrestricted ground, boxcut excavation and direct side casting practice. On the other hand studies on the sand pit are also extended to cover extended benching and pullback casting.

The primary objective of the thesis is to determine the geometry of a cut panel on which a dragline of certain dimensions is to be deployed. By this way predetermined dimensions of dragline and the panel could be matched and the dragline could be able to complete the excavation of the panel without switching to another stripping technique. As the principal indicator of this situation the concept of 'geometrical stability', which is a qualitative parameter, is proposed. The indicators of 'geometrical stability' are the swing angles over sitting positions on the key cut, main cut, bridge and pullback pad, base radius of individual cones, which constitute curvilinear spoil piles and the number of cones overlapped to form a curvilinear spoil pile. Where dimensions of both the dragline and the waste block are matched, swing angles and number of cones tend to increase starting from the first set. However the rate of increase in these parameters diminishes at a certain set, after which it ultimately stabilizes. That the dimensions of dragline are not adequate to those of cut panel on which a specific stripping technique is to be applied is realized by observing a steady and consistent increase in above-mentioned parameters.

In the second part of this thesis direct side casting, extended benching and pullback casting techniques are modeled on a scaled sand pit. Dimensions of the model sand pit are 2500 mm × 2500 mm × 500 mm. Finely crushed clayey earth is used as overburden material. In preliminary studies overburden material is spoiled on the pit bottom and on the bench as single cones and curvilinear cones. For both cases volumetric difference between in-situ block and single and curvilinear cones is decreased with increasing block size. Seven, four and three trials are conducted with the dragline operating in the direct side casting mode, extended benching mode and pullback casting mode, respectively. In all trials the blocks can be excavated in accordance with the associated operating technique by a dragline of 70 m operating.

Key words: Simulation, dragline, sand pit, stripping techniques

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
.....	
ABSTRACT.....	vi
.....	
ŞEKİLLER	
DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER	
DİZİNİ.....	xii
GİRİŞ	1
LİTERATÜR ÖZETİ	2
2.1 Benzetim	2
2.2 Matematiksel Benzetim Modelleri	2
2.3 Fiziksel Benzetim Modelleri	4
ÜÇ BOYUTLU ÇEKME-KEPÇE BENZETİM MODELİ	6
3.1 Giriş	6
3.2 Tekil ve Yaysal Döküm Yığınları	6
3.2.1 Yerinde 27000 m ³ pasa bloğu	9
3.2.2 Yerinde 60000 m ³ pasa bloğu	10
3.2.3 Yerinde 125000 m ³ pasa bloğu	14
3.2.4 Yaysal yığın kümesi oluşturma hassasiyeti ve tartışma	17
3.3 Başlangıç Çukuru Benzetimi	19
3.3.1 Giriş	19
3.3.2 İlk çukur ve çekme-kepçe geometrisi	20
3.3.3 Modelleme yöntemi	22
3.3.4 Dönüş açıları	23
3.3.5 Hacim kullanım oranı	28
3.3.6 Tartışma	28
DOĞRUDAN DÖKÜM YÖNTEMİ BENZETİMİ	31
4.1 Giriş	31
4.2 Doğrudan döküm yöntemi tasarım kurgusu	31
4.3 25 m dilim kalınlığı ve %40 kabarma yüzdesi çalışması	32
4.3.1 $r_k = 41,20$ m denemesi	33
4.3.2 $r_k = 50,00$ m denemesi	34
4.4 25 m dilim kalınlığı ve %35 kabarma yüzdesi çalışması	35
4.4.1 $r_k = 40,70$ m denemesi	35
4.4.2 $r_k = 45,00$ m denemesi	36
4.4.3 $r_k = 50,00$ m denemesi	37
4.5 25 m dilim kalınlığı ve %30 kabarma yüzdesi çalışması	38
4.5.1 $r_k = 40,19$ m denemesi	38
4.5.2 $r_k = 45,00$ m denemesi	39
4.5.3 $r_k = 50,00$ m denemesi	39
4.6 20 m dilim kalınlığı ve %40 kabarma yüzdesi çalışması	41
4.6.1 $r_k = 38,95$ m denemesi	42
4.6.2 $r_k = 45,00$ m denemesi	42
4.6.3 $r_k = 50,00$ m denemesi	43
4.6.4 $r_k = 55,00$ m denemesi	44
4.7 20 m dilim kalınlığı ve %35 kabarma yüzdesi çalışması	51
4.7.1 $r_k = 38,48$ m denemesi	52
4.7.2 $r_k = 55,00$ m denemesi	53
4.7.3 tartışma	60
FİZİKSEL ÇEKME-KEPÇE BENZETİM MODELİ	64
5.1 Giriş	64
5.2 Materyal	64
5.3 Öncül Çalışmalar	66
5.3.1 Çukur tabanına (metal yüzeye) konik yığın dökümü	66
5.3.2 Basamak yüzeyine (toprak zemine) konik yığın dökümü	69
5.3.3 Basamak yüzeyine (toprak zemine) yaysal döküm	72
5.4 Doğrudan Döküm Benzetimi	73
5.4.1 Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modellemesi	73
5.4.2 Doğrudan döküm benzetimi ikinci benzetim modellemesi	79
5.4.3 Doğrudan döküm benzetimi üçüncü benzetim modellemesi	80

5.4.4	Doğrudan döküm benzetimi dördüncü benzetim modellemesi	83
5.4.5	Doğrudan döküm benzetimi beşinci benzetim modellemesi	87
ENLİ DİLİM VE GERİ ÇEKİMLİ KAZI BENZETİM MODELLERİ		96
6.1	Enli Dilim Kazısı Benzetim Modeli	96
6.1.1	Enli dilim kazısı birinci benzetim modellemesi	96
6.1.2	Enli dilim kazısı ikinci benzetim modellemesi	102
6.1.3	Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modellemesi	108
6.2	Geri Çekimli Kazı Yöntemi Benzetim Modeli	114
6.2.1	Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modellemesi	115
6.2.2	Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modellemesi	121
6.2.3	Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modellemesi	127
SONUÇLAR ve ÖNERİLER		134
7.1	Sonuçlar	134
7.2	Öneriler	135
KAYNAKLAR		136
EK		137
EK-A DOĞRUDAN DÖKÜM BENZETİM ÇALIŞMALARININ FOTOĞRAF DİZİLERİ		137
EK-B ENLİ DİLİM BENZETİM ÇALIŞMALARININ FOTOĞRAF DİZİLERİ		137
EK-C GERİ ÇEKİMLİ DÖKÜM BENZETİM ÇALIŞMALARININ FOTOĞRAF DİZİLERİ		137

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	DPC'da bulunan çekme-kepçe modelleme tablası üzerinde eğitim	4
Şekil 2.2	DPT'deki çekme-kepçe modelleme havuzu	5
	(http://members.ozemail.com.au/~hwinkel/modeltablepic.htm ; Erişim tarihi: 03.06.2009)	5
Şekil 3.1	Tekil ve yaysal yığın kümeleri	7
Şekil 3.2	27000 m ³ yerinde blok için 20 m – 36 m yarıçaplı konilerden oluşturulan yaysal konilerin hacim kullanım oranı	10
Şekil 3.3	60000 m ³ yerinde blok için 30 m – 47 m yarıçaplı konilerden oluşturulan yaysal konilerin hacim kullanım oranı	14
Şekil 3.4	125000 m ³ yerinde blok için 38 m – 60 m yarıçaplı konilerden oluşturulan yaysal konilerin hacim kullanım oranı	16
Şekil 3.5	27000 m ³ yerinde blok için koni tepeleri arası açısal mesafe-hacim kullanım oranı	18
Şekil 3.6	60000 m ³ yerinde blok için koni tepeleri arası açısal mesafe-hacim kullanım oranı	19
Şekil 3.7	125000 m ³ yerinde blok için koni tepeleri arası açısal mesafe-hacim kullanım oranı	19
Şekil 3.8	Kazılarak açılmış bir boxcut ve yığın kümeleri (Kuzeydoğudan izometrik bakış ile)	20
Şekil 3.9	Modelleme çalışmasında kullanılan ilk çukur seti (yukarıdan bakış)	21
Şekil 3.10	Modelleme çalışmasında kullanılan çekme-kepçenin tipik görüntüsü	21
Şekil 3.11	Çekme-kepçe ve dilim boyutlarının örtüştürülmesi	22
Şekil 3.12	Yığın yüzeylerinin kısıtlanması	23
Şekil 3.13	Çekme-kepçe dönüş açıları	23
Şekil 3.14	İlk çukur dilimine yayılan 12. yığın kümesi	24
Şekil 3.15	Farklı taban yarıçaplarına sahip yaysal kümelerin en büyük dönüş açıları (β_{max})	29
Şekil 3.16	Farklı taban yarıçaplarına sahip yaysal kümelerin ortalama dönüş açıları (β_{ave})	30
Şekil 3.17	Farklı taban yarıçaplarına sahip yaysal kümelerin en küçük dönüş açıları (β_{min})	30
Şekil 4.1	Doğrudan döküm yöntemi ile kazısı tamamlanmış dört ardışık dilim ve yığın kümeleri (Kuzeydoğudan izometrik bakış ile)	31
Şekil 4.2	Doğrudan döküm modelleme çalışmalarında takip edilen tasarım kurgusu	32
Şekil 4.3	Doğrudan döküm modelleme çalışmasında kullanılan 25 m kalınlığında set (yukarıdan bakış)	33
Şekil 4.4	$r_k = 41,20$ m durumunda 3. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	34
Şekil 4.5	$r_k = 50$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	35
Şekil 4.6	$r_k = 40,70$ m durumunda 3. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	36
Şekil 4.7	$r_k = 45$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	37
Şekil 4.8	$r_k = 50$ m durumunda 4. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	38
Şekil 4.9	$r_k = 40,19$ m durumunda 3. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	39
Şekil 4.10	$r_k = 45$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	40
Şekil 4.11	$r_k = 50$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	40
Şekil 4.12	Direkt döküm modelleme çalışmasında kullanılan 20 m kalınlığında %40 kabarma yüzdesine sahip blok (yukarıdan bakış)	41
Şekil 4.13	$r_k = 38,95$ m durumunda 5. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	42
Şekil 4.14	$r_k = 45$ m durumunda 7. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	43
Şekil 4.15	$r_k = 50$ m durumunda 8. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	44
Şekil 4.16	İlk dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	45
Şekil 4.17	İkinci dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	46
Şekil 4.18	Üçüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	48
Şekil 4.19	Dördüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	49
Şekil 4.20	Doğrudan döküm modelleme çalışmasında kullanılan 20 m kalınlığında blok (yukarıdan bakış)	51

Şekil 4.21	$r_k = 38,48$ m durumunda 5. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)	52
Şekil 4.22	İlk dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	53
Şekil 4.23	İkinci dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	55
Şekil 4.24	Üçüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)	56
Şekil 4.25	Dördüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu durumu (Güneydoğudan izometrik bakış)	58
Şekil 4.26	Yaysal kanal kümelerine ait en küçük dönüş açıları (β_{min})	61
Şekil 4.27	Yaysal kanal kümelerine ait en büyük dönüş açıları (β_{max})	61
Şekil 4.28	Yaysal kanal kümelerine ait ortalama dönüş açıları (β_{ave})	62
Şekil 4.29	Yaysal dilim kümelerine ait en küçük dönüş açıları (β_{min})	62
Şekil 4.30	Yaysal dilim kümelerine ait en büyük dönüş açıları (β_{max})	63
Şekil 4.31	Yaysal dilim kümelerine ait ortalama dönüş açıları (β_{ave})	63
Şekil 5.1	Kullanılan killi toprağın elek analizi	64
Şekil 5.2	Model tablası boyutları	65
Şekil 5.3	Ölçümlerde kullanılan araçlar	66
Şekil 5.4	Kömürü alınmış dilim tabanına konik pasa dökümü	67
Şekil 5.5	Basamak üzerine konik pasa dökümü	69
Şekil 5.6	Küçük, orta ve büyük kazı bloklarında şev yenilmeleri kaynaklı geometri bozulmaları	70
Şekil 5.7	Küçük, orta, büyük ve çok büyük yaysal yığın	72
Şekil 5.8	Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modelleme planı	74
Şekil 5.9	Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modeli aşamaları	78
Şekil 5.10	Doğrudan döküm benzetimi birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	78
Şekil 5.11	Doğrudan döküm benzetimi birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	79
Şekil 5.12	Doğrudan döküm yöntemi ikinci benzetim modelleme planı	80
Şekil 5.13	Doğrudan döküm yöntemi ikinci benzetim modeli aşamaları	82
Şekil 5.14	Doğrudan döküm benzetimi ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	82
Şekil 5.15	Doğrudan döküm benzetimi ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	83
Şekil 5.16	Doğrudan döküm yöntemi üçüncü benzetim modelleme planı	84
Şekil 5.17	Doğrudan döküm yöntemi üçüncü benzetim modeli aşamaları	86
Şekil 5.18	Doğrudan döküm benzetimi üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	86
Şekil 5.19	Doğrudan döküm benzetimi üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	87
Şekil 5.20	Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modelleme planı	88
Şekil 5.21	Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modeli aşamaları	91
Şekil 5.22	Doğrudan döküm benzetimi dördüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	91
Şekil 5.23	Doğrudan döküm benzetimi dördüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	92
Şekil 5.24	Doğrudan döküm yöntemi beşinci benzetim modelleme planı	92
Şekil 5.25	Doğrudan döküm yöntemi beşinci benzetim modeli aşamaları	94
Şekil 5.26	Doğrudan döküm benzetimi beşinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	94
Şekil 5.27	Doğrudan döküm benzetimi beşinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	95
Şekil 6.1	Enli dilim kazısı birinci benzetim modelleme planı	97
Şekil 6.2	Enli dilim kazısı birinci benzetim modeli aşamaları	101
Şekil 6.3	Enli dilim kazısı birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	102
Şekil 6.4	Enli dilim kazısı birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	102
Şekil 6.5	Enli dilim kazısı ikinci benzetim modelleme planı	103
Şekil 6.6	Enli dilim kazısı ikinci benzetim modeli aşamaları	107
Şekil 6.7	Enli dilim kazısı ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	108
Şekil 6.8	Enli dilim kazısı ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	108
Şekil 6.9	Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modelleme planı	109

Şekil 6.10	Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modeli aşamaları	113
Şekil 6.11	Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	114
Şekil 6.12	Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	114
Şekil 6.13	Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modelleme planı	116
Şekil 6.14	Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modeli aşamaları	117
Şekil 6.15	Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	121
Şekil 6.16	Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	121
Şekil 6.17	Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modelleme planı	122
Şekil 6.18	Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modeli aşamaları	123
Şekil 6.19	Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	127
Şekil 6.20	Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	127
Şekil 6.21	Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modelleme planı	128
Şekil 6.22	Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modeli aşamaları	129
Şekil 6.23	Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)	133
Şekil 6.24	Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)	133

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	37800 m ³ hacme (kabarmış) sahip tekil koni örneği _____	7
Çizelge 3.2	37800 m ³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri _____	8
Çizelge 3.3	84000 m ³ hacme (kabarmış) sahip tekil koni örneği _____	10
Çizelge 3.4	84000 m ³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri _____	11
Çizelge 3.5	125000 m ³ hacme sahip tekil koni örneği _____	14
Çizelge 3.6	175000 m ³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri _____	15
Çizelge 3.7	27,22 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	25
Çizelge 3.8	29 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	25
Çizelge 3.9	31 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	26
Çizelge 3.10	33 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	26
Çizelge 3.11	35 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	27
Çizelge 3.12	37 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	27
Çizelge 3.13	39 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları _____	28
Çizelge 3.14	Farklı taban yarıçaplı konilerden oluşturulan yığın kümelerinin hacim kullanım verimleri _____	28
Çizelge 4.1	Birinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	45
Çizelge 4.2	Birinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	46
Çizelge 4.3	İkinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	47
Çizelge 4.4	İkinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	47
Çizelge 4.5	Üçüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	48
Çizelge 4.6	Üçüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	49
Çizelge 4.7	Dördüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	50
Çizelge 4.8	Dördüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	50
Çizelge 4.9	İlk dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	54
Çizelge 4.10	İlk dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	54
Çizelge 4.11	İkinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	55
Çizelge 4.12	İkinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	56
Çizelge 4.13	Üçüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	57
Çizelge 4.14	Üçüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	57
Çizelge 4.15	Dördüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	59
Çizelge 4.16	Dördüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları _____	59
Çizelge 5.1	Kömürü alınmış dilim tabanına konik döküm benzetimi sonuçları _____	68
Çizelge 5.2	Basamak yüzeyine konik döküm benzetimi sonuçları _____	71
Çizelge 5.3	Basamak yüzeyine (toprak zemine) döküm benzetimi sonuçları _____	75
Çizelge 5.4	Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modellemesi sonuçları _____	77
Çizelge 5.5	Doğrudan döküm yöntemi ikinci benzetim modellemesi sonuçları _____	81
Çizelge 5.6	Doğrudan döküm yöntemi üçüncü benzetim modellemesi sonuçları _____	85
Çizelge 5.7	Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modellemesi sonuçları _____	89
Çizelge 5.8	Doğrudan döküm yöntemi beşinci benzetim modellemesi sonuçları _____	93
Çizelge 6.1	Enli dilim kazısı birinci benzetim modellemesi sonuçları _____	98
Çizelge 6.2	Enli dilim kazısı ikinci benzetim modellemesi sonuçları _____	104
Çizelge 6.3	Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modellemesi sonuçları _____	110
Çizelge 6.4	Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modellemesi sonuçları _____	118
Çizelge 6.5	Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modellemesi sonuçları _____	124
Çizelge 6.6	Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modellemesi sonuçları _____	130

GİRİŞ

Bu tez kapsamında temel çekme-kepçe örtükazı uygulamaları, bilgisayar destekli bir tasarım programı aracılığıyla üç boyutlu olarak sanal ortamda, ayrıca bir çekme-kepçe kum havuzu üzerinde de fiziksel olarak modellenmiştir. Her iki yöntemle de, basitten karmaşığa doğru birçok örtükazı yönteminin uygulanabilirliği incelenebilmekte ve benzetimi yapılabilmektedir. Böylece herhangi bir yerüstü kömür ocağında uygulanabilecek örtükazı yöntemi ve kullanılan çekme-kepçe(ler)in verimi, önceden belirlenebilecektir. Kum havuzu lisans ve lisansüstü öğrencileri için oldukça yararlı bir eğitim aracı olarak ta kullanılabilir.

Tez kapsamında aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir:

1. Çekme-kepçe örtükazı çalışmasının bilgisayar ortamında üç boyutlu modellenmesi
 - a. Pasa yığınlarının tekil konik kümeler ya da yaysal (curvilinear) kümeler halinde dökülmesinin, döküm bölgesi hacimsel kullanım verimliliği üzerindeki etkisinin araştırılması,
 - b. İlk dilim kazısı modellenmesi. İlk çukur (boxcut) açılması ve farklı taban yarıçaplarına sahip kümelerden oluşturulan yaysal yığın kümelerinin döküm hacim kullanımı ve dönüş açıları ölçütleri gözetilerek irdelenmesi,
 - c. Doğrudan döküm (direct side casting) uygulamasının modellenmesi. İki farklı örtü kalınlığı ve her birinde üç farklı kabarma faktörü değerleri altında, farklı taban yarıçaplarına sahip kümelerden oluşturulan yaysal kanal ve dilim yığın kümelerinin döküm hacim kullanımı ve dönüş açıları ölçütleri gözetilerek irdelenmesi,
2. Çekme-kepçe örtükazı çalışmasının kum havuzunda üç boyutlu modellenmesi
 - a. Pasa yığınlarının tekil konik kümeler ya da yaysal (curvilinear) kümeler halinde serbest yüzeye ve toprak yüzeye dökülmesinin, döküm bölgesi hacimsel kullanım verimliliği üzerindeki etkisinin araştırılması,
 - b. İlk çukur kazısı modellenmesi. Yaysal yığın kümelerinin döküm bölgesi hacim kullanımının çekme-kepçe dönüş açıları ölçütü gözetilerek belirlenmesi,
 - c. Doğrudan döküm (direct side casting), enli dilim kazısı ve geri çekimli kazı uygulamalarının modellenmesi. Farklı dilim genişliği ve set boyu değerlerinde oluşan yığın kümelerinin hacim kullanım verimliliklerinin çekme-kepçe dönüş açıları ölçütü gözetilerek belirlenmesi.

LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Benzetim

Benzetim, karmaşık sistemlerin tasarımı ve analizinde kullanılan en güçlü analiz araçlarından birisi olup gerçek bir süreç ya da sistemin işletilmesinin, zaman üzerinden, sistem objeleri arasında tanımlanmış ilişkileri içeren bir model aracılığıyla taklit edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Benzetim modelleri geliştirildikten ve geçerlilikleri sağlandıktan sonra, gerçek sistem hakkındaki çeşitli sorulara (WHAT-IF) cevap aramak ve sistem üzerinde yapılacak değişikliklerin etkilerini kestirmek için tasarım ve analiz aracı olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde gerçek sistemin çalışma maliyetleri model maliyetlerine indirgenebilmektedir.

Herhangi bir sistemi incelemek üzere onu temsil eden bir örnek olarak oluşturulan modeller, genellikle, fiziksel ve matematiksel olmak üzere ikiye ayrılırlar. Fiziksel modeller gerçek sisteme benzeyen küçük ölçekli temsili örneklerdir. Matematiksel modeller ise bir sistemi göstermek için sembolik notasyonlar ve matematiksel eşitlikler kullanılarak hazırlanırlar. Genel amaçlı programlama dillerinden veya benzetim için geliştirilmiş dillerden türetilen bilgisayar yazılımları bunların örnekleridir. Böylece, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışlar bilgisayar modeli ile izlenebilmektedir.

2.2 Matematiksel Benzetim Modelleri

Madencilikte ilk yatırım maliyeti oldukça büyük olan projeler için benzetim yöntemlerinin kullanımı büyük avantajlar sağlamaktadır. Fiziksel ya da matematiksel modeller ile yeraltı/yerüstü ocaklarda tüm boyutların geometrik planlaması, şev duraylılığı, delme-patlatma tasarımı, tahkimat tasarımı, yükleyici/taşıyıcı filo seçimi ve ataması vb. konularda işletmeye başlamadan üretim ve başarımlar kestirimi yapılabilmektedir.

Çekme-kepçeler; Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avustralya, Kanada, Güney Afrika Cumhuriyeti, Hindistan, Çin, Kolombiya ve Türkiye'deki yerüstü kömür ocaklarında hemen tamamen örtü ve kömür kazı operasyonlarında kullanılmaktadır. Pano tasarımı ve üretim planlaması aşamasında oldukça karmaşılaşabilen ocak geometrisi nedeniyle yoğun matematiksel işlemlere başvurulması gerekmektedir. Elle yapıldığında oldukça uzun süreye yayılan çalışmalar için çeşitli tasarım birleşimlerinde kullanılmak üzere araştırma merkezleri tarafından geliştirilen bilgisayar programları mevcut olup halen kullanımda olan belirli sayıda profesyonel paket bulunmaktadır.

ABD'nde 1980'li yılların ilk yarısına kadar ocak geometrisi optimizasyonu ve benzetim modelleri geliştirilmiştir. Ancak günümüzde Avustralya merkezli yazılım şirketleri tarafından geliştirilen tasarım paket programları büyük kapasiteli çekme-kepçe filoları ile üretim yapan birçok işletme tarafından kullanılmaktadır. Amerikan Maden Bürosu (USBM) tarafından yapılan bir araştırmada örtükazı yöntemlerinin ekonomiklik karşılaştırmaları ve maliyet analizleri yapılmıştır. McDonnell Douglas Electronics tarafından geliştirilen 'Display and Information

Gathering System (DIGS)'; tur süresi, kepçe doluluk oranı ve kepçe doldurma süresi gibi parametreleri ölçebilmekte, kaydedebilmekte ve operatör kabini ile ocak idare merkezine iletebilmekteydi (McDonnell Douglas, 1978). Bu çekme-kepçe izleme sistemi, günümüzde kullanılan gelişmiş izleme ve kontrol sistemlerinin atasıdır. Cook and Lappi (1979) at nalı (horseshoe) yöntemi ile örtükazı yapan bir çekme-kepçe ve üzerinde çalıştığı pano arasındaki boyutsal ilişkileri gösteren bir dizi geometri modeli üretmişlerdir. Satchwell (1985) her çekme-kepçenin dilimin bir yakasında çalıştığı iki geçişli bir çekme-kepçe örtükazı yönteminin matematiksel benzetim modelini çıkartmıştır. Bu sistem, halen Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından Elbistan'da rödovans ile işletilen Çöllolar açık kömür ocağı için örtükazı sistemi olarak önerilmiştir. Fluor Utah, (1977), Kaiser Engineers (1981), Skelly and Loy (1981) tarafından da bu gibi bilgisayar programları çekme-kepçe tasarımlarında yardımcı olması amacı geliştirilmiştir. Sadri and Lee (1982) çekme-kepçe üretiminin; basamak derinliği, kabarma, kömür damarı kalınlığı ve malzeme duraylılığı gibi fiziksel parametrelerden etkilendiğini, ayrıca, pano genişliği, set boyu, döküm yöntemi ve kazı-döküm operasyonlarının sıralanması gibi işletme parametrelerinin de üretimi etkilediğini ifade etmişlerdir. Geliştirdikleri 'Dragline Simulation Model (DPS)' benzetim paketi ile belirli fiziksel koşullara sahip ocaklarda çekme-kepçe operasyonlarını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Model; kazı, döküm, yürüme, uzun yürüme (deadheading) ve bakım işlemlerinin benzetimini yapabilmekteydi ve çekme-kepçe panosunu üç boyutlu olarak çizebilmekteydi.

Erdem (1996) yaygın olarak uygulanan çekme-kepçe örtükazı yöntemlerinde kullanılması planlanan çekme-kepçelerin seçimi için bir uzman sistem geliştirmiştir. Şahin (2005), çekme-kepçe örtükazı uygulamalarını bilgisayar destekli bir çizim paketi kullanarak modellemiştir. Erdem ve Doğan (2007) yerüstü kömür ocaklarında çekme-kepçe pano tasarımına yönelik bir tasarım modelleme çalışması yapmışlardır. Serbest döküm, ilk çukur, doğrudan döküm, enli dilim ve geri çekim yöntemleri ile kazılacak ve dökülecek hacimler, kanal ve dilim bloklarındaki dönüş açıları gibi parametreler incelenmiştir. Şahin (2005) ve Erdem ve Doğan (2007) tarafından geliştirilen benzetim modellerinde kömür ve örtü tabakaları düzlemsel kabul edilmiş olup, pasa kabarma faktörü değiştirilirken, yığın tepe açısı sabit olarak alınmıştır.

Günümüzde ticari olarak kullanılan DRAGSIM, 3D-DIG2000, VULCAN ve SURPAC gibi bilgisayar paket programları da bulunmaktadır. DRAGSIM, çekme-kepçe operasyonlarını orta ve uzun dönemli olarak planlayabilmektedir. Program aynı zamanda patlatma, dekapaj ve ilave madencilik faaliyetlerinin analizlerini de yapabilmektedir. 3D-DIG2000 paketinin üç boyutlu arazi modellemesi ile çekme-kepçe kazı/döküm tasarımı özellikleri bulunmaktadır. Program; topografik modelleme, kazı ve döküm modellemesi, üç boyutlu animasyon teknikleri ile modelleme, hacim ve üretim hesaplamaları ile çok çeşitli ekipman ile değişik konfigürasyonların çalışma benzetimini yapabilmektedir. SURPAC da, örtükazı operasyonlarını modelleyebilmektedir.

2.3 Fiziksel Benzetim Modelleri

Tasarım paketleri yanında, özellikle kömür üreticisi firmalar tarafından tercih edilen laboratuvar çaplı ilk örnek model havuz çalışmaları yapılmakta ve ölçeklendirilmiş model çekme-kepçe panosu üzerinde operatörlere eğitim verilmektedir. Williams *et. al.* (1997) çekme-kepçe eğitim simülatörleri üzerine yaptıkları çalışmada operatörlerin çekme-kepçe kullanım başarımlarının simülatör eğitimi ile arttığını ifade etmektedir. Güney Illinois Üniversitesi'nde (SIU) bulunan "Dragline Productivity Center (DPC)"da çekme-kepçe benzetimi yapılmakta ve model çekme-kepçe panosu kullanılarak düzenlenen kurslarda operatörler eğitilmektedir (Lubbert *et. al.*, 2001). Bu kurslarda çekme-kepçe kullanımı, üretim yöntemleri, çekme-kepçe konumlandırılması ve yürümesi gibi pek çok konuda görsel olarak bilgi verilmekte, karşılaşılabilecek problemler çok daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Böylece işletmede çekme-kepçe çalışma verimi artmakta, daha güvenli ve etkili üretim yapılmaktadır. Ayrıca açık ocak olarak tasarlanan kum havuzu şeklindeki ilk örnek masa ile de çekme-kepçelerin basamaktaki yerleşimi ve kazı teknikleri gibi pek çok parametre ile operatörler eğitilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 DPC'da bulunan çekme-kepçe modelleme tablası üzerinde eğitim

Avustralya merkezli “Dragline Productivity Technologies (DPT)” tarafından da benzer kurslar düzenlenmektedir (Şekil 2.2). Bu kurslarda etkili çekme-kepçe kullanımı üretim yöntemleri tanıtılmakta ve üretim veriminin artırılması amaçlanmaktadır.



Şekil 2.2 DPT'deki çekme-kepçe modelleme havuzu
(<http://members.ozemail.com.au/~hwinkel/modeltablepic.htm>; Erişim tarihi: 03.06.2009)

ÜÇ BOYUTLU ÇEKME-KEPÇE BENZETİM MODELİ

3.1 Giriş

Bu bölümde bir tasarım destek paket programı kullanılarak yapılan üç boyutlu çekme-kepçe örtükazı benzetim modeli ve buna temel oluşturan öncül çalışmalara değinilecektir. Bu model ile çekme-kepçe çalışması üç boyutlu olarak modellenenilmekte ve çekme-kepçeleri sürekli 90° dönüş sonrası döküm yapar kabul eden iki boyutlu erişim diyagramları (dragline range diagrams) ve kesitler üzerinden yapılan boyutsal tasarımlarda meydana gelen hatalar önlenebilmektedir. Böylece pano üzerindeki belirli bir dilim boyunca herhangi bir setin döküm geometrisini aynı (statik) kabul eden ve dolayısıyla daha büyük hata payı ile modelleme yapan iki boyutlu erişim diyagramı tekniği yerine ilk dilimden başlayarak setler boyunca değişebilen (dinamik) döküm modellemesi yapabilen üç boyutlu bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

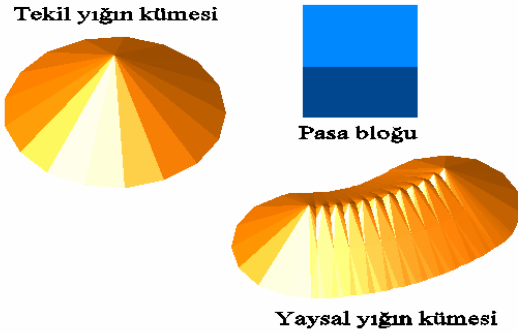
Tasarım çalışmalarında kullanılan çizim paketinin işlem doğruluğunun ve hassasiyetinin sınanması amacıyla bir dizi öncül çalışma yapılmıştır. Burada, her biri farklı taban çapı ve yüksekliğine sahip koniler, ikili ve üçlü gruplar halinde örtüştürülmüş ve ortaya çıkan bileşik cismin hacmi ile konilerin kesişim hacimleri hem paket program tarafından hem de elle, matematiksel küme işlemleri takip edilerek hesaplanmıştır. Tüm denemelerde program ve elle yapılan hesaplar arasındaki fark göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. Detaylı bilgi Şahin (2005) ve Erdem ve Doğan (2007) tarafından verilmiştir.

3.2 Tekil ve Yaysal Döküm Yığınları

Matematiksel benzetim modeli çalışmasının asal amaçlarından birisi çekme-kepçenin döküm yaptığı harman bölgesi kullanım oranının enbüyüklenmesi, diğer bir deyişle, yüksek döküm verimi sağlayacak şekilde harman sahasında örtü malzemesinin yığılması için bırakılan bölge hacminin olabilecek en büyük kısmının pasa ile doldurulmasını sağlayacak bir yöntem geliştirmektir. Bu amaca yönelik olarak, hangi geometriye sahip bir şeklin, içine sığacağı ve kendisini çevreleyen bir kutunun (bounding box) daha büyük bölümünü kaplayacağı araştırılmıştır. Çekme-kepçeler kazdıkları örtü malzemesini tekil ya da yaysal kümeler halinde yığılabirler. Tekil kümeler görece geniş dairesel bir taban üzerinde yüksek bir koni, yaysal kümeler ise bir daire yayı boyunca küçük açısafelerle dökülmüş belirli sayıda tekil koninin birleşiminden (overlapping cones) oluşturulmuş, alçak ve karmaşık bir cisim olma eğilimindedir. Şekil 3.1'de yerinde bir pasa bloğunun tekil ve yaysal kümeler olarak yığılması gösterilmektedir.

Tekil koniler bir taban yarıçapı ile malzemeyi temsil eden doğal şev açısına bağlı bir yükseklik değeri belirlendiğinde, sabit geometriye sahip olmaktadır (Eşitlik 3.1). Diğer taraftan yaysal kümeler, tepe noktaları arasında küçük bir açısafelerle dökülmüş belirli sayıda tekil kümenin birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Burada beliren problem, herhangi bir yaysal kümeyi oluşturmakta kullanılan tekil koni topluluklarının farklı taban yarıçapına sahip olabilmesidir. Böylece, sabit hacme sahip yaysal bir koni değişken sayıda tekil koni topluluklarından

oluşturulabileceğinden, farklı geometriye sahip olabilmektedir. Dolayısıyla her yaysal koninin kapladığı hacim ve hacim kullanım oranı, değişebilmektedir. Şekil 3.1’de verilen pasa bloğunun boyutları 30 m × 30 m × 30 m ve hacmi yerinde 27000 m³tür. Kazılıp döküldüğünde tipik %40’lık kabarma yüzdesi ile blok, 37800 m³ (V_k) hacme ulaşacaktır. Kömür örtü kayalarının yığınları için karakteristik bir değer olan 35°’lik şev açısı (θ_k) alındığında Eşitlik 3.1’e göre blok, tekil koni halinde bir kümeye döküldüğünde taban yarıçapı (r_k) 37,22 m ve küme yüksekliği (h_k) 26,06 m olmaktadır. Bu durumda küme, kendisini çevreleyen küpün %26,18’lik kısmını kaplamakta ve kalan %73,82’lik bölüm kullanılamamaktadır (Çizelge 3.1). Diğer taraftan 37800 m³ hacimli bir cismin yaysal konik bir küme olarak dökülebilmesi için çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Çizelge 3.2 farklı taban yarıçapına sahip koni topluluklarından oluşturulmuş ve 37800 m³ hacme sahip yaysal küme örnekleri vermektedir.



Şekil 3.1 Tekil ve yaysal yığın kümeleri

$$V_k = \frac{1}{3} \cdot h_k \cdot \pi \cdot r_k^2$$

$$h_k = r_k \cdot \tan \theta_k \text{ olduğundan}$$

$$V_k = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r_k^3 \cdot \tan \theta_k \quad [3.1]$$

Buradan

$$r_k = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_k}{\pi \cdot \tan \theta_k}} \text{ çıkarılabilir}$$

Burada:

- h_k : Konik küme yüksekliği, m
- r_k : Konik küme taban yarıçapı, m
- V_k : Konik küme hacmi, m³
- θ_k : Konik küme şev açısı, °

Çizelge 3.1 37800 m³ hacme (kabarmış) sahip tekil koni örneği

Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açılal mesafe (°)	Tekil koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
37,22	26,06	-	37800	144385,71	26,18

Çizelge 3.2 37800 m³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri

Seçenek	Örtüşen koni adedi	Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açılal mesafe (°)	Yaysal koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
1	7	20,00	14,00	17,682	37800,1334	181989,6898	20,7705
	8			13,455	37799,4491	153315,8310	24,6546
	9			11,136	37799,2634	143664,1971	26,3108
	10			9,575	37801,8640	136931,6717	27,6064
	11			8,427	37800,0037	133683,7593	28,2757
	12			7,540	37799,0296	130609,3336	28,9405
	13			6,829	37799,0386	129023,2343	29,2963
	14			6,242	37801,9507	127170,6674	29,7254
2	5	22,00	15,40	22,568	37799,6459	174941,0018	21,6071
	6			14,537	37799,8892	133449,6543	28,3252
	7			11,316	37800,0796	125179,5640	30,1967
	8			9,360	37800,1275	119903,2257	31,5255
	9			8,013	37799,9930	117761,5557	32,0988
	10			7,020	37801,5217	115672,2979	32,6798
	11			6,253	37801,2667	114769,4046	32,9367
12	5,640	37799,6168	113639,9793	33,2626			
3	4	24,00	16,80	21,380	37800,1997	138237,6468	27,3444
	5			13,420	37799,8863	119829,3818	31,5448
	6			10,148	37800,8302	113442,5496	33,3216
	7			8,222	37800,7470	111448,5229	33,9177
	8			6,932	37800,1112	109626,5605	34,4808
	9			5,998	37799,7390	108930,4557	34,7008
	10			5,292	37801,4721	108094,1059	34,9709
	11			4,739	37799,8309	107832,7047	35,0541
12	4,292	37798,8991	107388,7157	35,1982			
4	3	26,00	18,20	27,334	37800,0112	145597,3304	25,9620
	4			13,493	37800,5701	114302,5193	33,0706
	5			9,542	37800,8554	110995,6914	34,0561
	6			7,441	37800,0852	108808,2554	34,7401
	7			6,114	37799,1370	108165,9686	34,9455
	8			5,200	37801,9833	107462,1523	35,1770
	10			4,007	37801,9400	106895,6902	35,3634
	12			3,256	37803,6537	106491,5569	35,4992
5	3	28,00	19,61	15,422	37799,8381	117191,1162	32,2549
	4			9,467	37800,2103	111691,1623	33,8435
	5			6,904	37799,0106	110681,7340	34,1511
	6			5,462	37800,6118	109892,8428	34,3977
	7			4,521	37798,9449	109710,4981	34,4534
	8			3,858	37798,6154	109383,0617	34,5562
	10			2,987	37803,4279	109176,5400	34,6260
	12			2,435	37800,2754	109001,4140	34,6787
6	2	30,00	21,01	26,786	37799,9768	125251,9882	30,1791
	3			10,276	37800,1104	116431,8002	32,4655
	4			6,617	37799,8401	114674,9540	32,9626
	5			4,902	37799,3039	114426,1155	33,0338
	6			3,894	37801,4900	114042,7271	33,1468
	9			2,419	37804,0464	113884,7451	33,1950
	12			1,757	37800,0233	113813,3223	33,2123
7	2	32,00	22,41	14,365	37800,3965	122257,8665	30,9186
	3			6,655	37800,8077	121103,7606	31,2136
	4			4,361	37799,0902	120468,7114	31,3767
	5			3,263	37801,5744	120512,7804	31,3673
	9			1,621	37799,4981	120320,4849	31,4157
	12			1,178	37799,4468	120289,2027	31,4238
8	2	34,00	23,81	7,722	37799,2580	128615,7056	29,3893
	3			3,774	37800,2792	128546,1375	29,4060
	4			2,506	37799,6491	128433,1768	29,4314
	8			1,071	37801,9190	128411,7407	29,4381
	12			0,680	37805,3149	128373,7987	29,4494
9	2	36,00	25,21	2,680	37799,2369	137890,7925	27,4124
	3			1,336	37800,4635	137913,6093	27,4088
	4			0,887	37799,6554	137879,0288	27,4151

8	0,379	37805,6190	137860,8802	27,4230
12	0,244	37796,8528	137945,9256	27,3998

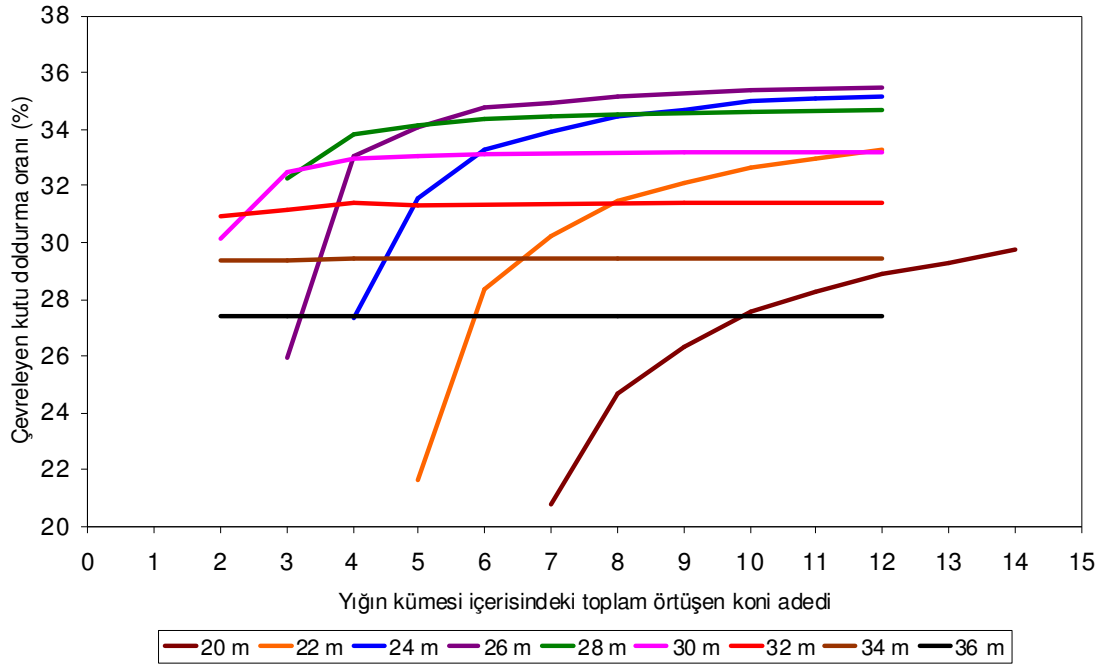
Çizelgeler 3.1 ve 3.2 incelendiğinde, bir pasa bloğunun tekil konik bir yığın kümesi olarak döküldüğünde sabit bir geometriye sahip olabilirken, yaysal yığın kümesi tercih edildiğinde aynı hacme sahip onlarca farklı geometri seçeneğinin belirdiği görülmektedir. Ayrıca hacim kullanım oranı da yaysal kümeyi oluşturan konilerin taban yarıçapı büyüdükçe yükselmekte (%26'dan %35'e kadar) ancak belirli bir değerden sonra düşmektedir. Diğer bir çıkarım da, koni taban yarıçapı sabit olmak üzere, koni tepeleri arasındaki açısız mesafe azaldıkça, hacim kullanım oranının artmasıdır. Dolayısıyla yaysal yığın kümesini oluşturacak konilerin taban yarıçapının en uygun değerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Çekme-kepçe yığınları genellikle yaysal olarak kümelendiğinden çalışmanın ikinci aşaması yaysal pasa kümelerinin en uygun geometrisinin tespit edilmesi olarak belirlenmiştir. Bu nedenle yerinde hacmi küçük, orta ve büyük kabul edilecek üç ayrı pasa bloğunun tekil ve yaysal olarak döküm benzetimlerinin yapılması ve sonuçların detaylı olarak yorumlanması kararlaştırılmıştır.

3.2.1 Yerinde 27000 m³ pasa bloğu

Çalışma yöntemine göre yaysal kümeler, taban yarıçapı tekil konik küme değerinin bir altındaki çift sayıdan başlamak koşuluyla, 2 m azalarak belirlenen konilerin birleşimi alınarak oluşturulacaktır. Taban yarıçapı alt sınırı ise, hacim kullanım oranı çok düşük olmayan olası en küçük değer olarak belirlenmiştir. Tekil koni halinde döküldüğünde taban yarıçapı 37,22 m olan 27000 m³lük pasa bloğu için 36 m, 34 m, 32 m, 30 m, 28 m, 26 m, 24 m, 22 m ve 20 m taban yarıçaplı yeterli sayıda koninin birleşim kümesi yaysal yığın kümesini oluşturulmuştur (Çizelge 3.2). Burada, tümü 37800 m³ kabarmış hacme sahip yaysal kümelerin belirli bir taban yarıçapına sahip kaç adet koninin birleşim kümesi olduğu (örtüşen koni adedi), koni tepe noktaları arasındaki açısız mesafe, oluşturulan birleşim yığın kümesini içine alabilen bir dikdörtgen prizmanın (bounding box) hacmi ve yaysal kümenin bu prizmayı doldurma oranı verilmektedir. Hacim kullanım oranı (verimi) Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır:

- Hacim kullanım oranı koni taban yarıçapı ve yaysal kümeyi oluşturan koniler arası açısız mesafenin fonksiyonudur.
- Hacim kullanım oranı en küçük taban yarıçapından itibaren artmaya başlamakta, tekil koninin yaklaşık %70'ine karşılık gelen yarıçapta (burada 26 m) zirveye ulaşmakta ve daha büyük yarıçaplarda düşmektedir. Dolayısıyla yaysal kümeyi oluşturacak bireysel konilerin en uygun taban yarıçapı, tekil koni yarıçapının %70'i olarak belirlenmektedir.
- Hacim kullanım oranı örtüşen koni adedi ile artmaktadır. Bu durum özellikle en küçük yarıçapından en uygun yarıçapa kadar değişen örtüşen konilerde oldukça belirgindir.



Şekil 3.2 27000 m³ yerinde blok için 20 m – 36 m yarıçaplı konilerden oluşturulan yaysal konilerin hacim kullanım oranı

3.2.2 Yerinde 60000 m³ pasa bloğu

İkinci deneme 40 m × 50 m × 30 m (boy, en, derinlik) boyutlarında ve yerinde 60000 m³ hacimli (%40 kabarma yüzdesi ile 84000 m³ kabarmış halde) orta boyutlu bir pasa bloğunun yaysal küme halinde dökülmesidir. Çizelge 3.3'de verildiği üzere blok, tekil küme olarak döküldüğünde 48,57 m yarıçapında ve 34,01 m yüksekliğinde bir koni haline gelmektedir. Bölüm 3.2.1'de bahsedilen yöntem uyarınca yaysal kümeler, taban yarıçapı 47 m, 46 m, 45 m, 44 m, 43 m, 42 m, 41 m, 40 m, 39 m, 38 m, 37 m, 36 m, 35 m, 34 m, 32 m ve 30 m olan konilerin birleşim kümelerinden oluşturulmuştur. Çizelge 3.4'de ise yaysal koni geometrisi seçenekleri bulunmaktadır. Yerinde 60000 m³ pasa bloğu için hacim kullanım oranı Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır:

- Hacim kullanım oranı koni taban yarıçapı ve yaysal kümeyi oluşturan koniler arası açılmal mesafenin fonksiyonudur.
- Hacim kullanım oranı en küçük taban yarıçapından itibaren artmaya başlamakta, tekil koninin yaklaşık %72'sine karşılık gelen yarıçapta (burada 34 m) zirveye ulaşmakta ve daha büyük yarıçaplarda düşmektedir. Dolayısıyla yaysal kümeyi oluşturacak bireysel konilerin en uygun taban yarıçapı, tekil koni yarıçapının %72'si olarak belirlenmektedir.
- Hacim kullanım oranı örtüşen koni adedi ile artmaktadır. Bu durum özellikle en küçük yarıçapından en uygun yarıçapa kadar değişen örtüşen konilerde oldukça belirgindir.

Çizelge 3.3 84000 m³ hacme (kabarmış) sahip tekil koni örneği

Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açılmal mesafe (°)	Tekil koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
48,57	34,01	-	84000	320856,52	26,18

Çizelge 3.4 84000 m³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri

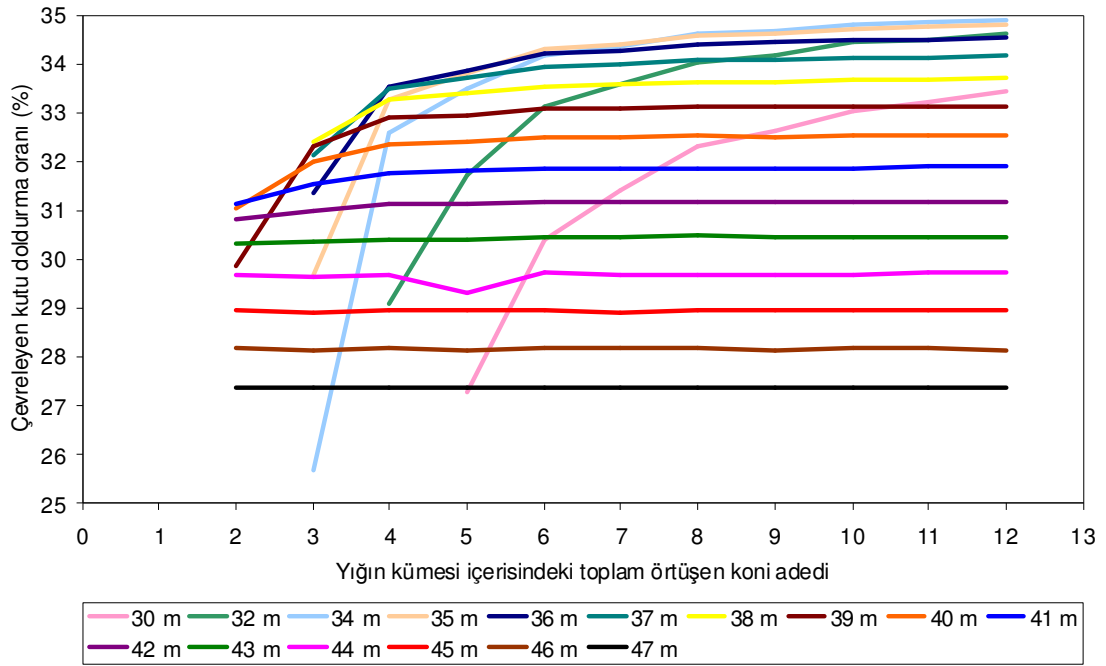
Seçenek	Örtüşen koni adedi	Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açısıl mesafe (°)	Yaysal koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
1	5	30,00	21,01	21,616	84001,4828	307890,1229	27,2829
	6			15,713	84000,5096	276107,8295	30,4231
	7			12,547	84000,8795	267360,1682	31,4186
	8			10,499	84002,5822	259973,8087	32,3119
	9			9,048	84009,5436	257400,7764	32,6376
	10			7,959	83999,3100	254163,9880	33,0493
	11			7,108	83985,1141	252994,0243	33,1965
	12			6,421	83941,3456	251044,1387	33,4369
2	4	32,00	22,41	24,099	84000,5975	288919,9244	29,0740
	5			15,958	83998,0275	264964,7700	31,7016
	6			12,198	83995,7347	253458,0858	33,1399
	7			9,930	83988,2260	250260,1511	33,5604
	8			8,393	83983,0862	246701,8268	34,0423
	9			7,274	83958,3939	245574,1368	34,1886
	10			6,429	83992,7201	244026,8165	34,4195
	11			5,760	83986,6806	243592,5427	34,4783
	12			5,219	83993,4176	242668,0503	34,6125
3	3	34,00	23,81	34,845	83999,3270	327241,5706	25,6689
	4			17,457	83998,7682	257878,2519	32,5730
	5			12,352	83994,7155	250854,3633	33,4835
	6			9,635	83985,1523	245631,2817	34,1916
	7			7,917	83965,3673	244317,3226	34,3673
	8			6,733	83997,1118	242582,8095	34,6262
	9			5,858	83977,5886	242153,0051	34,6796
	10			5,189	83998,5111	241321,4950	34,8077
	11			4,651	83932,2254	240957,3634	34,8328
	12			4,217	83907,7435	240358,0864	34,9095
4	3	35,00	24,51	26,615	84000,4062	282999,3627	29,6822
	4			15,194	83998,2263	252668,7561	33,2444
	5			10,920	83987,7437	248501,1712	33,7977
	6			8,567	83970,1820	244811,2017	34,3000
	7			7,068	84001,6228	244111,3395	34,4112
	8			6,018	83981,7939	242768,1255	34,5934
	9			5,245	84002,4878	242576,7029	34,6292
	10			4,640	83914,9382	241670,1922	34,7229
	11			4,170	83956,5135	241688,6142	34,7375
	12			3,788	83993,4925	241430,8580	34,7899
5	3	36,00	25,21	22,069	83999,5904	267930,9752	31,3512
	4			13,285	83999,9587	250636,4938	33,5147
	5			9,655	84000,4741	248157,7046	33,8496
	6			7,611	84000,2983	245581,6723	34,2046
	7			6,292	83997,0921	245128,4220	34,2666
	8			5,366	83998,7858	244170,3642	34,4017
	9			4,670	83931,5912	243767,3286	34,4310
	10			4,149	83997,5829	243523,8205	34,4926
	11			3,729	84002,9375	243524,7621	34,4946
	12			3,385	83995,4070	243216,1138	34,5353
6	3	37,00	25,91	18,729	84000,0363	261514,7283	32,1206
	4			11,624	83987,5002	250756,4452	33,4937
	5			8,512	83980,3473	249233,2866	33,6955
	6			6,735	83980,1382	247441,5883	33,9394
	7			5,580	84002,8439	247220,2571	33,9789
	8			4,755	83916,6204	246298,0502	34,0712
	9			4,156	83986,9178	246400,2432	34,0856
	10			3,689	83995,9575	246094,5527	34,1316
	11			3,314	83995,4314	246019,3632	34,1418
	12			3,010	83995,6419	245820,1499	34,1696

Çizelge 3.4 84000 m³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri (devam ediyor)

Seçenek	Örtüşen koni adedi	Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açışal mesafe (°)	Yaysal koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
7	3	38,00	26,61	16,030	83999,5968	259428,8597	32,3787
	4			10,155	84002,3783	252526,2930	33,2648
	5			7,480	84002,8610	251620,5949	33,3847
	6			5,935	83999,5433	250372,0470	33,5499
	7			4,915	83941,7788	250066,8500	33,5677
	8			4,205	83981,0246	249686,8279	33,6345
	9			3,674	84004,9992	249713,4168	33,6406
	10			3,258	83998,0398	249352,5244	33,6865
	11			2,933	84006,1538	249490,1147	33,6711
	12			2,664	84010,3847	249323,3873	33,6953
8	2	39,00	27,30	37,119	84000,9391	281396,7351	29,8514
	3			13,737	83999,9824	259989,1293	32,3090
	4			8,826	84002,0342	255477,9930	32,8803
	5			6,533	83998,5851	255001,5709	32,9404
	6			5,183	83998,0009	253924,3995	33,0799
	7			4,311	83988,0565	254018,9809	33,0637
	8			3,688	84001,8716	253694,8657	33,1114
	9			3,220	83997,6042	253627,8165	33,1185
	10			2,862	83997,1424	253536,5562	33,1302
	11			2,574	84002,4931	253554,3482	33,1300
12	2,340	83993,6868	253498,3441	33,1338			
9	2	40,00	28,01	27,772	84000,3667	270668,6409	31,0344
	3			11,734	83999,8006	262418,8324	32,0098
	4			7,612	83991,0788	259418,4522	32,3767
	5			5,656	83999,6124	259211,8055	32,4058
	6			4,502	83998,0838	258572,3803	32,4853
	7			3,743	84000,1449	258583,2592	32,4848
	8			3,202	84001,8426	258311,5637	32,5196
	9			2,800	83999,7806	258363,7104	32,5122
	10			2,488	83998,6065	258270,4078	32,5235
	11			2,239	84005,1002	258325,9037	32,5190
12	2,031	83995,7280	258098,2996	32,5441			
10	2	41,00	28,71	22,126	83999,5289	269829,0375	31,1306
	3			9,924	83952,5341	266070,0256	31,5528
	4			6,501	84002,5408	264290,5596	31,7842
	5			4,840	83997,9197	264169,0022	31,7970
	6			3,859	83997,4291	263763,4792	31,8457
	7			3,210	83997,2232	263780,4393	31,8436
	8			2,749	84001,5946	263636,8879	31,8626
	9			2,405	84006,3791	263702,7713	31,8565
	10			2,136	84001,3805	263593,6430	31,8678
	11			1,919	84006,2000	263508,3004	31,8799
12	1,741	83982,0107	263325,9482	31,8928			
11	2	42,00	29,41	17,821	83999,5554	272555,7036	30,8192
	3			8,306	84000,4103	271021,3006	30,9940
	4			5,456	83953,5624	269737,8739	31,1241
	5			4,078	83998,3141	269819,8901	31,1313
	6			3,256	84001,0971	269583,5941	31,1596
	7			2,709	83997,5550	269588,3825	31,1577
	8			2,323	84001,5448	269560,7734	31,1624
	9			2,027	84005,1923	269436,7529	31,1781
	10			1,798	84001,6057	269267,2337	31,1964
	11			1,623	83995,1434	269492,1040	31,1679
12	1,476	84001,5543	269493,7347	31,1701			

Çizelge 3.4 84000 m³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri (devam ediyor)

Seçenek	Örtüşen koni adedi	Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açılmal mesafe (°)	Yaysal koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
12	2	43,00	30,11	14,241	84000,1037	277250,3080	30,2976
	3			6,808	83999,0025	276782,4941	30,3484
	4			4,496	83988,6810	276046,3477	30,4256
	5			3,363	84004,0193	276106,9428	30,4245
	6			2,687	84002,7888	275962,3845	30,4399
	7			2,238	84004,1899	276007,9613	30,4354
	8			1,907	84004,9347	275645,2883	30,4757
	9			1,676	84004,6958	275925,9001	30,4447
	10			1,491	84001,5517	275948,0508	30,4411
	11			1,342	83995,0854	275974,9684	30,4358
	12			1,221	84005,8508	276005,0861	30,4363
	13			2	44,00	30,81	11,113
3		5,414	83999,1515	283288,5576			29,6514
4		3,587	83998,4763	282870,7242			29,6950
5		2,689	84004,5688	282982,8320			29,6854
6		2,143	83995,9028	282760,8703			29,7056
7		1,786	84004,0054	282813,2300			29,7030
8		1,535	84006,5576	282911,8303			29,6935
9		1,343	83999,8915	282932,0305			29,6891
10		1,194	83993,3415	282925,5668			29,6874
11		1,070	83994,4037	282745,4560			29,7067
12		0,969	84008,8135	282561,9192			29,7311
14		2	45,00	31,51			8,352
	3	4,111			84000,3978	290490,7848	28,9167
	4	2,734			83999,0080	290325,2013	28,9327
	5	2,042			83999,3815	290254,0360	28,9400
	6	1,633			84001,4294	290213,5389	28,9447
	7	1,365			83995,9510	290350,5681	28,9291
	8	1,165			83994,8798	290183,3737	28,9454
	9	1,012			83998,1991	289939,1189	28,9710
	10	0,907			84004,6084	290223,6709	28,9448
	11	0,817			84012,2049	290262,8857	28,9435
	12	0,743			84006,4877	290270,2452	28,9408
	15	2			46,00	32,21	5,810
3		2,884	84001,2591	298316,5249			28,1584
4		1,915	83998,8692	298059,1194			28,1819
5		1,440	83996,3308	298280,5458			28,1602
6		1,146	84002,4418	298130,4260			28,1764
7		0,955	83997,1897	298144,3449			28,1733
8		0,821	84000,8582	298214,2491			28,1680
9		0,722	84005,7783	298352,5043			28,1566
10		0,643	83999,6027	297914,0734			28,1959
11		0,572	83990,7917	298205,0810			28,1654
12		0,515	83997,4204	298436,8487			28,1458
16		2	47,00	32,91			3,450
	3	1,716			84001,1640	307028,6129	27,3594
	4	1,143			84002,3703	307014,3272	27,3611
	5	0,856			83994,3968	306989,7679	27,3607
	6	0,687			83994,4157	307043,5347	27,3559
	7	0,571			83995,7220	306999,4057	27,3602
	8	0,487			84009,7973	306916,7431	27,3722
	9	0,428			83994,0463	306989,7679	27,3605
	10	0,383			84007,3098	307101,9668	27,3549
	11	0,345			83993,0435	307116,5627	27,3489
	12	0,307			83993,7218	306760,7526	27,3809



Şekil 3.3 60000 m³ yerinde blok için 30 m – 47 m yarıçaplı konilerden oluşturulan yaysal konilerin hacim kullanım oranı

3.2.3 Yerinde 125000 m³ pasa bloğu

Üçüncü deneme 50 m × 50 m × 50 m (boy, en, derinlik) boyutlarında ve yerinde 125000 m³ hacimli (%40 kabarma yüzdesi ile 175000 m³ kabarmış halde) büyük boyutlu bir pasa bloğunun yaysal küme halinde dökülmesidir. Çizelge 3.5'de verildiği üzere blok, tekil küme olarak döküldüğünde 62,03 m yarıçapında ve 43,43 m yüksekliğinde bir koni haline gelmektedir. Bölüm 2.3.1'de bahsedilen yöntem uyarınca yaysal kümeler, taban yarıçapı 60 m, 58 m, 56 m, 54 m, 52 m, 50 m, 48 m, 46 m, 44 m, 42 m, 40 m ve 38 m olan konilerin birleşim kümelerinden oluşturulmuştur. Çizelge 3.6'da ise yaysal koni geometrisi seçenekleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.5 125000 m³ hacme sahip tekil koni örneği

Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açıl mesafe (°)	Tekil koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
62,03	43,43	-	175000	668472,00	26,18

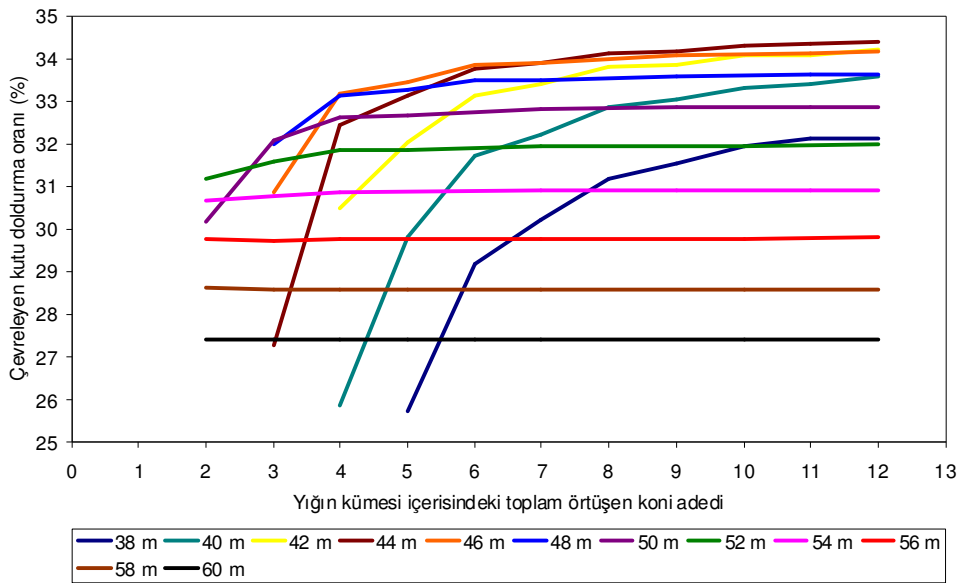
Yerinde 125000 m³ pasa bloğu için hacim kullanım oranı Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Bu durumda da önceki örnekler ile aynı sonuçlara varılmaktadır.

Çizelge 3.6 175000 m³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri

Seçenek	Örtüşen koni adedi	Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açılmal mesafe (°)	Yaysal koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
1	5	38,00	26,61	29,029	175001,3700	680065,5912	25,7330
	6			20,807	175003,8500	599547,2490	29,1893
	7			16,539	174997,9100	579262,8452	30,2104
	8			13,809	174999,1300	561088,0821	31,1892
	9			11,884	174996,6300	555272,3069	31,5155
	10			10,446	175004,5500	547445,2575	31,9675
	11			9,326	175007,2500	545049,8466	32,1085
	12			8,427	174996,9800	545049,8466	32,1066
2	4	40,00	28,01	36,016	175000,3300	675931,6564	25,8902
	5			22,459	174999,9700	587263,0491	29,7992
	6			16,953	175003,1500	552051,5549	31,7005
	7			13,725	174997,9100	543051,1128	32,2249
	8			11,568	174999,3900	532827,7765	32,8435
	9			10,012	175001,9800	530082,0626	33,0141
	10			8,830	174997,1300	525216,0254	33,3191
	11			7,905	174996,6000	524196,1701	33,3838
	12			7,158	174996,8200	521509,8094	33,5558
3	4	42,00	29,41	26,462	175000,5900	573910,6045	30,4927
	5			18,180	175003,5500	546426,8889	32,0269
	6			14,037	174996,3200	528136,8217	33,1347
	7			11,483	174998,6000	524075,1889	33,3919
	8			9,727	175000,0900	517799,1302	33,7969
	9			8,453	175004,1400	516753,3459	33,8661
	10			7,475	174999,2500	513751,1731	34,0630
	11			6,703	174996,9400	513304,5469	34,0922
	12			6,075	175007,6800	511567,1453	34,2101
4	3	44,00	30,81	38,902	175000,2400	641159,3659	27,2943
	4			20,971	175001,8100	539410,7088	32,4431
	5			14,939	174998,7300	528302,8904	33,1247
	6			11,678	175003,8600	518028,8153	33,7826
	7			9,613	174998,2100	516122,9580	33,9063
	8			8,180	175000,8300	512551,7154	34,1431
	9			7,120	175000,6800	511966,9170	34,1820
	10			6,305	175005,0900	510026,9653	34,3129
	11			5,657	175010,5800	509725,6928	34,3343
	12			5,139	175012,3800	508973,1894	34,3854
5	3	46,00	32,21	28,218	175002,0100	566895,9356	30,8702
	4			16,954	175002,5700	527797,8915	33,1571
	5			12,315	175003,1000	523091,4694	33,4555
	6			9,706	175005,3500	517232,3866	33,8350
	7			8,019	174996,5500	516326,1067	33,8926
	9			5,956	174997,2300	513552,9675	34,0758
	11			4,754	175007,7100	512950,3441	34,1179
	12			4,316	175006,9500	512281,2780	34,1623
6	3	48,00	33,61	21,887	174999,1900	547086,0826	31,9875
	4			13,742	175002,7400	528125,5994	33,1366
	5			10,096	175002,5900	526222,0097	33,2564
	6			8,000	174996,1300	522830,7338	33,4709
	7			6,621	174994,3600	522265,3060	33,5068
	9			4,945	174996,0800	521243,7233	33,5728
	11			3,943	174996,9800	520426,4223	33,6257
	12			3,584	174998,3500	520220,2720	33,6393
7	2	50,00	35,01	45,417	174999,4600	579835,6200	30,1809
	3			17,168	175000,8800	545707,2488	32,0686
	4			11,039	174997,1600	536006,6570	32,6483
	5			8,175	175002,2100	535465,2904	32,6823
	7			5,395	175005,7100	533365,8177	32,8116
	9			4,031	174994,6000	532632,1551	32,8547
	11			3,221	174990,1900	532415,0791	32,8672
	12			2,929	175013,3000	532332,8547	32,8767

Çizelge 3.6 175000 m³ hacme (kabarmış) sahip yaysal koni örnekleri (devam ediyor)

Seçenek	Örtüşen koni adedi	Koni taban yarıçapı (m)	Koni yüksekliği (m)	Koni tepeleri arası açışal mesafe (°)	Yaysal koni hacmi (m ³)	Çevreleyen kutu hacmi (m ³)	Hacim kullanım oranı (%)
8	2	52,00	36,41	30,225	175001,8300	561634,4448	31,1594
	3			13,336	175002,1700	554264,1069	31,5738
	4			8,701	175001,2700	549379,7126	31,8543
	5			6,473	175003,5000	549179,7780	31,8663
	7			4,287	174999,1200	548097,1777	31,9285
	10			2,856	174994,0600	547864,9838	31,9411
	12			2,323	175009,1900	546911,9885	31,9995
9	2	54,00	37,81	21,453	174999,5400	570217,1472	30,6900
	3			10,059	174999,6600	569115,6285	30,7494
	4			6,626	175001,3200	566744,9642	30,8783
	7			3,290	175005,5000	566541,8791	30,8901
	9			2,458	175007,4300	565994,3374	30,9203
	11			1,965	174991,8800	565911,7225	30,9221
	12			1,788	174985,0200	566025,1374	30,9147
10	2	56,00	39,21	14,794	175000,1900	587936,6976	29,7651
	3			7,182	174997,4200	588714,7887	29,7253
	4			4,754	175004,2600	587590,4341	29,7834
	7			2,364	175001,4500	587373,5244	29,7939
	10			1,583	174997,4200	587815,2250	29,7708
	12			1,282	174999,5500	586739,2948	29,8258
	11			2	58,00	40,61	9,288
3		4,592	175000,1400	612029,956			28,593
4		3,058	175004,1300	611777,629			28,606
5		2,288	175001,6800	611746,652			28,607
7		1,525	174996,9000	611746,652			28,606
10		1,017	175013,6100	611746,652			28,609
12		0,836	175011,6200	612029,956			28,595
12	2	60,00	42,01	4,469	175000,5100	638316,744	27,416
	3			2,227	175002,4100	638535,028	27,407
	4			1,479	175003,8700	638700,035	27,400
	5			1,106	175006,6000	638333,279	27,416
	6			0,888	175003,1100	638434,154	27,411
	7			0,740	175007,2300	638434,154	27,412
	10			0,495	175023,3300	638535,028	27,410
	12			0,407	174996,5500	638736,777	27,397



Şekil 3.4 125000 m³ yerinde blok için 38 m – 60 m yarıçaplı konilerden oluşturulan yaysal konilerin hacim kullanım oranı

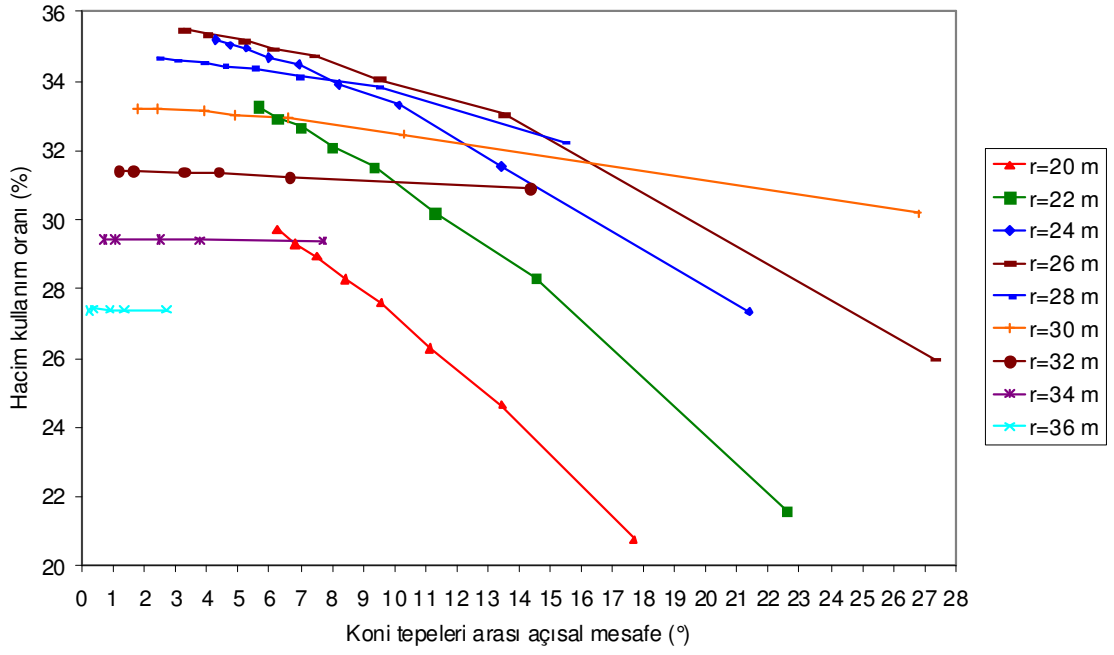
3.2.4 Yaysal yığın kümesi oluşturma hassasiyeti ve tartışma

Çizelgeler 3.2, 3.4 ve 3.6 incelendiğinde yaysal yığın kümelerini oluşturan konilerin tepeleri arasındaki açısal mesafelerin farklı olduğu görülecektir. Belirli hacme sahip bir yaysal küme, değişik sayılarda konilerin birleşim kümesi olarak elde edilebildiğinden, koni tepeleri arası açısal mesafeler de değişmektedir. Yukarıdaki çizelgelerden de izlenebileceği gibi koni sayısı arttıkça açısal mesafe azalmaktadır ve bir yaysal yığın kümesini oluşturacak farklı koni adedi ve tepeler arası açığına bağlı olarak çok sayıda geometri seçeneği bulunmaktadır. Ancak çekme-kepçe örtükazı operasyonlarının bilgisayar destekli çizim paketi aracılığıyla benzetim işlemi yapılırken, yerinde bir örtü bloğu yalnızca bir adet yaysal kümeye dönüştürüleceğinden beliren problem, yaysal kümeyi oluşturan koni tepeleri arasındaki açısal mesafenin hangi ölçüte göre belirleneceğidir. Bu problemi çözmek için hacim kullanım oranı kavramından yararlanılmıştır. Örtükazı operasyonlarındaki amaç döküm yapılan bölgenin en yüksek verimle kullanılması, diğer bir deyişle, kömürü alınan boş dilime mümkün olan en büyük hacimdeki pasanın dökülmesi olduğundan izlenecek parametre hacim kullanım oranı olacaktır.

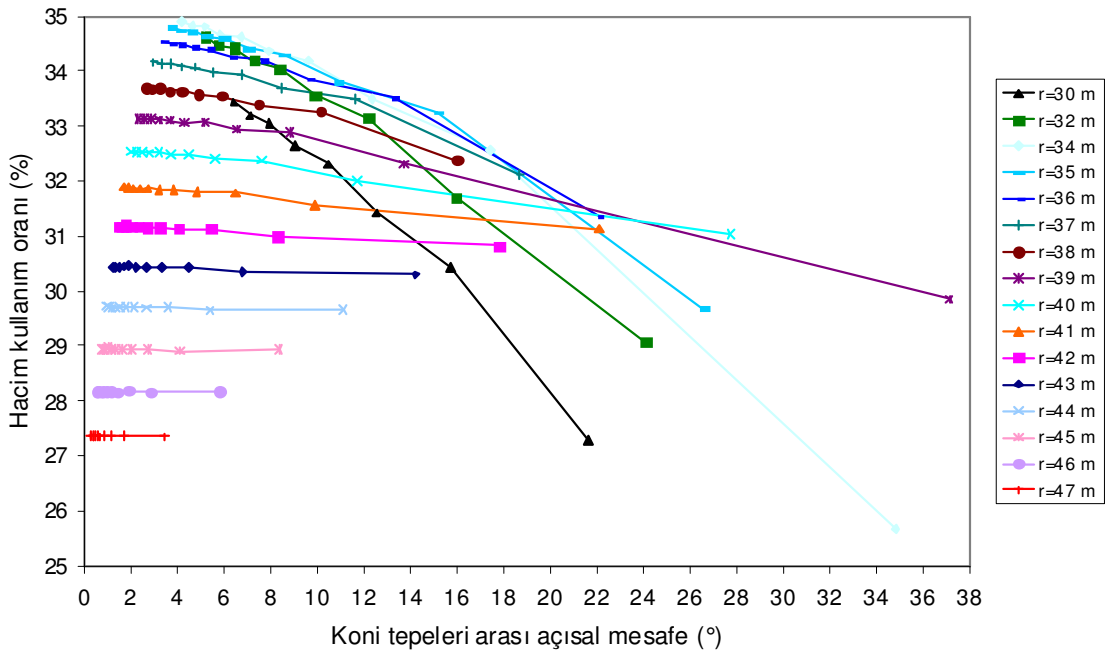
Şekiller 3.5, 3.6 ve 3.7'de 27000 m³, 60000 m³ ve 125000 m³ yerinde malzeme bloğu için koni tepeleri arası açısal mesafe ile hacim kullanım oranı ilişkisi sergilenmektedir. Her üç grafikten de izlenebilen şu sonuçları çıkartmak mümkündür:

- a. Hacim kullanım oranı, yaysal kümeleri oluşturan konilerin taban yarıçapı ile negatif ilişkilidir. Hacim kullanım oranı yaysal kümeyi oluşturan konilerin taban yarıçapı azaldıkça artmakta ve tekil küme taban yarıçapının yaklaşık %70'inde en büyük değerini almaktadır. Ancak bu eşik değerinden daha küçük yarıçapları hacim kullanım verimini azaltmaktadır.
- b. Hacim kullanım oranı, yaysal kümeleri oluşturan koni tepeleri arasındaki açısal mesafe ile negatif ilişkilidir. Büyük yarıçaplı konilerden oluşan yaysal kümelerde daha belirgin olmak üzere hacim kullanım oranı, yaysal kümeyi oluşturan koni tepeleri arasındaki açısal mesafe azaldıkça, artmaktadır. Bu durum taban yarıçapı tekil küme taban yarıçapının yaklaşık %70'inden büyük konilerden oluşturulan yaysal yığın kümelerinde daha belirgindir.
- c. Az sayıda koninin birleşim kümesi oluşturularak elde edilen yaysal yığın kümelerinde, koni tepeleri arası açısal mesafe büyüktür. Küme içerisindeki koni sayısı artırıldıkça, açısal mesafe daha büyük bir oranla azalmaktadır. Bu da hacim kullanım oranının hızla yükseldiğine işaret etmektedir. Ancak küme içerisindeki koni sayısının, tepeler arası açısal mesafenin ~10°'ye kadar azaldığı durumda hacim kullanım oranı artış oranı yavaşlamaktadır. Bu durum taban yarıçapı tekil küme taban yarıçapının yaklaşık %70'inden küçük konilerden oluşturulan yaysal yığın kümelerinde oldukça bariz olarak gözlemlenmektedir. Diğer kümelerde ise hacim kullanım oranı, koni tepeleri arası açısal mesafeden bağımsız görünmektedir.
- d. Bu bilgiler ışığında Şekiller 3.5, 3.6 ve 3.7 tekrar incelendiğinde; tüm küçük, orta ve büyük yığın kümesi döküm durumlarını kapsayacak şekilde aşağıdaki sonuca

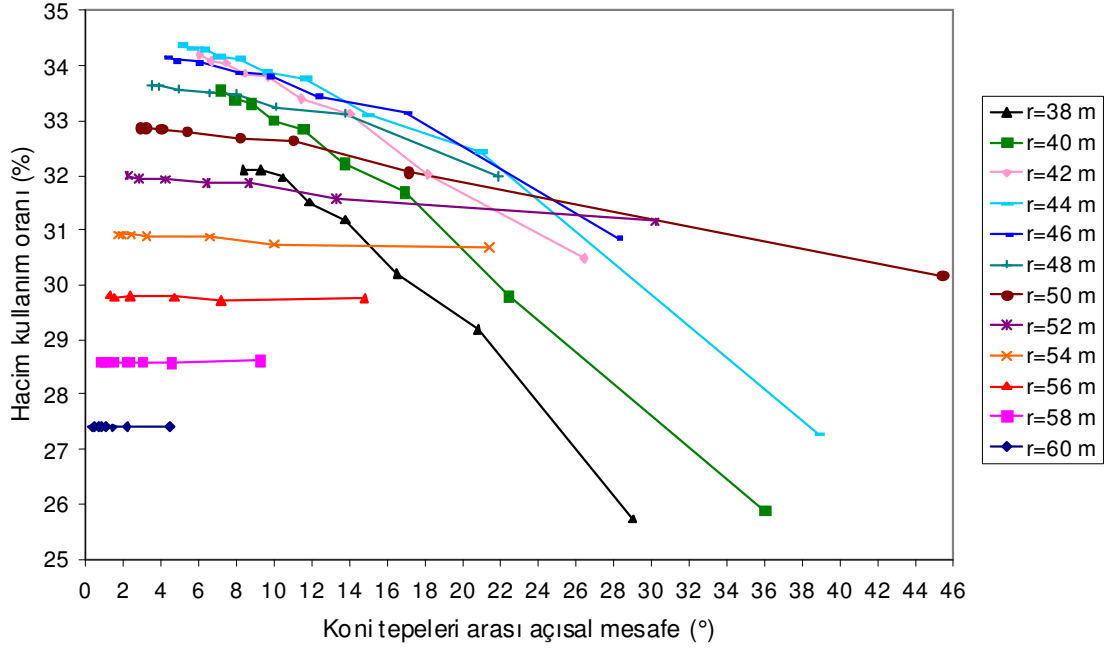
varılmıştır: Hacim kullanım oranı, koni tepeleri arasındaki açısal mesafe $\sim 4^\circ$ 'ye kadar düşürüldüğünde, artma eğilimindedir. Ancak bu değerden daha küçük açısal mesafelerde sabitlenmektedir. Dolayısıyla, verilen bir durum için oluşturulabilecek çok sayıda yaysal yığın kümesi seçeneği, tepeleri arasında 4° açısal mesafe olan belirli sayıdaki koninin birleşim kümesi oluşturularak çözümlenebilir. Ancak tasarım çalışmalarında da emniyetli olmak amacıyla bu değer, bundan sonra yapılan çalışmalarda 1° olarak belirlenmiştir. Böylece verilen herhangi bir durumda hacim kullanım oranı daha büyük, dolayısıyla daha verimli bir seçenek olmayacaktır.



Şekil 3.5 27000 m³ yerinde blok için koni tepeleri arası açısal mesafe-hacim kullanım oranı



Şekil 3.6 60000 m³ yerinde blok için koni tepeleri arası açısal mesafe-hacim kullanım oranı



Şekil 3.7 125000 m³ yerinde blok için koni tepeleri arası açısal mesafe-hacim kullanım oranı

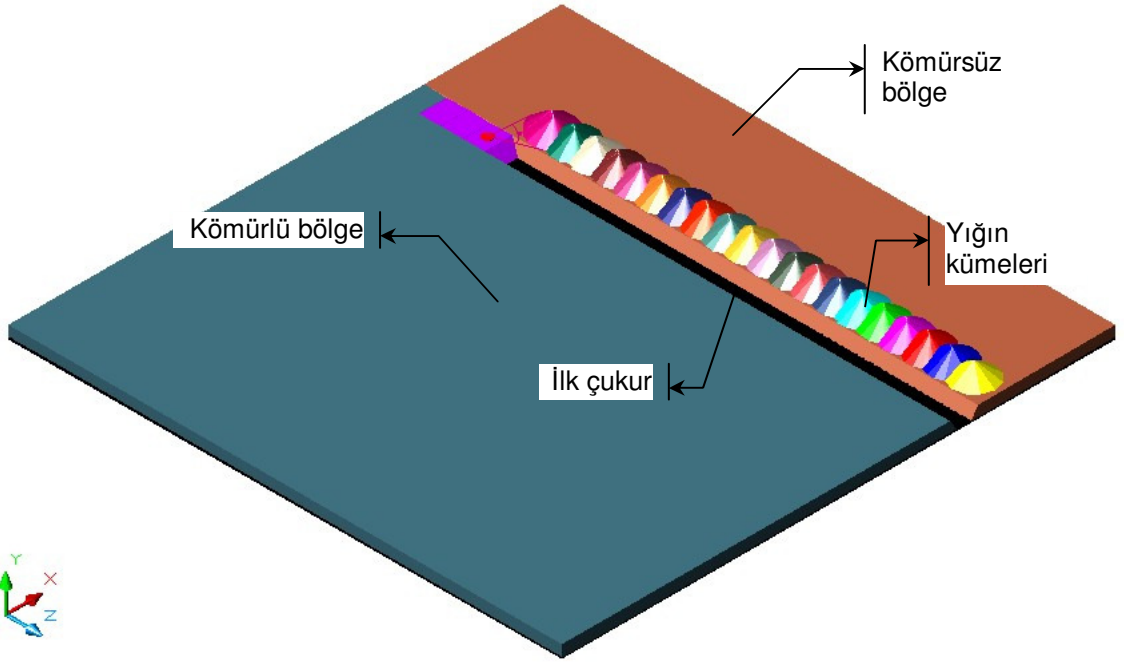
3.3 Başlangıç Çukuru Benzetimi

3.3.1 Giriş

Çekme-kepçe örtükazı operasyonlarında özel bir öneme sahip olan başlangıç çukuru açılması işlemi genellikle örtünün görece ince olduğu bölgelerden ya da kömür mostrası takip edilerek yapılmaktadır. Mostra doğrultusu boyunca, topografik koşulların elverdiği ölçüde olabildiğince düz ve uzun tutulan dilimler, çekme-kepçenin bir oturma konumundan kendisine bırakılan örtüyü (ve bazı durumlarda da kömürü) kazabileceği erim göz önünde bulundurularak setler halinde bölümlendirilmektedir. Böylece, yapılan örtükazı tasarımına göre bir dilimdeki örtü malzemesi, çekme-kepçe tarafından, başlangıçtaki ilk setten bitişteki son sete doğru kazılarak yanda ve kazı başlangıç hattı dışında bulunan zemine dökülmektedir (Şekil 3.8).

Bu bölümde sonuçları sunulan çalışmaların amacı aşağıda verilmiştir:

- Başlangıç çukuru kazısı için en uygun blok geometrisinin belirlenmesi. Geniş bir ilk çukur sonraki dilimlerden kazılan pasanın dökümü için avantajlı olacaktır ancak sabit erime sahip çekme-kepçeler için ilk çukur kazısı mükerrer kazıya yol açmamalıdır.
- Kazı sonrasında çekme-kepçe tarafından harman tarafına dökülen pasa kümelerinin hacim kullanım oranlarının belirlenmesi. Burada, önceki bölümde malzeme bloklarının herhangi bir düzlem tarafından kısıtlanmadığı (serbest) durumda uygulanan yöntem takip edilerek, farklı taban yarıçaplarının, oluşturulan yaysal yığın kümelerinin hacimsel kullanım oranı üzerindeki etkisi incelenecektir.



Şekil 3.8 Kazılarak açılmış bir boxcut ve yığın kümeleri (Kuzeydoğudan izometrik bakış ile)

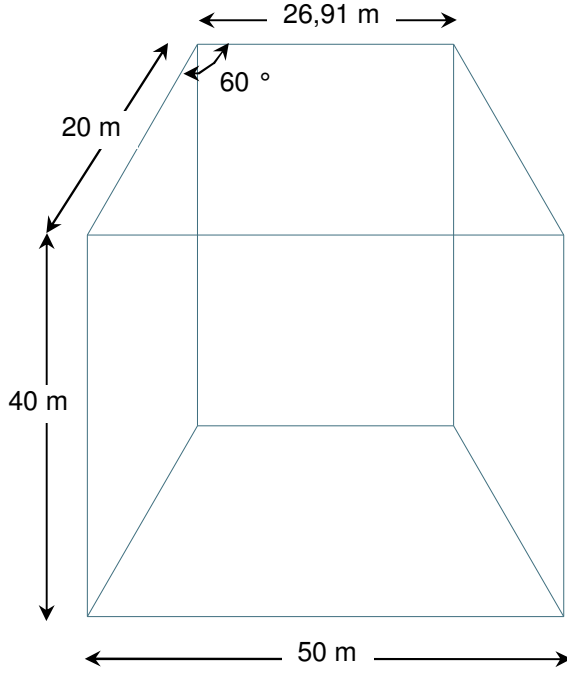
3.3.2 İlk çukur ve çekme-kepçe geometrisi

İlk çukur dilimini oluşturan setlerin geometrisi, ortalama boyutlu bir çekme-kepçe kullanılacağı varsayımı ile aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Şekil 3.9):

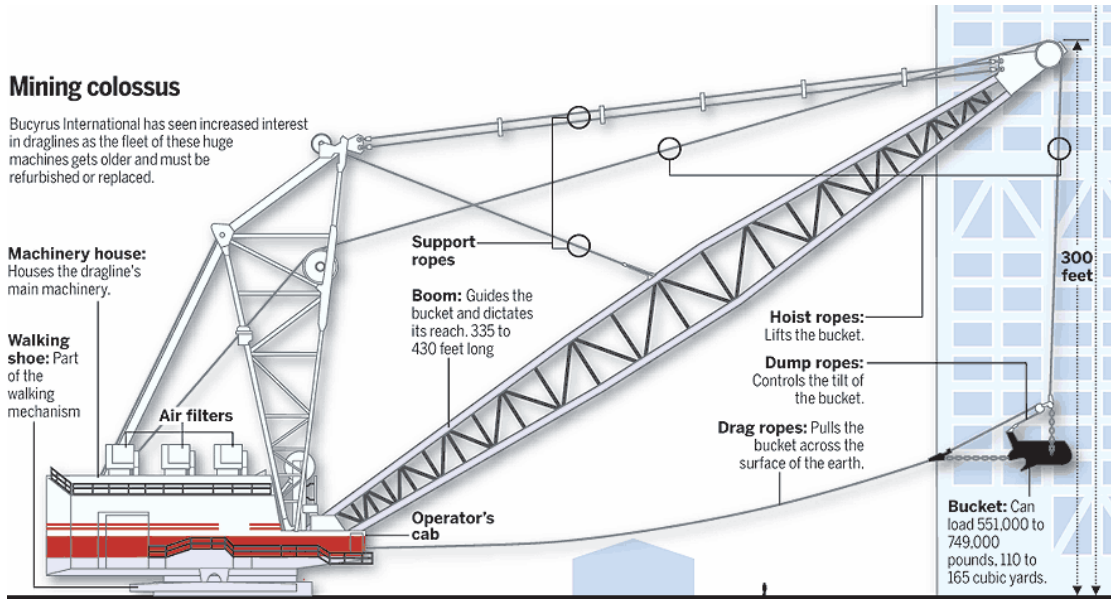
- Dilim genişliği, $W_{üst}$: 50 m
- Dilim taban genişliği, W_{al} : 26,91 m
- Set boyu, L_{set} : 40 m
- Dilim kalınlığı, H_o : 20 m
- Dilim şev açısı, Φ_{ovb} : 60 °
- Kabarma yüzdesi, δ : %40
- Blok yerinde hacmi, V_y : 30764 m³
- Blok kabarmış hacmi, V_k : 43069,60 m³

İlk çukur kazı modelleme işleminde orta büyüklükte bir çekme-kepçeye ait aşağıda verilen boyut verisi kullanılmıştır (Şekil 3.10). Böylece çekme-kepçe ilk çukur üzerindeki herhangi bir sette oturma konumunda iken, önündeki set tamamen kazı zarfı içerisinde kalmaktadır (Şekil 3.11).

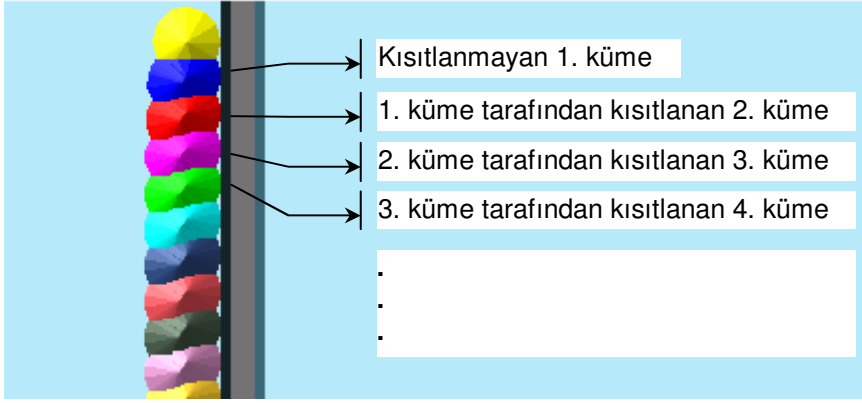
- Çalışma yarıçapı, R_o : 85 m
- Dökme yüksekliği, H_{dump} : 43 m
- Kazı derinliği, H_{dig} : 49 m
- Tabla yarıçapı, Φ_{tub} : 10 m



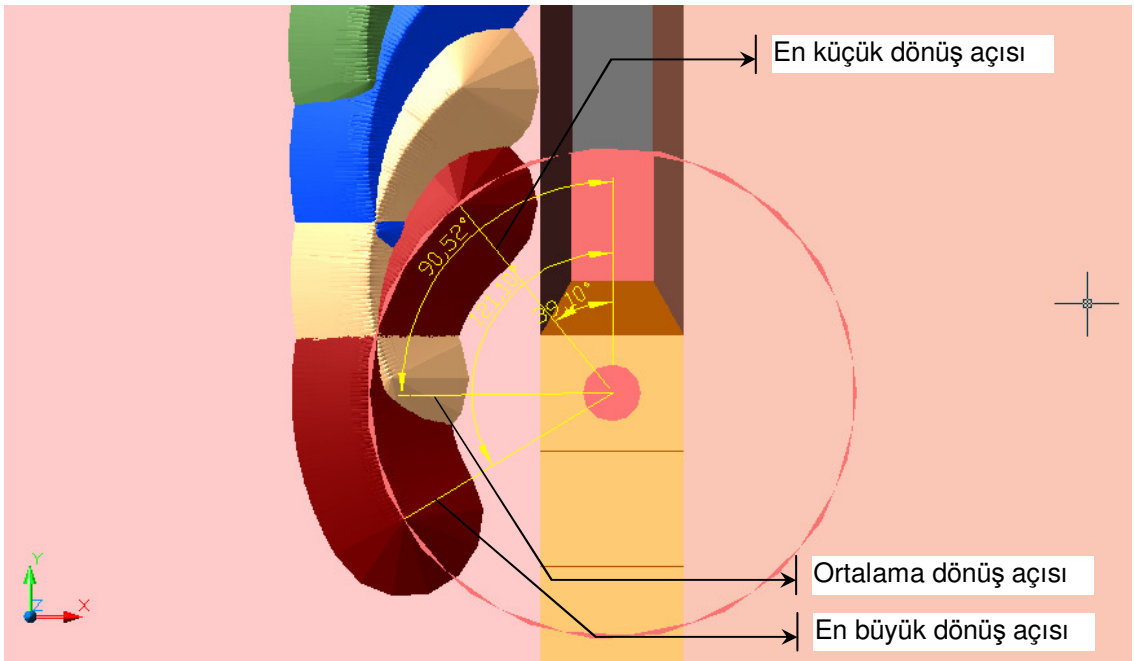
Şekil 3.9 Modelleme çalışmasında kullanılan ilk çukur seti (yukarıdan bakış)



Şekil 3.10 Modelleme çalışmasında kullanılan çekme-kepçenin tipik görüntüsü
<http://www.jsonline.com/story/index.aspx?id=591024> (son erişim tarihi: 03.06.2009)



Şekil 3.12 Yığın yüzeylerinin kısıtlanması



Şekil 3.13 Çekme-kepçe dönüş açıları

İlk çukur dilimi kazısı ve dökümünde 'tutarlılığın' saptanması için dilimin 20 setten oluşması ve kazı ve döküm modellemesinin 20 set boyunca sürdürülmesi planlanmıştır. Aşağıdaki paragraflarda farklı taban yarıçaplı konilerin birleşim kümelerinden oluşturulan yaysal ilk çukur kümelerinin modelleme, geometrik tutarlılık ve hacim kullanım oranı belirleme çalışmalarının sonuçları bulunmaktadır.

3.3.4 Dönüş açıları

İlk modelleme çalışması $r_k = 27,22$ m taban yarıçaplı konilerin birleşiminden oluşturulan ilk çukur dilimleri üzerinde yapılmıştır. Tasarım sonuçları Çizelge 3.7'de verilmektedir. Geometrik tutarlılık göstergeleri olan dönüş açıları incelendiğinde, en büyük ve buna bağlı olarak ortalama dönüş açılarının ilk setten itibaren sürekli arttığı, diğer bir deyişle yaysal kümelerin daha büyük açısal mesafeler kapladığı görülecektir. Sonuçta 12. set kümesi, ilk çukur dilimi üzerine gelecek şekilde yığılmış ve modelleme burada sonlandırılmıştır (Şekil 3.14). Devam edilmesi

Çizelge 3.7 27,22 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	0,996	38	43067,24	43067,24	#YOK	37,96	74,82	56,39	38100	20076,78	52,695
2	1,000	51	52963,41	43111,14	9831,98	38,45	88,45	67,55	38100	20417,41	53,589
3	1,000	61	60774,09	43174,17	17577,37	38,23	98,23	74,34	38100	20064,17	52,662
4	1,000	69	66676,21	43196,47	23427,81	38,53	106,53	79,75	38100	20270,89	53,204
5	1,000	77	72564,98	43048,42	29449,20	38,45	114,45	85,29	38100	20064,76	52,663
6	1,000	83	76934,26	43220,20	33620,31	39,10	121,10	90,52	38100	20393,14	53,525
7	1,000	88	81239,46	42735,96	38435,39	38,77	125,77	95,61	38100	20323,88	53,344
8	1,000	93	84965,79	42910,84	41964,80	38,35	130,35	99,61	38100	20052,45	52,631
9	1,000	96	86546,75	43125,49	43292,72	39,32	134,32	103,61	38100	21178,87	55,588
10	1,000	98	88743,40	43508,84	45112,95	38,46	135,46	105,86	38100	20821,92	54,651
11	1,000	101	91141,94	42753,66	48284,03	38,99	138,99	112,16	38100	20734,51	54,421
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.8 29 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	1,007	30	43073,58	43073,58	#YOK	40,03	69,24	54,63	40612	21685,96	53,398
2	0,990	42	52995,57	43053,49	9940,63	40,05	80,64	64,36	40612	21435,39	52,781
3	0,990	49	59030,85	43095,36	15927,14	39,92	87,44	69,00	40612	21077,85	51,901
4	1,004	53	62939,33	43032,20	19940,93	40,47	92,68	72,71	40612	21270,17	52,374
5	0,998	58	66991,00	43077,05	23907,47	40,23	97,12	75,60	40612	21270,17	52,374
6	0,996	62	70182,70	43062,69	27098,94	40,61	101,37	78,67	40612	21084,24	51,916
7	1,010	66	74628,00	43107,90	31523,53	39,91	105,56	81,49	40612	21602,05	53,191
8	1,000	70	77352,00	43100,69	34228,44	40,43	109,43	84,12	40612	21148,74	52,075
9	0,994	74	80892,28	43064,68	37808,08	39,68	112,24	86,09	40612	21148,74	52,075
10	1,000	76	82441,00	43070,95	39332,90	40,17	115,17	88,25	40612	21709,71	53,456
11	1,003	78	84264,83	43011,33	41236,01	40,71	117,94	91,39	40612	21137,06	52,046
12	1,003	81	86953,03	43017,57	43919,50	40,15	120,39	93,74	40612	21170,46	52,129
13	0,998	84	89358,38	43101,90	46239,54	40,21	123,04	96,66	40612	21507,95	52,960
14	0,996	86	91081,28	43113,68	47926,38	40,32	124,98	98,48	40612	21479,63	52,890
15	0,991	88	92191,58	43076,11	49098,00	40,62	126,83	100,48	40612	21322,83	52,504
16	0,992	89	93562,23	43057,38	50477,11	40,03	127,32	101,46	40612	21186,96	52,169
17	0,997	90	95140,40	43085,44	52043,69	39,86	128,59	103,58	40612	21862,39	53,832
18	0,999	92	96361,52	43062,28	53273,30	40,57	131,48	107,24	40612	21945,02	54,036
19	0,993	93	96668,40	43025,01	53596,87	39,93	131,29	106,15	40612	21537,82	53,033
20	0,998	93	97302,41	43101,39	54174,68	40,09	131,91	107,78	40612	#YOK	0,000

Çizelge 3.9 31 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	1,012	22	43060,62	43060,62	#YOK	41,24	62,24	51,86	43412	22421,24	51,648
2	1,000	31	51496,30	42733,05	8785,22	42,08	72,08	60,47	43412	23039,75	53,072
3	1,000	37	57361,00	43382,83	13997,87	41,84	77,84	64,51	43412	22920,15	52,797
4	1,000	40	60324,00	42794,83	17542,63	42,24	81,24	67,12	43412	22839,41	52,611
5	1,000	43	63428,00	43324,45	20120,96	42,32	84,32	69,31	43412	22835,05	52,601
6	1,000	45	65184,00	43405,77	21807,46	42,04	86,04	70,00	43412	23184,35	53,405
7	1,000	46	66292,23	42560,83	23758,41	41,90	86,90	70,77	43412	23225,75	53,501
8	1,000	47	67465,00	42806,59	24685,92	41,67	87,67	71,17	43412	22756,35	52,419
9	1,000	47	67237,00	42827,31	24430,10	42,17	88,17	71,47	43412	23137,91	53,298
10	1,000	48	68289,00	42884,86	25414,11	41,81	88,81	71,93	43412	23045,55	53,086
11	1,000	48	68048,00	42745,34	25319,76	41,91	88,91	71,79	43412	23599,06	54,361
12	1,000	49	69529,00	42621,41	26923,37	41,39	89,39	72,39	43412	22751,21	52,408
13	1,000	48	68086,00	42650,37	25455,71	42,10	89,10	71,82	43412	23153,07	53,333
14	1,000	49	69308,00	42929,12	26392,22	42,02	90,02	73,05	43412	23092,91	53,195
15	1,000	50	70437,00	43269,13	27162,66	41,79	90,79	73,29	43412	22926,01	52,810
16	1,000	50	70331,00	42969,82	27373,46	41,88	90,88	73,17	43412	22910,71	52,775
17	1,000	50	70003,00	43137,43	26896,17	42,02	91,02	73,19	43412	22788,39	52,493
18	1,000	50	70074,00	42635,00	27453,08	42,73	91,73	74,55	43412	23107,72	53,229
19	1,000	51	71111,00	42845,02	28292,65	41,94	91,94	74,10	43412	23238,92	53,531
20	1,000	51	71165,00	42628,32	28547,88	41,80	91,80	73,88	43412	17577,87	40,491

Çizelge 3.10 33 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	1,000	16	43092,25	43092,25	#YOK	43,94	58,94	51,44	46214	23957,13	51,840
2	1,000	25	53243,20	43635,16	9634,51	43,82	67,82	59,39	46214	24465,41	52,939
3	1,000	29	57684,00	43393,90	14322,26	43,94	71,94	62,50	46214	24834,28	53,738
4	1,000	32	61232,00	43634,85	17633,08	43,52	74,52	64,26	46214	24310,01	52,603
5	1,000	32	60901,00	42716,55	18218,65	43,92	74,92	64,42	46214	24766,89	53,592
6	1,000	33	62090,00	42837,15	19285,79	43,87	75,87	65,35	46214	24424,88	52,852
7	1,000	33	61996,00	42572,00	19457,47	44,34	76,34	65,79	46214	24896,16	53,871
8	1,000	34	63205,00	42747,33	20489,81	43,54	76,54	65,65	46214	24261,38	52,498
9	1,000	34	63028,00	43459,21	19594,53	44,79	77,79	66,92	46214	24926,75	53,938
10	1,000	36	65585,00	43540,98	22090,44	43,52	78,52	67,13	46214	24707,47	53,463
11	1,000	35	64330,00	42642,97	21716,38	43,61	77,61	66,19	46214	24707,47	53,463
12	1,000	35	64277,00	43277,63	21018,60	43,93	77,93	66,65	46214	24690,39	53,426
13	1,000	35	64298,00	42924,43	21401,00	43,94	77,94	66,74	46214	24697,42	53,441
14	1,000	35	64539,00	42532,00	22063,80	43,58	77,58	66,48	46214	24870,04	53,815
15	1,000	35	64304,00	43525,15	20805,12	43,62	77,62	66,11	46214	24580,78	53,189
16	1,000	35	64335,00	43180,48	21195,14	43,95	77,95	66,76	46214	24709,30	53,467
17	1,000	35	64365,00	42883,88	21525,65	43,80	77,80	66,56	46214	24690,58	53,427
18	1,000	35	64504,00	42862,19	21698,71	43,73	77,73	66,56	46214	24721,20	53,493
19	1,000	35	64336,00	43232,79	21131,37	43,40	77,40	65,90	46214	24721,40	53,493
20	1,000	35	64398,00	43243,47	21194,58	43,74	77,74	66,52	46214	24824,95	53,717

Çizelge 3.11 35 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	1,000	10	42782,97	42782,97	#YOK	45,09	54,09	49,59	49014	24804,97	50,608
2	1,000	17	51596,00	42656,38	8973,62	45,14	61,14	56,27	49014	25454,11	51,932
3	1,000	20	55336,00	42473,27	12909,74	45,36	64,36	58,87	49014	25478,94	51,983
4	1,000	22	57840,00	43069,68	14832,00	45,82	66,82	60,80	49014	25555,87	52,140
5	1,000	23	58994,00	42643,42	16411,88	45,67	67,67	61,36	49014	25959,42	52,963
6	1,000	24	60499,00	42678,74	17877,06	45,34	68,34	61,90	49014	25959,43	52,963
7	1,000	24	60367,00	42757,32	17686,88	45,31	68,31	61,62	49014	25673,19	52,379
8	1,000	24	60342,00	42724,69	17689,50	45,61	68,61	62,05	49014	25710,95	52,456
9	1,000	24	60320,00	42575,94	17818,24	45,81	68,81	62,28	49014	25579,59	52,188
10	1,000	24	60215,00	42563,13	17723,10	45,91	68,91	62,36	49014	25517,54	52,062
11	1,000	25	61742,00	43085,91	18724,06	45,53	69,53	62,81	49014	25867,19	52,775
12	1,000	25	61600,00	43297,18	18360,23	45,71	69,71	62,75	49014	25446,02	51,916
13	1,000	25	61675,00	42687,86	19056,99	45,36	69,36	62,51	49014	25824,47	52,688
14	1,000	25	61607,00	43298,56	18366,06	YOK	YOK	YOK	49014	25594,78	52,219
15	1,000	25	61616,00	42868,43	18824,76	45,53	69,53	62,66	49014	25724,78	52,485
16	1,000	25	61615,00	42878,73	18797,83	45,28	69,28	62,36	49014	25889,85	52,821
17	1,000	25	61426,00	43473,08	18031,10	45,68	69,68	62,67	49014	25715,21	52,465
18	1,000	25	61554,00	42690,71	18938,00	45,63	69,63	62,87	49014	25945,05	52,934
19	1,000	25	61718,00	42580,23	19198,60	45,29	69,29	62,49	49014	25955,49	52,955
20	1,000	25	61668,00	43316,98	18422,48	45,58	69,58	62,64	49014	25611,84	52,254

Çizelge 3.12 37 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	1,000	5	42750,75	42750,75	#YOK	47,69	51,69	49,69	51816	25145,53	48,529
2	1,000	12	52589,00	43622,15	8991,62	47,58	58,58	56,13	51816	26272,18	50,703
3	1,000	15	56846,00	43406,96	13476,20	47,49	61,49	58,54	51816	26281,58	50,721
4	1,000	16	58181,00	43098,87	15121,01	47,74	62,74	59,58	51816	26575,50	51,288
5	1,000	17	59656,00	43161,89	16541,15	47,56	63,56	60,23	51816	26628,64	51,391
6	1,000	17	59644,00	42567,94	17120,82	47,31	63,31	59,96	51816	26520,66	51,182
7	1,000	17	59614,00	42975,96	16657,97	47,67	63,67	60,30	51816	26544,95	51,229
8	1,000	17	59635,00	42585,26	17098,14	47,61	63,61	60,32	51816	26477,63	51,099
9	1,000	17	59552,00	42869,83	16720,46	47,67	63,67	60,28	51816	26748,51	51,622
10	1,000	17	59573,00	42504,02	17106,07	47,53	63,53	60,25	51816	26809,12	51,739
11	1,000	17	59641,00	42440,37	17247,32	47,38	63,38	60,12	51816	26577,93	51,293
12	1,000	17	59672,00	42761,52	16956,29	47,54	63,54	60,22	51816	26554,82	51,248
13	1,000	17	59651,00	42653,79	17040,21	47,38	63,38	60,03	51816	26417,02	50,982
14	1,000	17	59613,00	43035,64	16625,07	47,79	63,79	60,43	51816	26610,84	51,356
15	1,000	17	59602,00	42446,20	17205,92	47,43	63,43	60,12	51816	26763,40	51,651
16	1,000	17	59688,00	42493,61	17244,74	47,35	63,35	60,08	51816	26573,71	51,285
17	1,000	17	59713,00	42705,09	17061,41	47,35	63,35	60,02	51816	26775,11	51,673
18	1,000	17	59786,00	42377,00	17474,36	46,87	62,87	59,54	51816	26122,78	50,415
19	1,000	16	58161,00	42475,60	15722,92	47,91	62,91	59,76	51816	26587,00	51,310
20	1,000	17	59601,00	43090,53	16561,19	47,57	63,57	60,23	51816	23092,38	44,566

Çizelge 3.13 39 m taban yarıçaplı konilerden oluşturulan ilk çukur küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Ham hacim (m ³)	Net hacim (m ³)	Kesişim hacmi (m ³)	β_{min} (°)	β_{max} (°)	β_{ave} (°)	Set hacmi (m ³)	Kutudaki pasa (m ³)	Kullanım oranı (%)
1	1,000	1	43495,84	43495,84	#YOK	49,67	49,67	49,67	54616	25689,88	47,037
2	1,000	7	52965,00	43516,77	9418,08	49,46	55,46	55,50	54616	26535,86	48,586
3	1,000	9	56071,00	43170,37	12864,38	49,66	57,66	57,40	54616	27065,58	49,556
4	1,000	10	57665,00	42719,10	14901,88	49,39	58,39	58,04	54616	26936,39	49,320
5	1,000	10	57567,00	42743,15	14784,11	49,86	58,86	58,47	54616	27287,81	49,963
6	1,000	11	59222,00	43283,18	15898,98	49,60	59,60	59,02	54616	27140,84	49,694
7	1,000	11	59177,00	43038,00	16097,43	49,63	59,63	59,00	54616	27246,97	49,888
8	1,000	11	59187,00	42929,16	16222,38	49,69	59,69	59,12	54616	27325,06	50,031
9	1,000	11	59217,00	42647,10	16522,46	49,44	59,44	58,90	54616	27271,98	49,934
10	1,000	11	59245,00	42906,26	16289,18	49,48	59,48	58,90	54616	27193,29	49,790
11	1,000	11	59264,00	42878,37	16336,80	49,44	59,44	58,85	54616	27309,00	50,002
12	1,000	11	59221,00	42842,08	16336,49	49,14	59,14	58,49	54616	27251,38	49,896
13	1,000	11	59194,00	43390,13	15758,85	49,65	59,65	58,98	54616	27208,25	49,817
14	1,000	11	59205,00	42874,91	16284,29	49,65	59,65	59,07	54616	27334,12	50,048
15	1,000	11	59195,00	42694,27	16439,09	49,33	59,33	58,75	54616	27330,36	50,041
16	1,000	11	59205,00	43077,71	16083,22	49,56	59,56	58,96	54616	27169,88	49,747
17	1,000	11	59191,00	43043,85	16100,93	49,70	59,70	59,10	54616	27373,37	50,120
18	1,000	11	59238,00	42516,20	16678,07	49,31	59,31	58,78	54616	27254,06	49,901
19	1,000	11	59182,00	43197,75	15941,34	49,47	59,47	58,79	54616	27464,52	50,287
20	1,000	11	59244,00	42672,40	16526,22	49,31	59,31	58,77	54616	23961,21	43,872

3.3.5 Hacim kullanım oranı

Yaysal kümeyi oluşturan konilerin taban yarıçaplarının, kümelerin geometrik tutarlığı üzerindeki etkisini belirlemek için dilim yığın kümelerinin kendilerini çevreleyen bir kutunun ne kadarlık kısmını kapladığı araştırılmıştır. Çizelge 3.14 çalışma sonuçlarını göstermektedir. Buna göre $r_k = 29$ m olan yaysal kümeler yaklaşık %51'lik hacim kullanma verimi ile en yüksek orana sahip olmuşlardır. 29 m'lik taban yarıçapı, setteki malzeme tekil küme olarak döküldüğünde oluşan koninin 38,87 m'lik taban yarıçapının %74'üne karşılık gelmektedir. Bu durum, kısıtlanmamış döküm yapılan kümelerin en yüksek hacim kullanım oranı ile aynıdır.

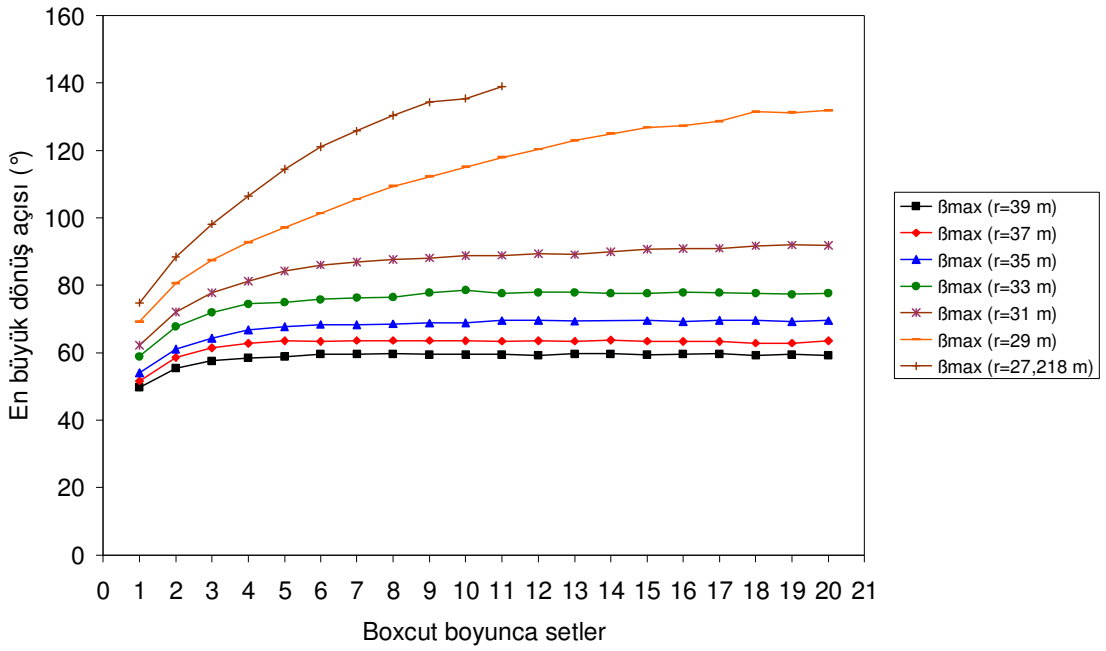
Çizelge 3.14 Farklı taban yarıçaplı konilerden oluşturulan yığın kümelerinin hacim kullanım verimleri

Koni taban yarıçapı (m)	Çevreleyen kutu boyutları			Kaplayan kutu hacmi (m ³)	Yığın hacmi (m ³)	Kullanım oranı (%)
	X (m)	Y (m)	Z (m)			
27,218	87,00	585,05	19,05	969632,62	473634,94	48,85
29,000	88,89	938,74	20,31	1694759,80	861399,29	50,83
31,000	90,70	888,59	21,71	1749719,90	858298,80	49,05
33,000	90,94	868,63	23,11	1825533,13	862117,37	47,23
35,000	89,43	860,19	24,51	1885475,66	857366,83	45,47
37,000	87,66	853,14	25,91	1937711,80	856136,48	44,18
39,000	87,04	849,14	27,31	2018458,77	859653,78	42,59

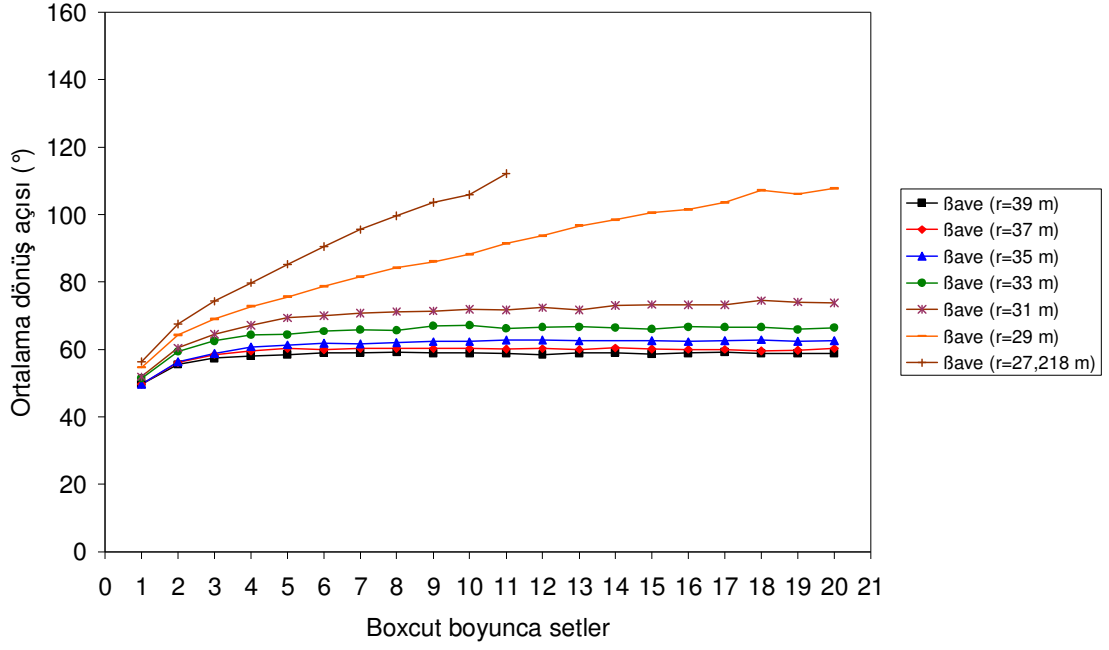
3.3.6 Tartışma

Farklı taban yarıçaplarına sahip konilerin birleşim kümelerinden elde edilen yaysal kümelere ait en büyük, ortalama ve en küçük dönüş açılarının setler boyunca değişimi Şekiller 3.15, 3.16 ve 3.17'de gösterilmektedir. Burada aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

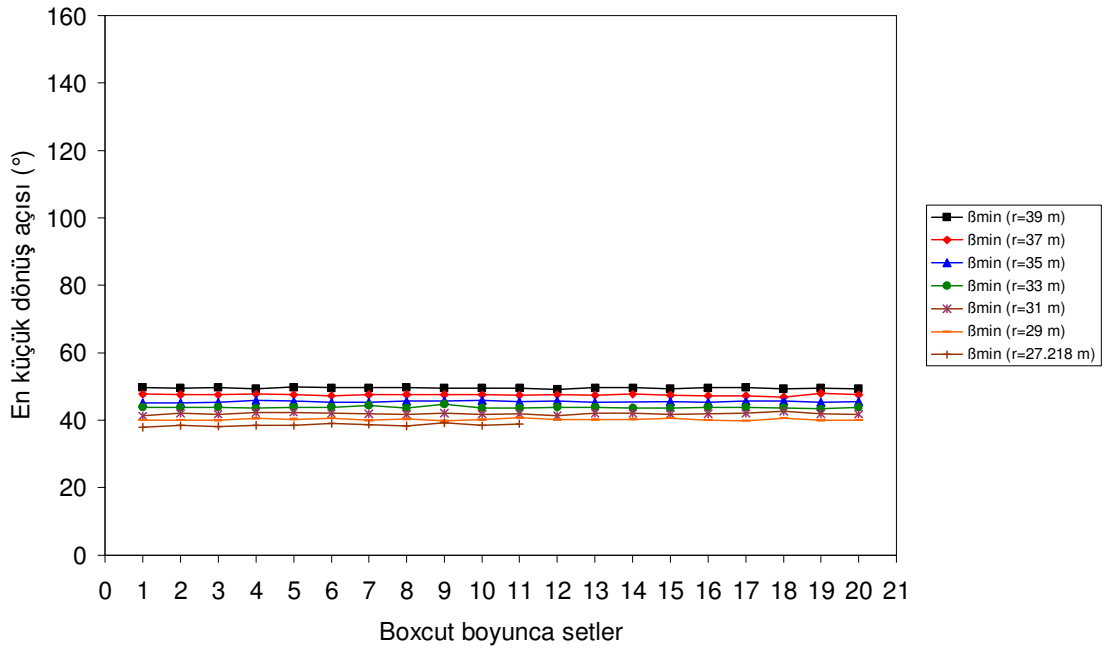
- i. En büyük (β_{max}) ve ortalama (β_{ave}) dönüş açıları yaysal kümeyi oluşturan konilerin taban yarıçapı (r_k) ile ilişkilidir. Koni taban yarıçapı arttıkça en büyük ve ortalama dönüş açıları küçülmektedir. Ancak bu ilişki doğrusal değildir ve dönüş açısındaki azalma, küçük taban yarıçaplı koniler arasında daha büyüktür. Buna karşın koni taban yarıçapı arttıkça en küçük dönüş açısı da (β_{min}) artmaktadır. Bu ilişki belirgin şekilde doğrusaldır.
- ii. Herhangi bir set için en büyük ve ortalama dönüş açıları yaysal kümeyi oluşturan konilerin taban yarıçapı ile negatif ilişkilidir. Koni taban yarıçapı büyüdükçe dönüş açısı küçülmektedir. Ancak bu durum en küçük dönüş açısı için pozitif ilişki göstermektedir.
- iii. β_{max} ve β_{ave} ilk çukur dilimi setleri boyunca azalmaktadır. Setler ilerledikçe β_{max} ve β_{ave} artmakta ancak belirli bir setten sonra sabitlenmektedirler. Dönüş açılarının başlangıç setlerindeki artışı küçük koni yarıçaplarında büyük olmakta ve sabitlenmeleri de oldukça ilerideki setlerde olmaktadır. Ancak büyük koni yarıçaplı yaysal kümeler başlangıçtan birkaç set sonra sabitlenmektedir. Diğer taraftan β_{min} setler boyunca ilerlemeden bağımsız olup, sabittir.



Şekil 3.15 Farklı taban yarıçaplarına sahip yaysal kümelerin en büyük dönüş açıları (β_{max})



Şekil 3.16 Farklı taban yarıçaplarına sahip yaysal kümelerin ortalama dönüş açıları (β_{ave})



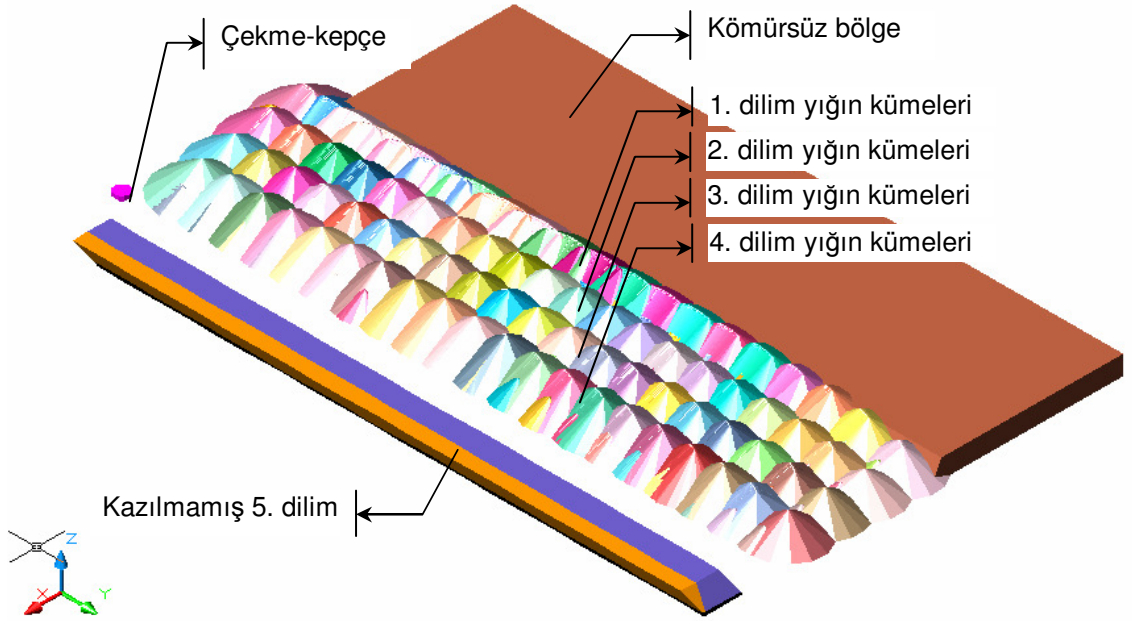
Şekil 3.17 Farklı taban yarıçaplarına sahip yaysal kümelerin en küçük dönüş açıları (β_{min})

DOĞRUDAN DÖKÜM YÖNTEMİ BENZETİMİ

4.1 Giriş

Çalışma kapsamında, yerüstü ocaklarında sıklıkla uygulanan çekme-kepçe örtükazı yöntemlerinden doğrudan döküm yöntemi modellenmiştir. Ancak bu kez, yaysal koni taban yarıçapı yanında çekme-kepçe dilim geometrisi üzerinde etkili olan dilim kalınlığı ve malzeme kabarma yüzdesi de, tutarlı bir ocak geometrisine erişmek amacıyla, tasarım çalışmalarında sabit değerler almak yerine, değiştirilmiştir.

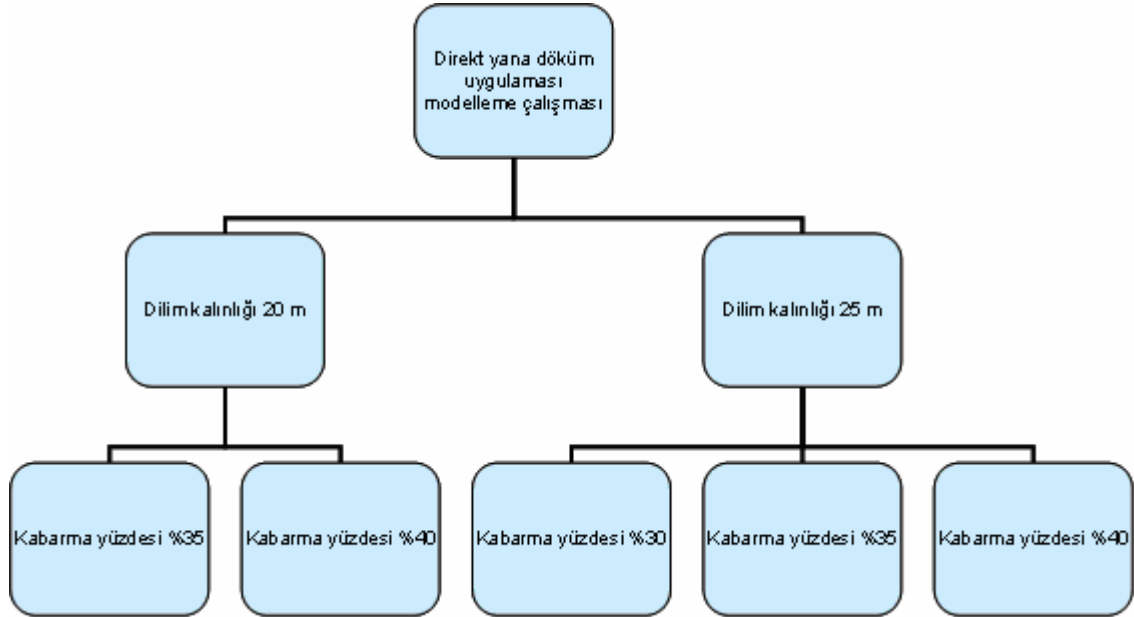
Doğrudan döküm yönteminde tekrarkazı yapılmadığı için kazılan malzemenin yan tarafta kömürü alınmış olan boş dilime dökülmesi ve dökülen pasanın çekme-kepçenin konumlandığı dilim üzerine tırmanmaması esastır. Dolayısıyla setler halinde bölümlendirilmiş olan dilimdeki malzeme, çekme-kepçenin bir dizi oturma pozisyonu aracılığıyla, sıklıkla, önce kanal kazısı sonra da dilim kazısı uygulamaları ile alındıktan sonra yan tarafta bulunan ve yine aynı boyutlara sahip boş çukura dökülmektedir. Şekil 4.1'de önceki bölümde modellenen ilk çukur kazısını takiben yapılan doğrudan döküm modelleme çalışmalarına ait nihai ocak verilmektedir.



Şekil 4.1 Doğrudan döküm yöntemi ile kazısı tamamlanmış dört ardışık dilim ve yığın kümeleri (Kuzeydoğudan izometrik bakış ile)

4.2 Doğrudan döküm yöntemi tasarım kurgusu

Çekme-kepçe örtükazı uygulaması üzerinde etkili olan boyutsal parametrelerden dilim kalınlığı ve malzeme kabarma yüzdesi değiştirilerek, sonuçların tasarımın tutarlılığı ve hacim kullanım oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çekme-kepçe kazısı için bırakılan dilim kalınlığı 25 m ve 20 m olarak belirlenmiştir. 25 m kalınlık için malzeme kabarma yüzdeleri %40, %35 ve %30 iken, 20 m kalınlık için %40 ve %35 değerleri denenmiştir. Kurgu Şekil 4.2'de görülmektedir.

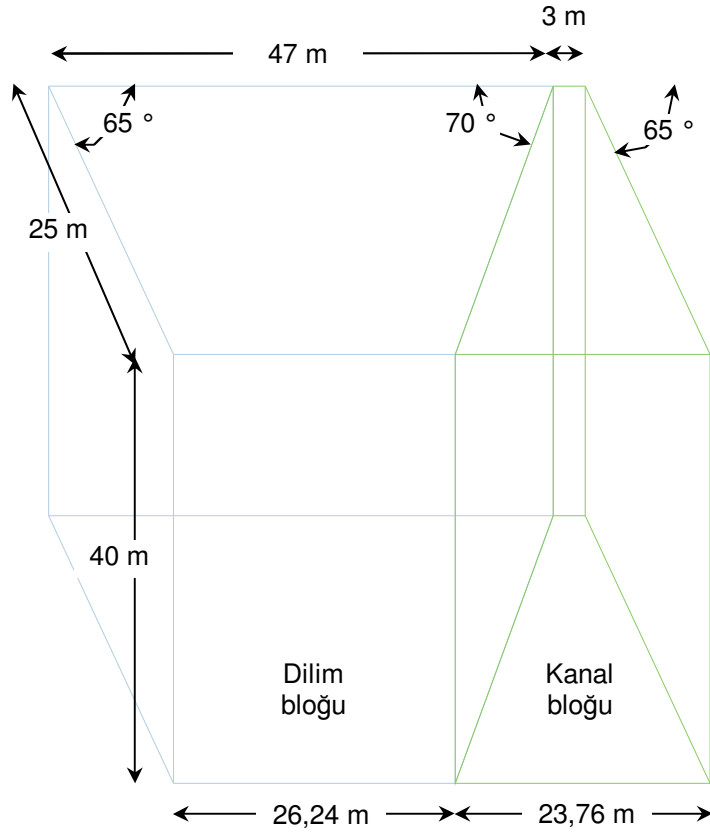


Şekil 4.2 Doğrudan döküm modelleme çalışmalarında takip edilen tasarım kurgusu

4.3 25 m dilim kalınlığı ve %40 kabarma yüzdesi çalışması

Birinci grup modelleme çalışması 25 m kalınlıktaki dilimde %40'lık görece yüksek kabarma yüzdesi seçilerek yapılmıştır. Şekil 4.3'deki şematik çizim yardımıyla kanal ve dilim bloklarına ait boyutlar aşağıda verilmiştir:

- Dilim genişliği, W : 50 m
- Set boyu, L_{set} : 40 m
- Dilim kalınlığı, H_o : 25 m
- Dilim bloğu genişliği, $W_{dbüst}$: 26,24 m, W_{dbalt} : 47 m
- Kanal bloğu genişliği, $W_{kbüst}$: 23,76 m, W_{kbalt} : 3 m
- Dilim şev açısı, $\Phi_{dş}$: 65 °
- Kanal sol şev açısı, Φ_{kso} : 70 °
- Kanal sağ şev açısı, Φ_{ksa} : 65 °
- Dilim bloğu yerinde hacmi, V_{dby} : 36620 m³
- Kanal bloğu yerinde hacmi, V_{kby} : 13380 m³
- Kabarma yüzdesi, δ : %40
- Dilim bloğu kabarmış hacmi, V_{dbk} : 51268 m³
- Kanal bloğu kabarmış hacmi, V_{kby} : 18732 m³

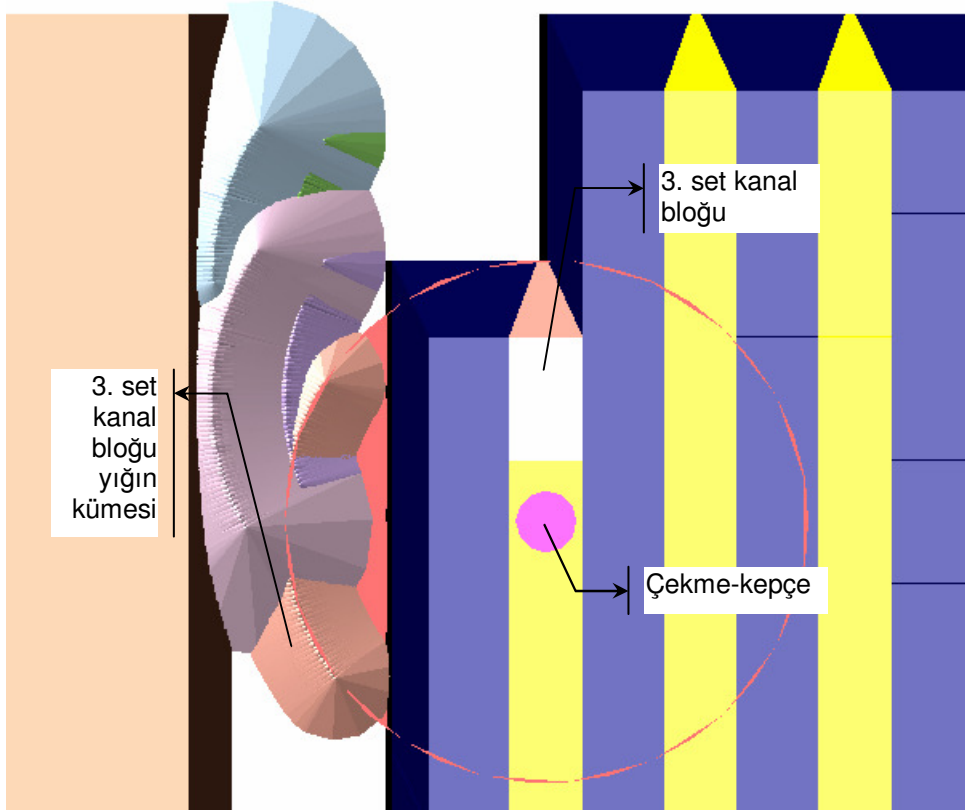


Şekil 4.3 Doğrudan döküm modelleme çalışmasında kullanılan 25 m kalınlığında set (yukarıdan bakış)

4.3.1 $r_k = 41,20$ m denemesi

51268 m³ kabarmış hacme sahip olan dilim bloğu tekil bir kümeye döküldüğünde 41,20 m taban yarıçaplı ve 28,85 m yüksekliğinde bir koni oluşmaktadır. Doğrudan döküm modelleme çalışmasında, ilk çukur çalışmasının aksine, çekme-kepçe dökme yüksekliğinde faydalanmak için daha yüksek, dolayısıyla daha geniş taban yarıçaplı yığın kümeleri oluşturmak amaçlandığından yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı tekil küme taban yarıçapının %70'i değil, %100'ü kabul edilmiştir.

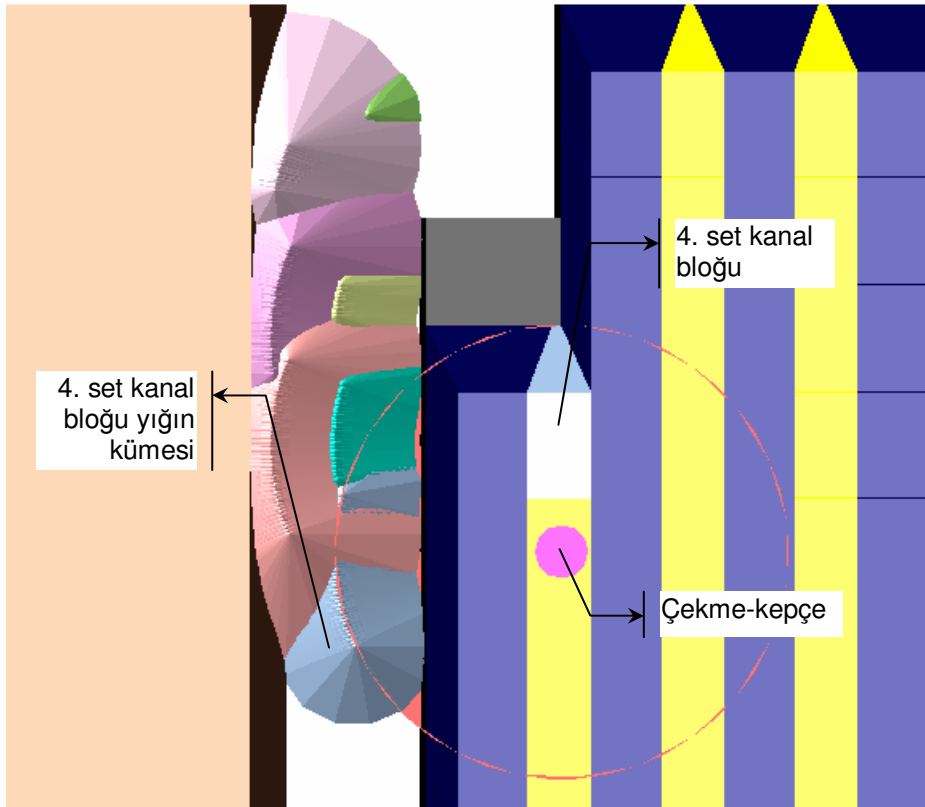
Modelleme çalışması 3. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 3. set kanal bloğu boş dilimde 18732 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına tırmanmaması için 12658 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 6074 m³ pasa malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.4 durumu betimlemektedir.



Şekil 4.4 $r_k = 41,20$ m durumunda 3. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.3.2 $r_k = 50,00$ m denemesi

İkinci denemede yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı 50 m'ye artırılmış ve ilk dilimin kazısı modellenmiştir. Tasarım, öncekine göre 1 set ilerlemiş ancak 4. set kanal malzemesinin dökülmesi için gerekli hacmin sağlanamaması nedeniyle durdurulmuştur. Boş dilim içerisinde kabarmış kanal malzemesi için 18732 m^3 net hacim sağlanması gerekirken, 17153 m^3 malzeme döküldüğünde yığın, kömür damarına tırmanmaya başlamıştır. Dolayısıyla kalan 1579 m^3 malzemenin, çekme-kepçe oturma konumu göz önüne alındığında, dilime tırmanmayacak şekilde uzağa dökülmesi olanaksız görünmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 $r_k = 50$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.4 25 m dilim kalınlığı ve %35 kabarma yüzdesi çalışması

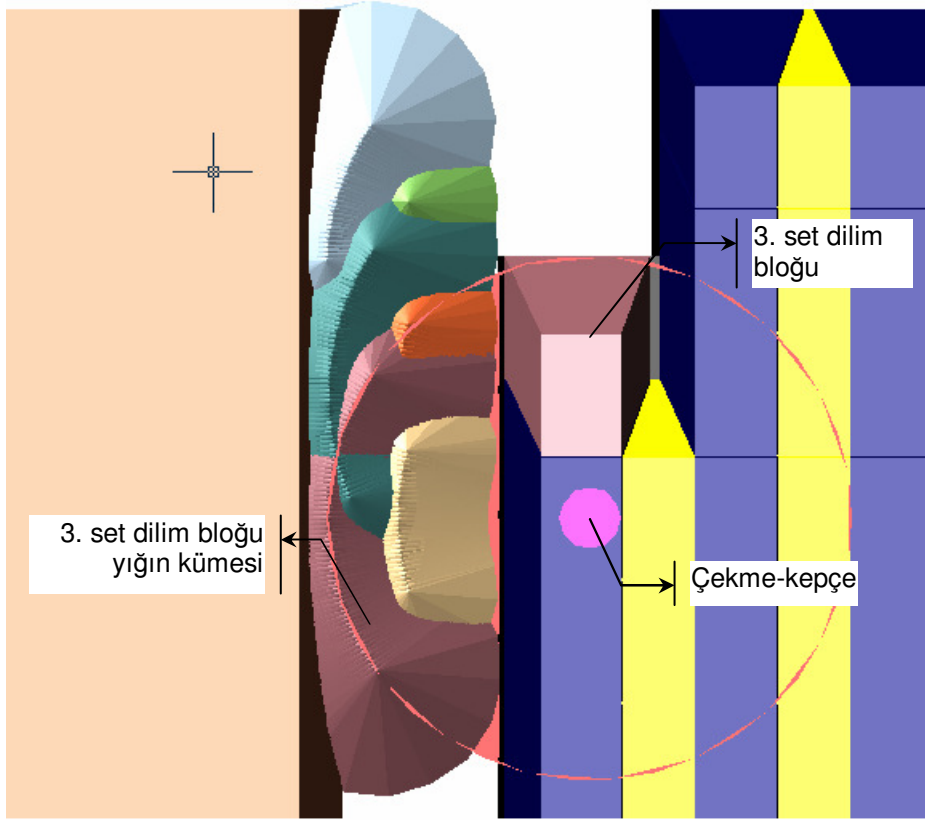
İkinci grup modelleme çalışması aynı kalınlıktaki dilimde orta kabarma yüzdesi seçilerek yapılmıştır. Kanal ve dilim bloklarına ait değişen boyutlar aşağıda verilmiştir:

- Kabarma yüzdesi, δ : %35
- Dilim bloğu kabarmış hacmi, V_{dbk} : 49437 m³
- Kanal bloğu kabarmış hacmi, V_{kby} : 18063 m³

4.4.1 $r_k = 40,70$ m denemesi

49437 m³ kabarmış hacme sahip olan dilim bloğu tekil bir kümeye döküldüğünde 40,70 m taban yarıçaplı ve 28,50 m yüksekliğinde bir koni oluşmaktadır. Yine, daha geniş taban yarıçaplı yığın kümeleri oluşturmak amaçlandığından yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı tekil küme taban yarıçapının %70'i değil, %100'ü kabul edilmiştir.

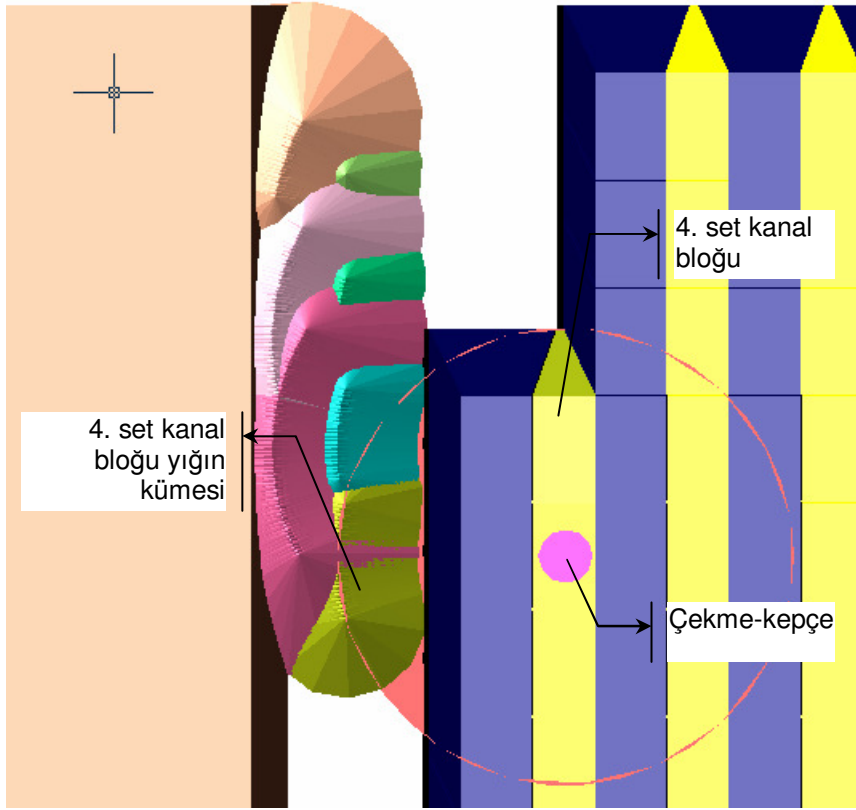
Modelleme çalışması ancak 3. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 3. set dilim bloğu boş dilimde 49437 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına tırmanmaması için 43317 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 6120 m³ pasla malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.6 durumu betimlemektedir.



Şekil 4.6 $r_k = 40,70$ m durumunda 3. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.4.2 $r_k = 45,00$ m denemesi

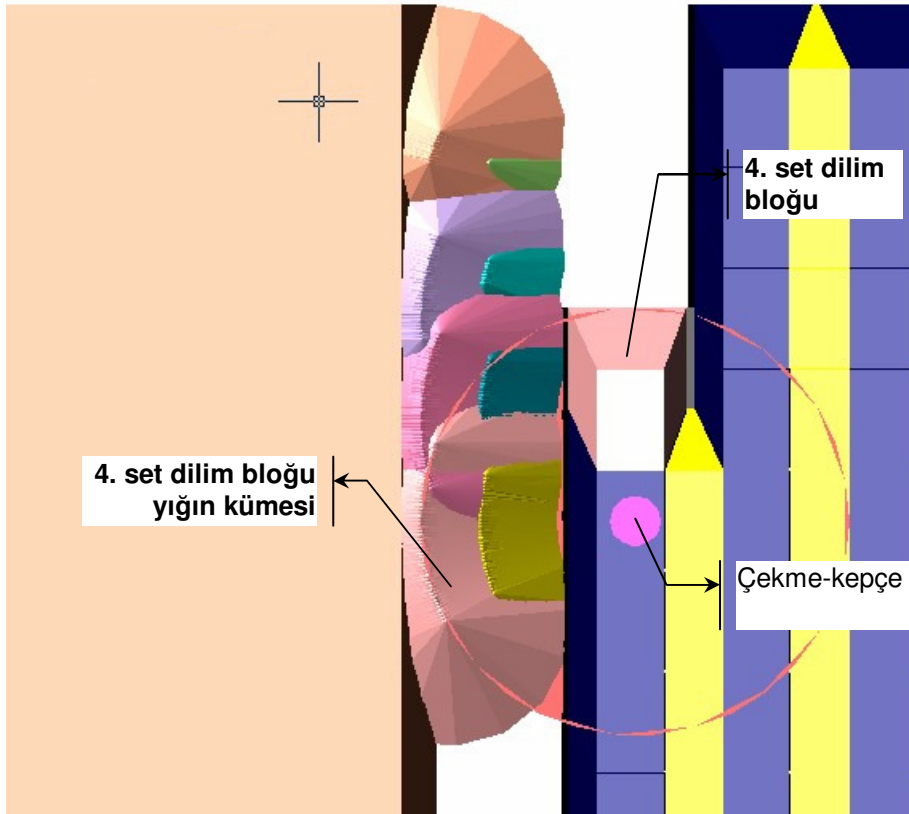
İkinci denemede yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı 45 m'ye artırılmış ve ilk dilimin kazısı modellenmiştir. Tasarım, öncekine göre 1 set ilerlemiş ancak 4. set kanal malzemesinin dökülmesi için gerekli hacmin sağlanamaması nedeniyle durdurulmuştur. Boş dilim içerisinde kabarmış kanal malzemesi için 18063 m^3 net hacim sağlanması gerekirken, 9044 m^3 malzeme döküldüğünde yığın, kömür damarına tırmanmaya başlamıştır. Dolayısıyla kalan 9019 m^3 malzemenin, çekme-kepçe oturma konumu göz önüne alındığında, dilime tırmanmayacak şekilde uzağa dökülmesi olanaksız görünmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 $r_k = 45$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.4.3 $r_k = 50,00$ m denemesi

Üçüncü denemede yaysal küme konik bileşenlerinin taban yarıçapı 50 m'dir. Tasarım, 4. set dilim malzemesinin dökülmesi için gerekli hacmin sağlanamaması nedeniyle durdurulmuştur. Boş dilim içerisinde kabarmış dilim malzemesi için 49437 m³ net hacim sağlanması gerekirken, 45649 m³ malzeme döküldüğünde yığın, kömür damarına tırmanmaya başlamıştır. Kalan 3788 m³ malzemenin dilime tırmanmayacak şekilde uzağa dökülmesi olanaksız görünmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 $r_k = 50$ m durumunda 4. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

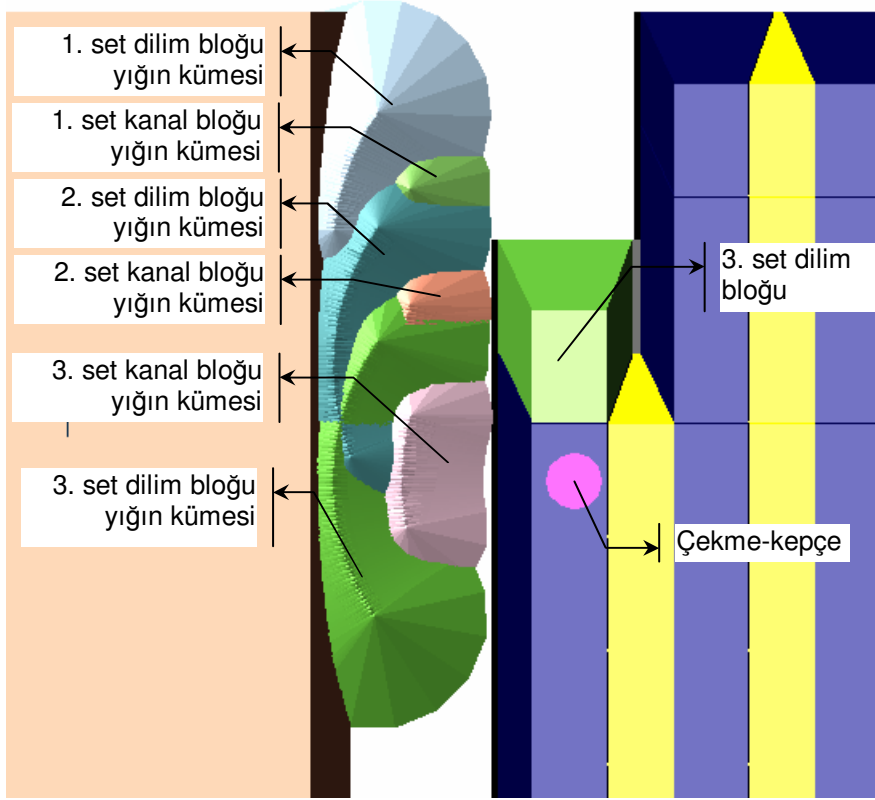
4.5 25 m dilim kalınlığı ve %30 kabarma yüzdesi çalışması

Üçüncü modelleme çalışması görece kalın dilimde düşük kabarma yüzdesi seçilerek yapılmıştır. Geniş taban yarıçaplı yığın kümeleri oluşturmak amaçlandığından yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı tekil küme taban yarıçapının %70'i değil, %100'ü kabul edilmiştir. Kanal ve dilim bloklarına ait değişen boyutlar aşağıda verilmiştir:

- Kabarma yüzdesi, δ : %30
- Dilim bloğu kabarmış hacmi, V_{dbk} : 47606 m³
- Kanal bloğu kabarmış hacmi, V_{kby} : 17394 m³

4.5.1 $r_k = 40,19$ m denemesi

47606 m³ kabarmış hacme sahip olan dilim bloğu tekil bir kümeye döküldüğünde 40,19 m taban yarıçaplı ve 28,14 m yüksekliğinde bir koni oluşmaktadır. Modelleme çalışması ancak 3. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 3. set dilim bloğu boş dilimde 47606 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına tırmanmaması için 42444 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 5162 m³ pasa malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.9 durumu betimlemektedir.



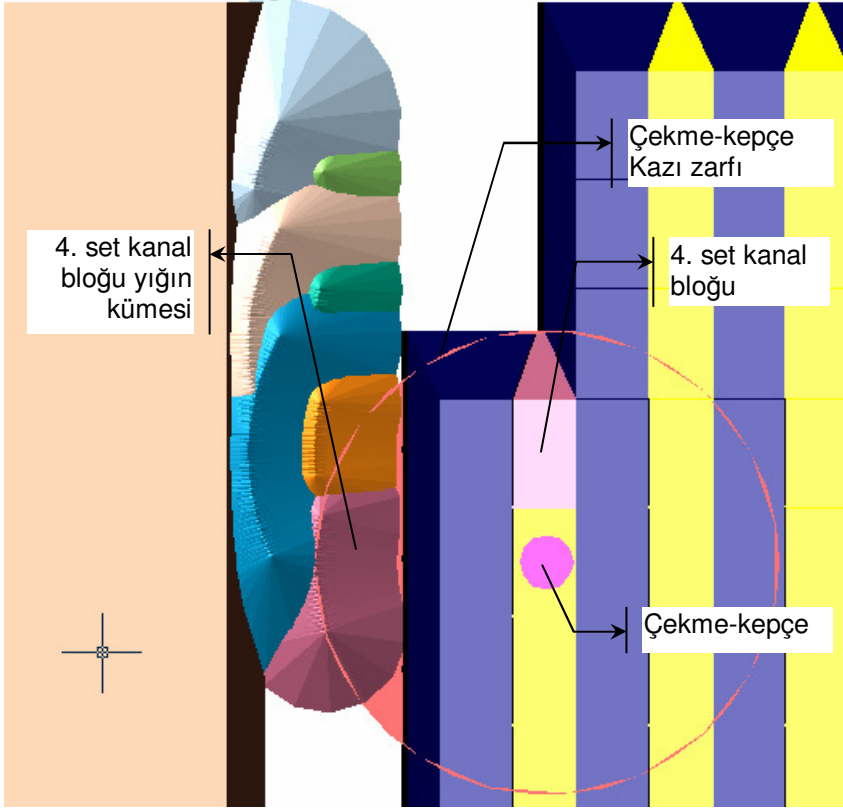
Şekil 4.9 $r_k = 40,19$ m durumunda 3. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.5.2 $r_k = 45,00$ m denemesi

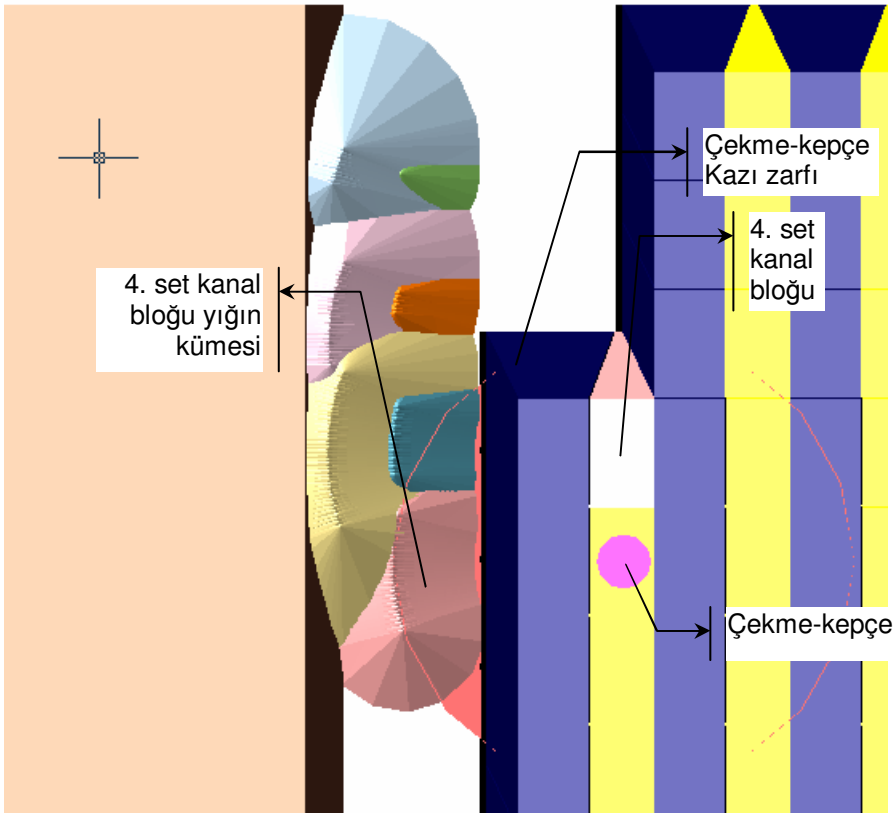
İkinci denemede yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı 45 m'ye artırılmış ve ilk dilimin kazısı modellenmiştir. Tasarım, öncekine göre 1 set ilerlemiş ancak 4. set kanal malzemesinin dökülmesi için gerekli hacmin sağlanamaması nedeniyle durdurulmuştur. Boş dilim içerisinde kabarmış kanal malzemesi için 13380 m³ net hacim sağlanması gerekirken, 12756 m³ malzeme döküldüğünde yığın, kömür damarına tırmanmaya başlamıştır. Dolayısıyla kalan 624 m³ malzemenin, çekme-kepçe oturma konumu göz önüne alındığında, dilime tırmanmayacak şekilde uzağa dökülmesi olanaksız görünmektedir (Şekil 4.10).

4.5.3 $r_k = 50,00$ m denemesi

Üçüncü denemede yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı 50 m'ye artırılmış ve ilk dilimin kazısı modellenmiştir. Tasarımda gelişme kaydedilememiş ve 4. set kanal malzemesinin dökülmesi için gerekli hacmin sağlanamaması nedeniyle durdurulmuştur (Şekil 4.11).



Şekil 4.10 $r_k = 45$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

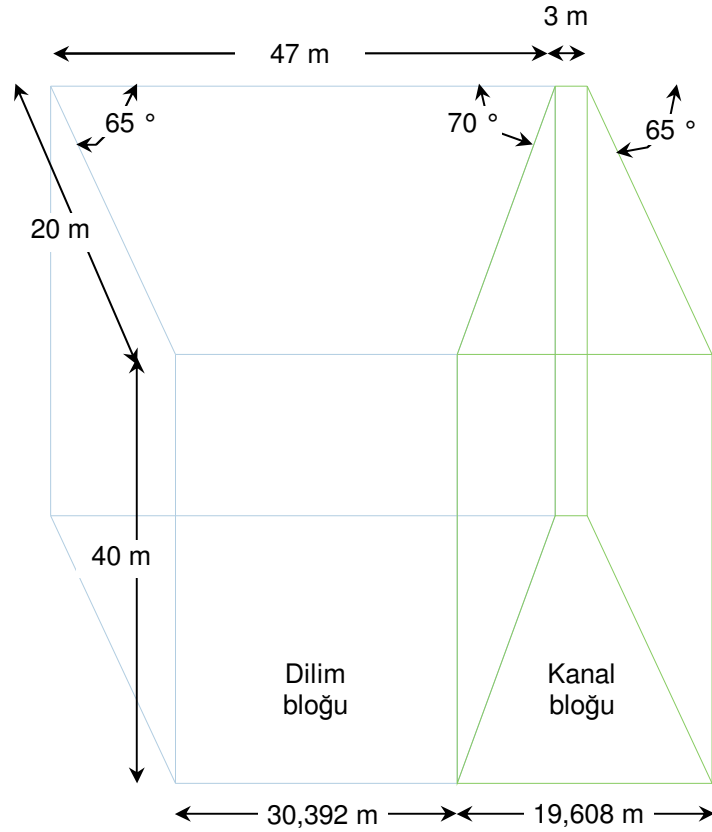


Şekil 4.11 $r_k = 50$ m durumunda 4. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.6 20 m dilim kalınlığı ve %40 kabarma yüzdesi çalışması

İkinci grup modelleme çalışması, kalın örtüde dilim geometrisi oturtulamamasından ötürü daha ince dilimlere yönelinmesini gerektirmiştir. Burada sonuçları sunulan ilk denemede %40 kabarma yüzdesi kullanılmıştır. Şekil 4.12'deki şematik çizim yardımıyla kanal ve dilim bloklarına ait boyutlar aşağıda verilmiştir:

- Dilim genişliği, W : 50 m
- Set boyu, L_{set} : 40 m
- Dilim kalınlığı, H_o : 20 m
- Dilim bloğu genişliği, $W_{dbüst}$: 30,392 m, W_{dbalt} : 47 m
- Kanal bloğu genişliği, $W_{kbüst}$: 19,608 m, W_{kbalt} : 3 m
- Dilim şev açısı, $\Phi_{dş}$: 65°
- Kanal sol şev açısı, Φ_{kso} : 70°
- Kanal sağ şev açısı, Φ_{ksa} : 65°
- Kabarma yüzdesi, δ : %40
- Dilim bloğu yerinde hacmi, V_{dby} : 30956,80 m³
- Kanal bloğu yerinde hacmi, V_{kby} : 9043,20 m³
- Dilim bloğu kabarmış hacmi, V_{dbk} : 43339,52 m³
- Kanal bloğu kabarmış hacmi, V_{kby} : 12660,48 m³

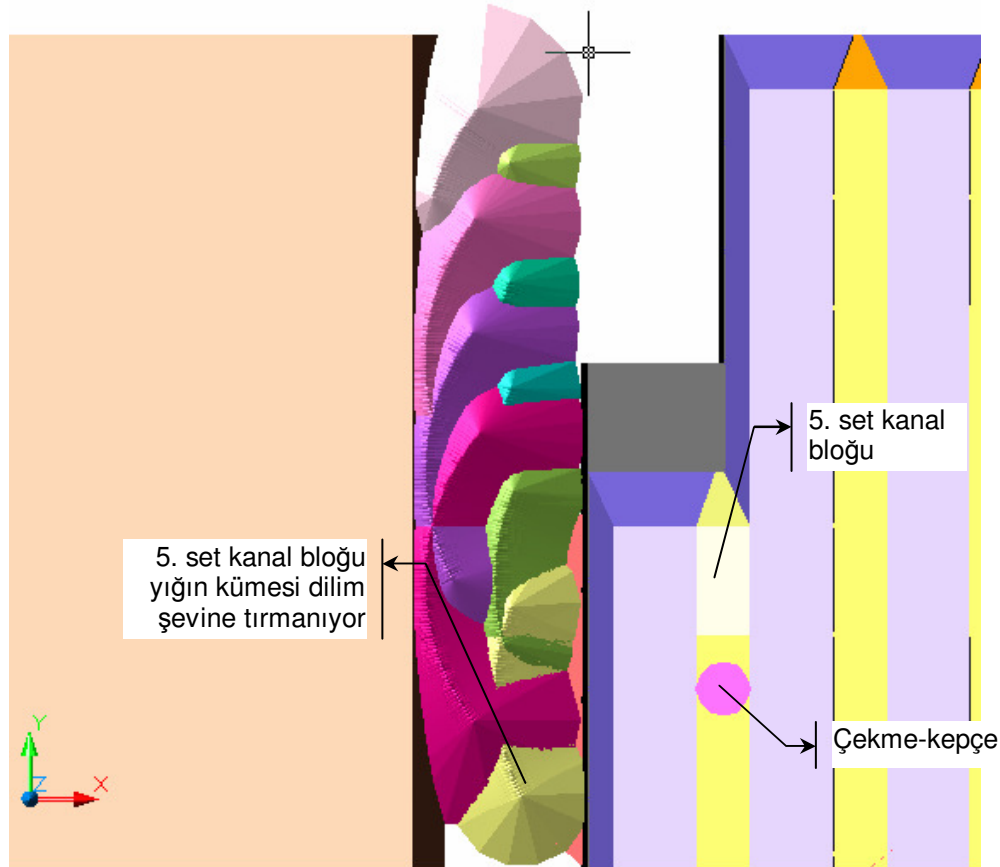


Şekil 4.12 Direkt döküm modelleme çalışmasında kullanılan 20 m kalınlığında %40 kabarma yüzdesine sahip blok (yukarıdan bakış)

4.6.1 $r_k = 38,95$ m denemesi

43339,52 m³ kabarmış hacme sahip olan dilim bloğu tekil bir kümeye döküldüğünde 38,48 m taban yarıçaplı ve 27,28 m yüksekliğinde bir koni oluşmaktadır. Önceki bölümlerde olduğu üzere yaysal kümenin konik dilim bileşenlerinin taban yarıçapı, tekil koniye eşit olan 38,95 m olarak alınmıştır.

Modelleme çalışması 5. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 5. set kanal bloğu boş dilimde 12660 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına tırmanmaması için 9743 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 2917 m³ pasa malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.13 durumu betimlemektedir.

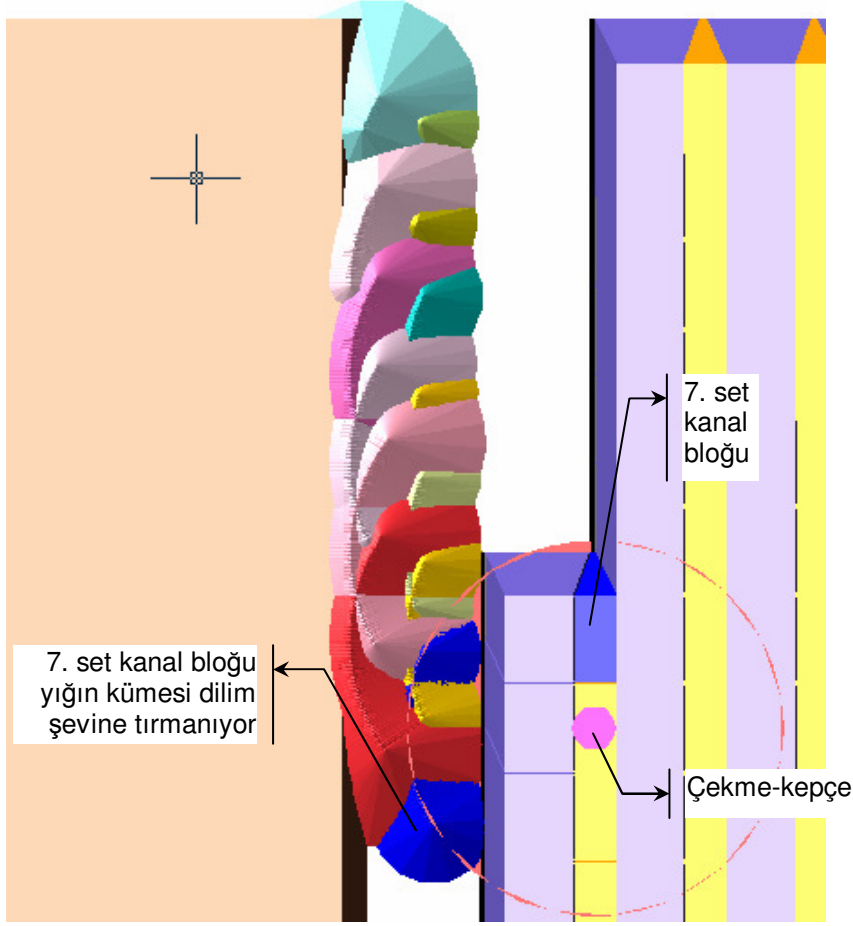


Şekil 4.13 $r_k = 38,95$ m durumunda 5. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.6.2 $r_k = 45,00$ m denemesi

İkinci deneme 45 m yarıçaplı koniler kullanılarak yapılmış ve modelleme çalışması 7. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 7. set kanal bloğu boş dilimde 12660 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına

tırmanmaması için 11176 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 1484 m³ pasa malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.14 durumu betimlemektedir.

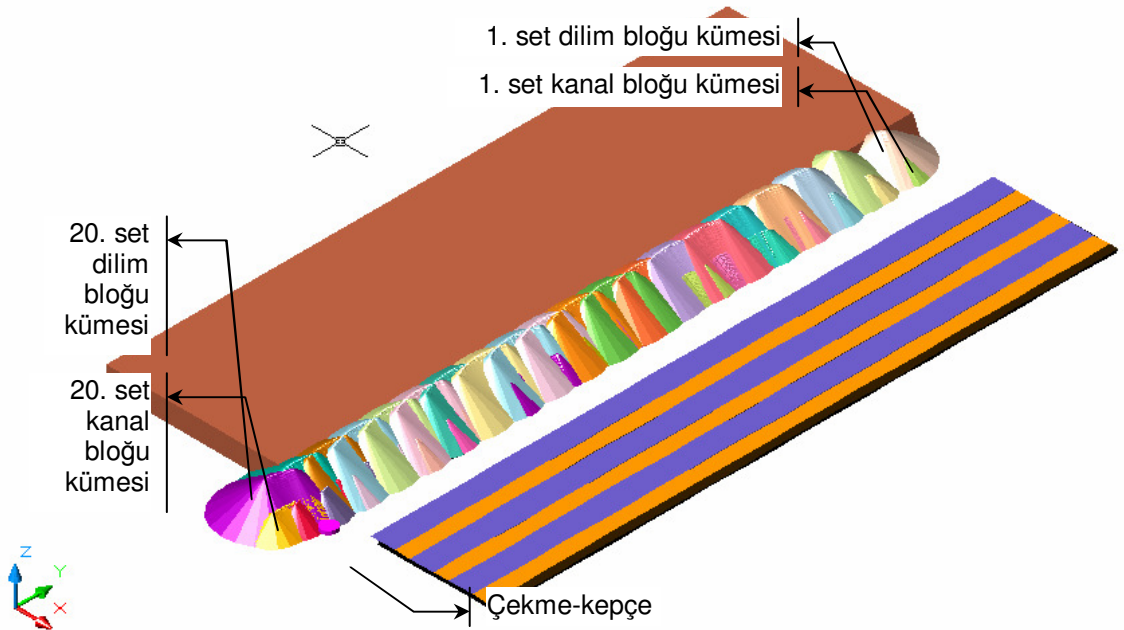


Şekil 4.14 $r_k = 45$ m durumunda 7. set kanal bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.6.3 $r_k = 50,00$ m denemesi

Üçüncü deneme 50 m yarıçaplı koniler kullanılarak yapılmış ve modelleme çalışması 8. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 8. set kanal bloğu boş dilimde 12660 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına tırmanmaması için 10786 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 1874 m³ pasa malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.15 durumu betimlemektedir.

4.17'da gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.3 ve 4.4'de sunulmuştur.



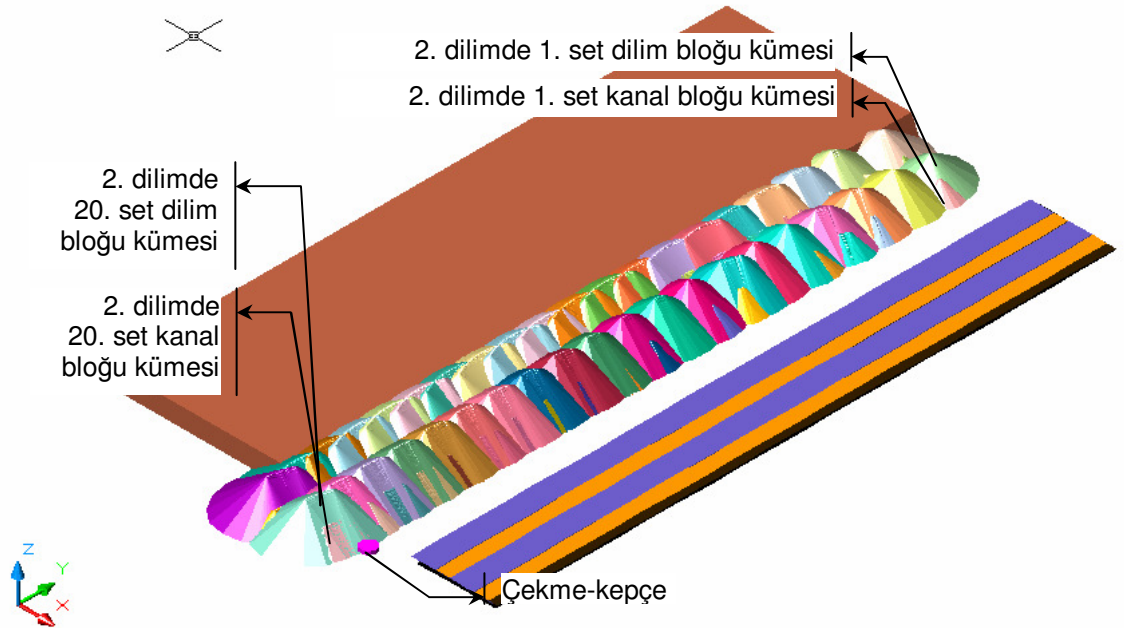
Şekil 4.16 İlk dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

Çizelge 4.1 Birinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12505	67,09	67,09	67,09
2	1,000	5	27	12391	68,81	72,81	73,46
3	1,000	8	30	12648	73,15	80,19	82,06
4	1,000	14	30	12867	74,13	87,20	88,50
5	1,000	20	30	12984	74,66	93,66	95,03
6	1,000	23	30	12628	77,19	99,19	101,79
7	1,000	29	30	12137	75,33	103,47	107,09
8	1,000	33	30	12327	76,12	108,29	112,25
9	1,000	39	30	12099	72,32	110,42	114,11
10	1,000	40	30	12534	73,23	112,23	115,94
11	1,000	40	30	11958	74,53	114,53	118,29
12	1,000	45	30	12625	70,75	114,75	117,69
13	1,000	44	30	12454	72,71	115,71	119,71
14	1,000	41	30	12397	75,95	115,95	120,09
15	1,000	45	30	12765	73,00	117,00	120,68
16	1,000	44	30	12328	73,63	116,63	123,16
17	1,000	45	30	12929	73,48	117,48	121,30
18	1,000	44	30	12357	73,40	116,40	120,37
19	1,000	39	30	12760	71,95	109,74	113,49
20	1,000	31	30	12314	68,72	98,72	101,32

Çizelge 4.2 Birinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	4	50	43380	66,90	69,90	65,39
2	1,000	4	55	43404	78,59	81,59	85,62
3	1,000	13	55	42531	77,23	89,23	93,75
4	1,000	21	55	43818	75,44	95,44	99,75
5	1,000	20	55	42777	81,54	100,54	106,44
6	1,000	32	55	43460	73,56	104,56	110,00
7	1,000	31	55	44368	78,66	108,66	115,21
8	1,000	35	55	42917	77,73	111,63	118,81
9	1,000	44	55	44126	69,59	112,59	117,70
10	1,000	43	55	44093	73,69	114,69	122,76
11	1,000	41	55	42199	75,18	115,18	121,49
12	1,000	47	55	43311	69,71	115,71	121,42
13	1,000	46	55	42786	71,10	115,81	121,65
14	1,000	43	55	43418	74,93	116,93	122,55
15	1,000	46	55	42340	71,69	116,69	122,63
16	1,000	46	55	43020	71,93	116,93	122,77
17	1,000	43	55	42357	74,52	116,52	122,77
18	1,000	36	55	43604	74,38	109,38	117,61
19	1,000	26	55	42976	73,96	98,96	107,12
20	1,000	22	55	43804	67,26	88,26	97,11



Şekil 4.17 İkinci dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

Modelleme çalışması üçüncü dilimle devam etmiş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, ikinci dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Geometrik tutarlılık devam etmektedir. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 10. setten sonra

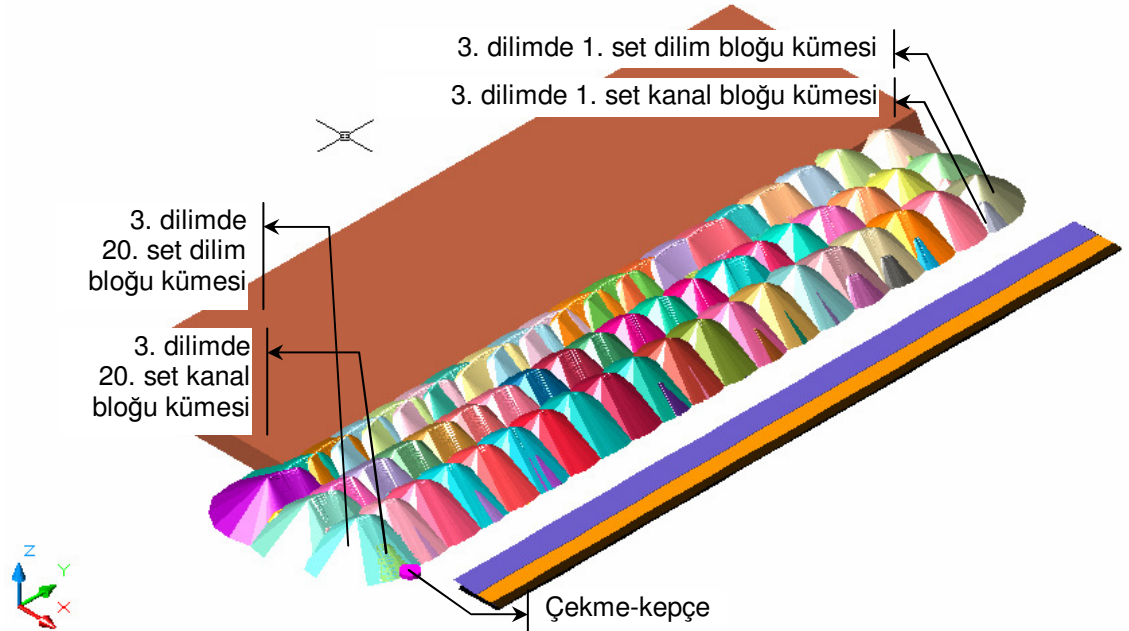
sabitlenmektedir. Üçüncü dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 4.18'de, kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.3 İkinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{min} (°)	β_{max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12660	68,38	68,38	68,38
2	1,000	2	25,85	12410	70,21	71,33	71,53
3	1,000	3	27	12735	70,91	72,91	73,84
4	1,000	7	27	12396	67,55	73,55	73,55
5	1,000	9	27	12640	69,20	77,20	76,79
6	1,000	1	30	12461	76,99	76,99	80,50
7	1,000	3	30	13045	76,69	78,69	81,63
8	1,000	1	30	12235	75,92	75,92	78,91
9	1,000	3	30	12370	78,06	80,06	83,25
10	1,000	6	30	12376	75,52	80,52	83,01
11	1,000	7	30	12632	77,15	83,15	85,54
12	1,000	7	30	12453	79,24	85,24	87,92
13	1,000	8	30	12812	79,90	86,89	89,41
14	1,000	12	30	12563	75,95	86,84	88,73
15	1,000	14	30	13018	75,99	88,98	90,50
16	1,000	15	30	12848	75,40	89,50	91,08
17	1,000	14	30	12183	77,07	90,06	92,12
18	1,000	16	30	12609	76,00	90,98	92,69
19	1,000	16	30	12445	77,26	92,24	94,22
20	1,000	21	30	12502	70,36	90,36	90,23

Çizelge 4.4 İkinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{min} (°)	β_{max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	45	42887	61,37	61,37	58,82
2	1,000	2	50	43481	65,09	66,09	68,27
3	1,000	8	50	43689	65,80	72,80	74,47
4	1,000	11	50	43560	67,00	77,00	79,57
5	1,000	1	55	42990	74,78	74,78	82,07
6	1,000	3	55	44189	74,64	76,64	83,13
7	1,000	15	55	43581	64,55	78,55	80,41
8	1,000	3	55	43919	76,81	85,81	85,52
9	1,000	7	55	43632	75,30	81,30	86,74
10	1,000	8	55	44145	76,62	83,62	89,39
11	1,000	10	55	44098	77,19	79,19	91,03
12	1,000	14	55	44220	74,34	87,34	91,74
13	1,000	13	55	43581	77,13	89,13	94,87
14	1,000	16	55	44052	75,31	90,31	95,41
15	1,000	15	55	42763	77,59	91,59	96,96
16	1,000	18	55	42885	75,40	92,40	97,56
17	1,000	17	55	42485	77,06	93,06	98,66
18	1,000	19	55	43978	76,13	94,13	99,54
19	1,000	16	55	43047	78,86	93,86	100,79
20	1,000	21	55	42135	68,26	88,26	96,13



Şekil 4.18 Üçüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

Çizelge 4.5 Üçüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

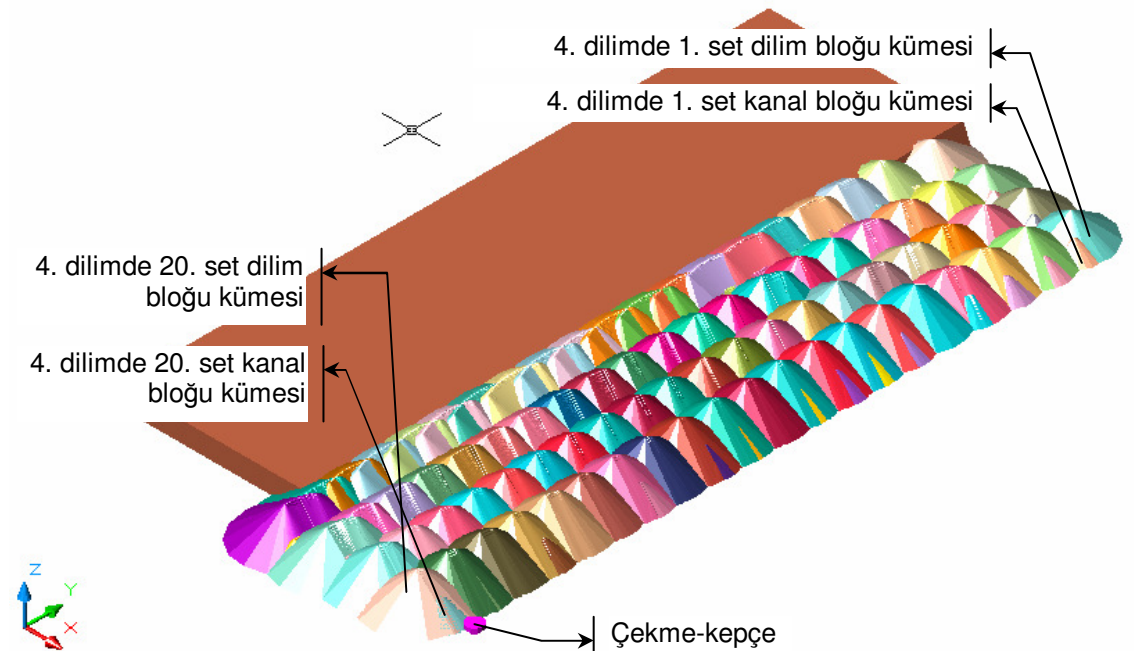
Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12660	68,78	68,78	68,78
2	1,000	2	25,85	12129	67,81	68,81	69,22
3	1,000	3	27	12644	71,12	73,12	74,11
4	1,000	6	27	12393	69,30	74,24	74,70
5	1,000	7	27	12331	70,55	76,55	76,74
6	1,000	1	30	12428	77,10	77,10	80,27
7	1,000	2	30	12384	77,96	78,96	82,41
8	1,000	4	30	12563	76,63	79,63	82,57
9	1,000	4	30	12272	77,79	80,79	83,45
10	1,000	3	30	12438	79,90	81,90	85,26
11	1,000	5	30	12324	77,95	81,95	84,90
12	1,000	5	30	13655	79,46	83,43	86,46
13	1,000	5	30	12550	79,66	83,66	86,68
14	1,000	6	30	12452	78,37	83,34	86,24
15	1,000	6	30	12346	77,99	82,97	85,82
16	1,000	7	30	12996	77,34	83,32	85,83
17	1,000	7	30	12433	76,32	82,32	84,87
18	1,000	5	30	12556	79,30	83,30	86,32
19	1,000	7	30	12873	76,31	82,28	84,63
20	1,000	8	30	12473	74,34	81,34	83,42

Modelleme çalışmasındaki son aşaması dördüncü dilim olmuş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, üçüncü dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Geometrik tutarlılık devam etmektedir. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 10. setten sonra sabitlenmektedir. Dördüncü dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 4.19'da

gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.7 ve 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6 Üçüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	45	43016	60,47	60,47	57,58
2	1,000	1	50	42473	65,93	66,93	69,67
3	1,000	7	50	42591	66,55	72,55	74,94
4	1,000	11	50	43537	66,25	76,25	78,72
5	1,000	12	50	42561	68,99	79,99	82,56
6	1,000	2	55	42441	76,72	77,72	84,59
7	1,000	3	55	44075	77,26	79,26	86,42
8	1,000	4	55	44116	77,83	80,83	87,94
9	1,000	5	55	43733	77,15	81,15	88,21
10	1,000	5	55	44009	78,38	82,38	89,24
11	1,000	5	55	43289	79,30	83,30	90,56
12	1,000	7	55	43885	77,65	83,65	90,39
13	1,000	7	55	43928	78,25	84,25	90,93
14	1,000	7	55	42808	77,92	83,92	91,02
15	1,000	7	55	43112	77,80	83,80	90,89
16	1,000	8	55	43345	76,37	83,37	90,11
17	1,000	7	55	43292	77,33	83,33	90,52
18	1,000	9	55	43971	74,53	82,53	88,54
19	1,000	8	55	42345	76,15	83,15	89,46
20	1,000	10	55	44387	80,67	71,67	88,49



Şekil 4.19 Dördüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

Çizelge 4.7 Dördüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12660	67,92	67,92	67,88
2	1,000	2	25,85	12203	66,13	67,13	67,50
3	1,000	3	27	12601	69,50	71,50	72,43
4	1,000	5	27	12365	72,15	76,15	76,97
5	1,000	1	30	12810	74,82	74,82	77,76
6	1,000	1	30	12026	75,62	75,62	79,18
7	1,000	2	30	12426	76,58	77,58	80,89
8	1,000	4	30	12477	74,70	77,68	80,44
9	1,000	3	30	12635	77,14	79,13	82,24
10	1,000	2	30	12365	80,16	81,15	84,65
11	1,000	4	30	12494	75,92	78,91	81,76
12	1,000	5	30	12666	75,46	79,46	82,09
13	1,000	4	30	13091	78,11	81,11	83,98
14	1,000	6	30	12191	74,64	79,64	82,15
15	1,000	5	30	12870	77,36	81,36	84,08
16	1,000	5	30	12910	78,22	82,22	85,03
17	1,000	7	30	12694	74,96	83,28	83,28
18	1,000	6	30	12787	77,08	82,80	84,73
19	1,000	6	30	12682	76,79	81,79	84,35
20	1,000	6	30	12508	78,14	83,14	85,92

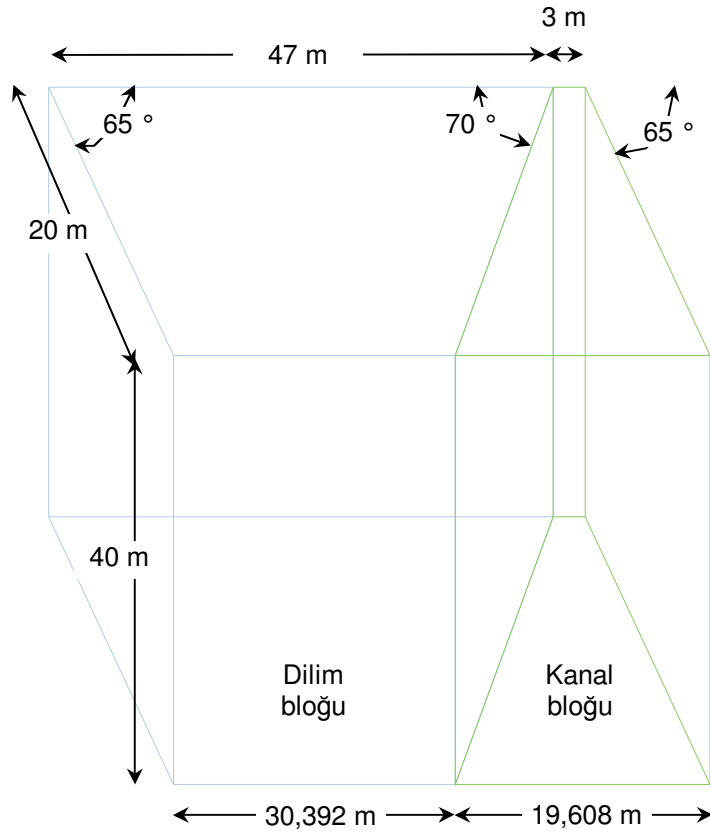
Çizelge 4.8 Dördüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	45	43918	57,76	57,76	54,62
2	1,000	1	50	43437	68,44	68,44	65,55
3	1,000	6	50	42613	68,15	73,15	75,70
4	1,000	11	50	42908	67,09	77,09	79,12
5	1,000	1	55	43997	74,42	74,42	81,56
6	1,000	1	55	42676	76,13	76,13	83,60
7	1,000	2	55	42433	75,53	77,53	84,71
8	1,000	4	55	42643	75,05	78,05	85,12
9	1,000	4	55	43494	76,47	79,47	86,32
10	1,000	6	55	42411	73,62	78,62	84,87
11	1,000	5	55	43648	75,47	79,47	86,20
12	1,000	5	55	42708	75,71	79,71	86,80
13	1,000	5	55	43171	76,86	80,86	87,48
14	1,000	6	55	43194	75,93	80,93	88,07
15	1,000	7	55	43769	75,66	81,66	87,90
16	1,000	9	55	44253	73,79	81,79	87,49
17	1,000	6	55	42358	77,30	82,30	89,30
18	1,000	9	55	43459	74,12	82,12	88,13
19	1,000	8	55	43740	76,26	83,26	89,38
20	1,000	5	55	44292	77,57	81,57	91,18

4.7 20 m dilim kalınlığı ve %35 kabarma yüzdesi çalışması

20 m'lik örtü kalınlığı ve %40'luk kabarma yüzdesinde tutarlı bir dilim geometrisi oturtulması, diğer bir kabarma yüzdesi olan %35 değerinin denenmesini olası kılmıştır. Bu nedenle burada sonuçları sunulan ikinci denemede %35 kabarma yüzdesi kullanılmıştır. Şekil 4.20'deki şematik çizim yardımıyla kanal ve dilim bloklarına ait boyutlar aşağıda verilmiştir:

- Dilim genişliği, W : 50 m
- Set boyu, L_{set} : 40 m
- Dilim kalınlığı, H_o : 20 m
- Dilim bloğu genişliği, $W_{dbüst}$: 30,392 m, W_{dbalt} : 47 m
- Kanal bloğu genişliği, $W_{kbüst}$: 19,608 m, W_{kbalt} : 3 m
- Dilim şev açısı, $\Phi_{dş}$: 65 °
- Kanal sol şev açısı, Φ_{kso} : 70 °
- Kanal sağ şev açısı, Φ_{ksa} : 65 °
- Kabarma yüzdesi, δ : %35
- Dilim bloğu yerinde hacmi, V_{dby} : 30956,80 m³
- Kanal bloğu yerinde hacmi, V_{kby} : 9043,20 m³
- Dilim bloğu kabarmış hacmi, V_{dbk} : 41791,68 m³
- Kanal bloğu kabarmış hacmi, V_{kby} : 12208,32 m³

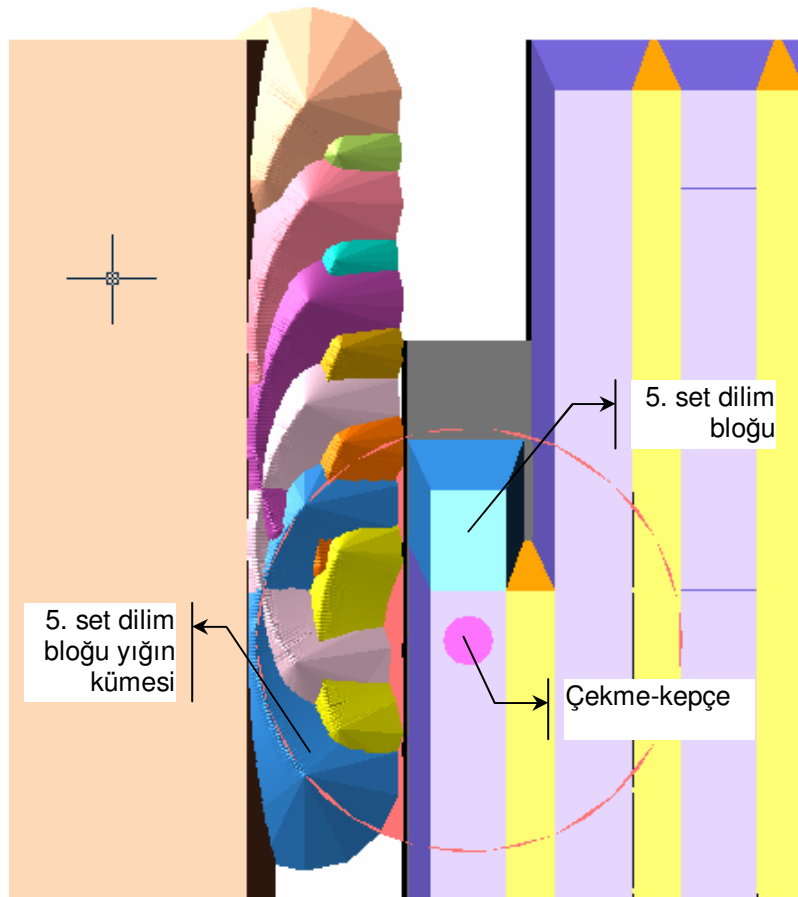


Şekil 4.20 Doğrudan döküm modelleme çalışmasında kullanılan 20 m kalınlığında blok (yukarıdan bakış)

4.7.1 $r_k = 38,48$ m denemesi

41792 m³ kabarmış hacme sahip olan dilim bloğu tekil bir kümeye döküldüğünde 38,48 m taban yarıçaplı ve 26,94 m yüksekliğinde bir koni oluşmaktadır. Önceki bölümlerde olduğu üzere yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı, tekil koniye eşit olan 38,48 m olarak alınmıştır.

Modelleme çalışması 5. sete kadar ilerleyebilmiştir. En büyük ve ortalama dönüş açılarının hızlı şekilde büyüdüğü denemede kümeler, gittikçe daha uzun daire yaylarına yayıldıklarından 5. set dilim bloğu boş dilimde 41792 m³ hacme sahip olması gerekirken, uygulanan yöntem gereği eteğinin kömür damarına tırmanmaması için 35360 m³ hacimde kalmıştır. Kalan 6432 m³ pasa malzemesinin de dökülmesini modellemek için daha fazla sayıda koninin birleşimi durumunda yığın eteği kömür damarı ve dilime tırmanacağından, modelleme çalışması sonlandırılmıştır. Bu durum, dilim geometrisi tutarsızlığının tipik örneği olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.21 durumu betimlemektedir.



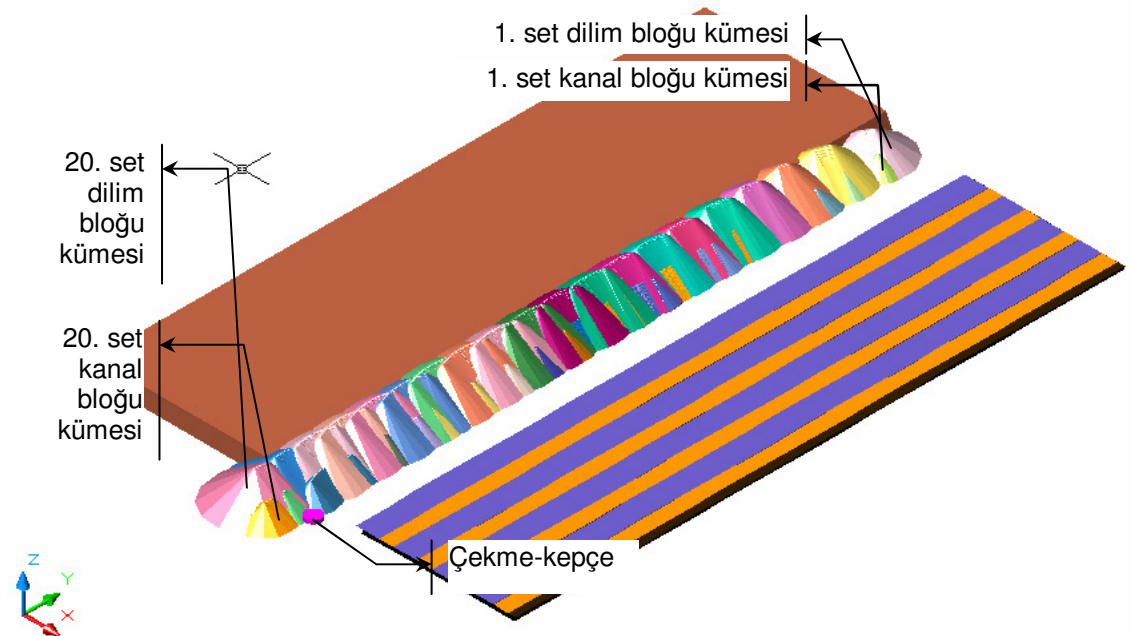
Şekil 4.21 $r_k = 38,48$ m durumunda 5. set dilim bloğundan kazılan malzeme için yetersiz döküm hacmi (yukarıdan bakış)

4.7.2 $r_k = 55,00$ m denemesi

Önceki bölümde 38,48 m olarak alınan yaysal kümenin konik bileşenlerinin taban yarıçapı ve 25 m'lik örtü durumunda 50 m'lik yarıçapı alındığında geometrik tutarlılık sağlayamayınca, taban yarıçapı 55 m'ye yükseltilmiştir.

Modelleme çalışması ilk dilimle başlamış ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, boş ilk çukur dilimine dökülmüştür. Yığınlar uzun yaysal kümeler halinde sıralanmadığından etekleri, direkt yana döküm uygulamasına uygun olarak boş dilim içerisinde kalmış ve kömür damarı ile dilim şevine tırmanmamıştır. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 13. setten sonra sabitlenmektedir. Böylece, çekme-kepçe ve pano boyutlarının uyduğu ve tasarımda geometrik tutarlılığın sağlandığı söylenebilir. İlk dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 4.22'de gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.9 ve 4.10'da sunulmuştur.

İlk dilimdeki başarıdan sonra modelleme çalışması, ikinci dilimle devam etmiş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, ilk dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Burada da yığınlar uzun yaysal kümeler halinde sıralanmadığından etekleri, doğrudan döküm uygulamasına uygun olarak boş dilim içerisinde kalmış ve kömür damarı ile dilim şevine tırmanmamıştır. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 8. setten sonra sabitlenmektedir. Böylece, çekme-kepçe ve pano boyutlarının uyduğu ve tasarımda geometrik tutarlılığın sağlandığı söylenebilir. İkinci dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 4.23'de gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.11 ve 4.12'de sunulmuştur.



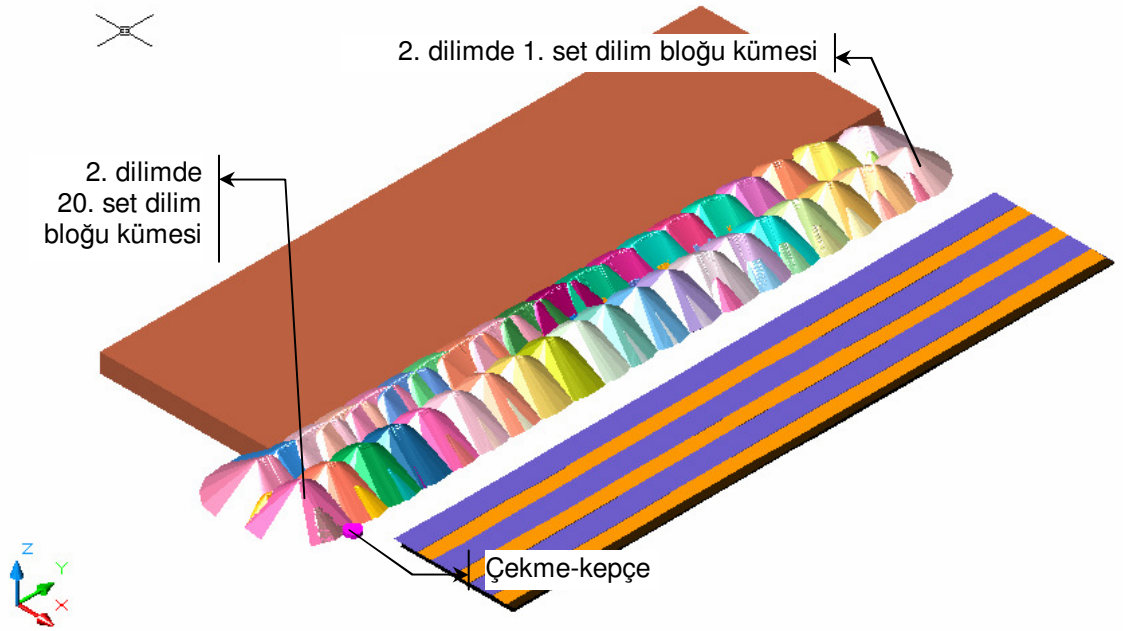
Şekil 4.22 İlk dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

Çizelge 4.9 İlk dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	27	12505	67,08	67,08	67,08
2	1,000	1	27	12674	69,31	69,31	70,37
3	1,000	9	27	12212	67,64	75,15	75,15
4	1,000	16	27	12674	69,26	84,26	83,38
5	1,000	11	30	12682	75,04	85,04	86,78
6	1,000	14	30	12028	77,00	90,00	91,83
7	1,000	17	30	12293	79,62	97,97	96,60
8	1,000	23	30	11805	76,35	98,35	100,73
9	1,000	29	30	12508	74,23	102,23	105,23
10	1,000	32	30	12575	73,29	104,29	107,22
11	1,000	35	30	12533	72,99	106,99	110,06
12	1,000	38	30	11795	71,63	108,63	111,53
13	1,000	40	30	12205	71,10	110,00	112,73
14	1,000	40	30	12065	72,83	111,44	114,93
15	1,000	38	30	12225	75,20	112,20	115,87
16	1,000	44	30	12261	69,86	112,73	116,05
17	1,000	45	30	12883	70,31	114,31	117,46
18	1,000	41	30	12476	73,83	113,83	117,11
19	1,000	33	30	12084	74,22	106,31	110,48
20	1,000	8	30	12443	89,58	96,58	100,68

Çizelge 4.10 İlk dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	8	45	41614	57,42	64,42	55,67
2	1,000	12	50	42094	65,64	76,64	73,70
3	1,000	8	55	42101	74,76	81,76	85,69
4	1,000	15	55	41522	73,42	87,42	90,61
5	1,000	20	55	41958	73,10	92,10	95,62
6	1,000	19	55	40281	77,76	96,76	102,03
7	1,000	25	55	41046	76,20	100,20	105,65
8	1,000	28	55	42133	76,08	103,08	109,40
9	1,000	32	55	40866	74,56	105,56	110,36
10	1,000	36	55	41434	73,12	108,12	114,23
11	1,000	37	55	42605	74,66	110,66	117,19
12	1,000	40	55	41286	72,15	111,15	117,81
13	1,000	40	55	41587	73,82	112,82	119,53
14	1,000	39	55	40605	75,07	113,07	119,53
15	1,000	42	55	42304	72,37	113,37	119,69
16	1,000	43	55	42449	72,74	114,74	120,80
17	1,000	44	55	41885	71,54	114,54	120,77
18	1,000	37	55	41256	70,72	106,72	115,64
19	1,000	18	55	40717	79,07	96,07	105,78
20	1,000	11	55	40798	75,64	85,64	96,05



Şekil 4.23 İkinci dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

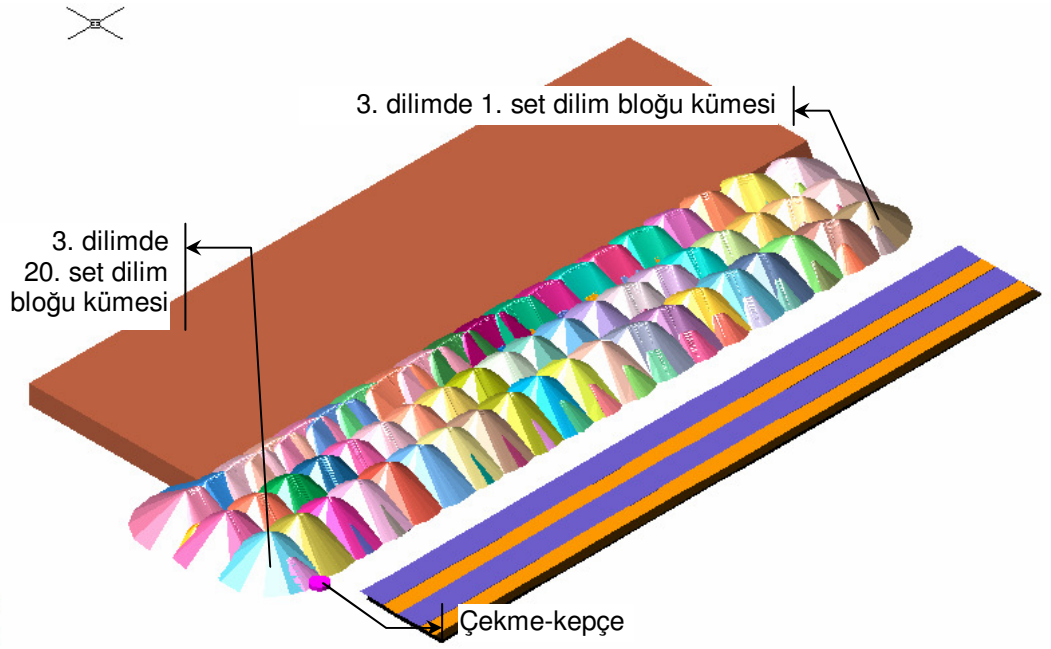
Modelleme çalışması üçüncü dilimle devam etmiş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, ikinci dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Geometrik tutarlılık devam etmektedir. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 8. setten sonra sabitlenmektedir. Üçüncü dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 4.24'de, kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.13 ve 4.14'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11 İkinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12660	66,43	66,43	66,43
2	1,000	1	25,85	12122	68,74	68,74	69,20
3	1,000	2	27	12230	67,61	68,61	69,60
4	1,000	5	27	12488	67,92	71,92	72,44
5	1,000	6	27	11984	68,60	73,60	74,06
6	1,000	9	27	12542	66,90	74,90	74,30
7	1,000	1	30	13580	75,90	75,90	78,72
8	1,000	1	30	13015	75,66	75,66	78,63
9	1,000	1	30	11943	76,63	76,63	80,28
10	1,000	1	30	12388	77,86	77,86	81,43
11	1,000	4	30	12422	75,08	78,08	81,00
12	1,000	2	30	12381	78,17	79,17	82,54
13	1,000	2	30	12318	77,77	78,77	82,10
14	1,000	3	30	11924	75,21	77,23	80,37
15	1,000	4	30	12333	75,39	78,40	81,28
16	1,000	5	30	11925	75,55	79,56	82,31
17	1,000	5	30	12534	78,68	82,68	85,53
18	1,000	8	30	12470	74,31	81,32	83,33
19	1,000	8	30	12175	74,79	81,79	84,18
20	1,000	3	30	12662	83,01	85,01	88,41

Çizelge 4.12 İkinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	45	43539	55,74	55,74	52,83
2	1,000	11	45	42140	57,76	67,76	65,47
3	1,000	4	50	41783	65,13	68,13	71,34
4	1,000	7	50	40829	66,75	72,75	75,94
5	1,000	10	50	41774	66,38	75,38	78,44
6	1,000	13	50	41441	64,28	76,28	78,96
7	1,000	13	50	41153	65,75	77,75	79,49
8	1,000	1	55	42275	74,99	74,99	82,07
9	1,000	1	55	41203	75,33	75,33	82,81
10	1,000	1	55	41289	77,03	77,03	84,28
11	1,000	4	55	41021	74,22	77,22	83,97
12	1,000	6	55	40962	71,66	76,66	82,16
13	1,000	5	55	41149	72,79	76,79	82,63
14	1,000	4	55	41496	75,03	78,03	84,56
15	1,000	6	55	42618	75,64	80,64	86,43
16	1,000	7	55	42674	76,63	82,63	88,64
17	1,000	10	55	41599	73,86	82,86	87,78
18	1,000	10	55	42101	74,74	83,74	89,28
19	1,000	7	55	41459	77,72	83,72	91,09
20	1,000	5	55	42106	79,11	83,11	91,25



Şekil 4.24 Üçüncü dilim kazısı sonrası çekme-kepçe panosu görünümü (Güneydoğudan izometrik bakış)

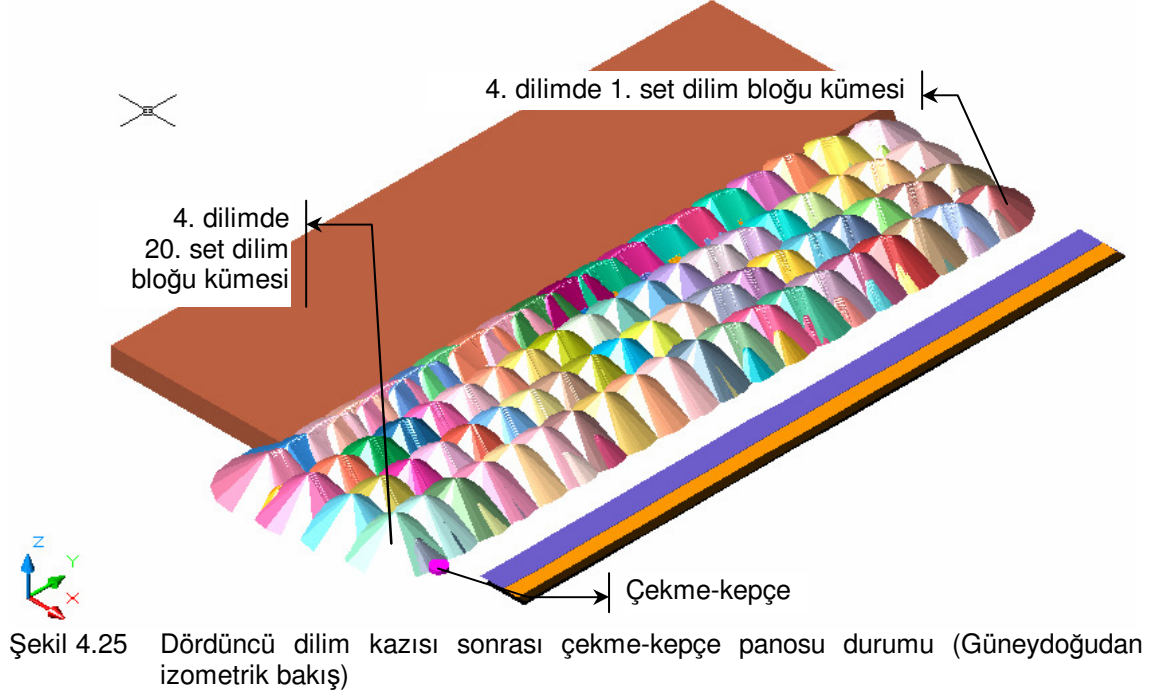
Çizelge 4.13 Üçüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12660	67,30	67,30	67,30
2	1,000	2	25,85	12061	67,35	68,27	68,89
3	1,000	5	25,85	12348	67,26	71,36	71,04
4	1,000	4	27	11969	69,84	72,78	73,86
5	1,000	6	27	12362	69,35	74,33	74,70
6	1,000	7	27	12127	69,08	69,08	75,08
7	1,000	10	27	12690	68,28	77,23	76,51
8	1,000	9	27	12424	70,99	78,95	78,83
9	1,000	3	30	12397	73,09	75,09	77,42
10	1,000	3	30	12688	76,57	78,53	81,65
11	1,000	5	30	12587	75,21	79,17	81,88
12	1,000	4	30	12115	76,89	79,86	83,02
13	1,000	4	30	12218	76,56	79,52	82,59
14	1,000	4	30	12620	77,53	80,49	83,55
15	1,000	4	30	12473	78,02	80,51	83,58
16	1,000	3	30	12631	79,21	81,21	84,43
17	1,000	4	30	12443	77,57	80,53	83,61
18	1,000	3	30	12163	78,55	80,51	83,93
19	1,000	4	30	12666	78,21	81,18	84,27
20	1,000	4	30	12384	76,92	79,92	82,97

Çizelge 4.14 Üçüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	2	45	41921	59,68	60,68	57,40
2	1,000	12	45	40410	58,40	69,40	67,89
3	1,000	3	50	40543	68,12	70,12	74,21
4	1,000	7	50	40693	66,45	72,45	75,93
5	1,000	10	50	41343	66,00	75,00	77,61
6	1,000	10	50	41783	68,77	77,77	81,04
7	1,000	13	50	41744	67,26	79,26	82,42
8	1,000	15	50	41586	66,01	80,01	82,29
9	1,000	1	55	43719	77,34	77,34	85,51
10	1,000	1	55	42155	79,21	79,21	86,99
11	1,000	3	55	41840	78,27	80,27	87,80
12	1,000	4	55	40980	76,81	79,81	87,27
13	1,000	4	55	42557	76,98	79,98	87,41
14	1,000	4	55	42261	77,38	80,38	87,65
15	1,000	5	55	42518	76,16	80,16	87,24
16	1,000	3	55	40914	78,37	80,37	87,69
17	1,000	3	55	41154	78,31	80,31	87,99
18	1,000	3	55	41746	78,63	80,63	88,28
19	1,000	4	55	41215	76,80	79,80	87,35
20	1,000	1	55	41003	78,22	78,22	88,04

Modelleme çalışmasındaki son aşaması dördüncü dilim olmuş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, üçüncü dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Geometrik tutarlılık devam etmektedir. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 10. setten sonra sabitlenmektedir. Dördüncü dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 4.25'te, kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 4.15 ve 4.16'da sunulmuştur.



Çizelge 4.15 Dördüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Kanal yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	25,85	12658	58,14	58,14	58,14
2	1,000	2	25,85	12148	66,37	67,37	67,75
3	1,000	5	25,85	11913	66,73	70,73	70,50
4	1,000	5	27	12636	70,05	74,05	74,67
5	1,000	5	27	11999	68,92	73,02	73,63
6	1,000	7	27	12522	68,01	74,10	74,05
7	1,000	8	27	12025	67,56	74,65	74,45
8	1,000	2	30	12627	70,71	71,71	74,09
9	1,000	1	30	12302	72,17	72,17	75,08
10	1,000	1	30	12729	74,79	74,79	77,64
11	1,000	1	30	12463	75,60	75,60	79,02
12	1,000	1	30	11704	74,46	74,46	78,06
13	1,000	1	30	12161	75,84	75,84	79,39
14	1,000	3	30	11927	72,78	74,86	77,86
15	1,000	5	30	12457	71,84	75,92	78,24
16	1,000	3	30	12595	75,54	77,54	80,59
17	1,000	3	30	12322	74,45	76,52	79,48
18	1,000	5	30	12321	71,10	75,10	77,44
19	1,000	2	30	11946	72,80	74,80	77,81
20	1,000	3	30	11962	74,50	75,58	78,84

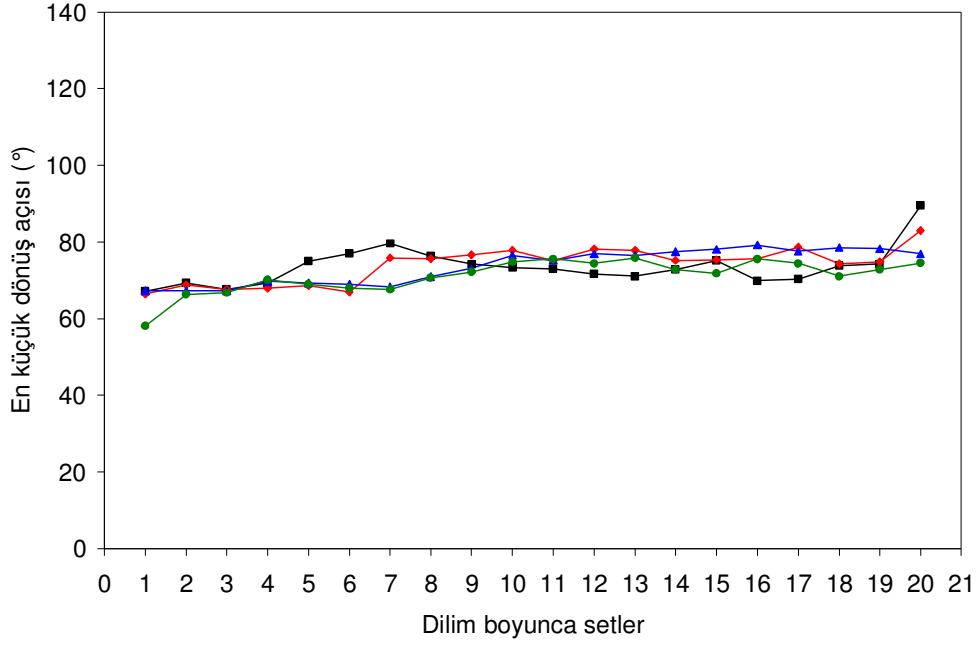
Çizelge 4.16 Dördüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	Merkez açısı (°)	Örtüşen koni adedi	Dilim yığın kümesi konilerinin taban yarıçapı (m)	Net hacim (m ³)	β_{\min} (°)	β_{\max} (°)	β_{ave} (°)
1	1,000	1	45	42248	58,77	58,77	55,72
2	1,000	12	45	41887	59,43	70,73	68,72
3	1,000	5	50	41065	65,13	69,13	72,45
4	1,000	9	50	41012	63,82	71,82	74,14
5	1,000	9	50	40954	64,91	72,91	75,94
6	1,000	11	50	42128	65,56	75,56	78,11
7	1,000	14	50	41488	62,52	75,52	77,50
8	1,000	12	50	41115	64,85	75,85	78,92
9	1,000	12	50	40292	65,42	76,42	79,44
10	1,000	1	55	43036	73,05	73,05	80,09
11	1,000	2	55	42507	72,77	73,77	80,50
12	1,000	2	55	42654	73,14	74,14	81,30
13	1,000	2	55	42604	74,11	75,11	82,08
14	1,000	1	55	42508	76,42	76,42	84,21
15	1,000	2	55	41602	75,53	76,53	84,58
16	1,000	3	55	41041	74,05	76,05	83,26
17	1,000	3	55	41984	73,98	75,98	79,31
18	1,000	4	55	41971	72,07	75,07	82,48
19	1,000	2	55	41691	74,24	74,24	83,58
20	1,000	1	55	41697	74,06	75,06	82,59

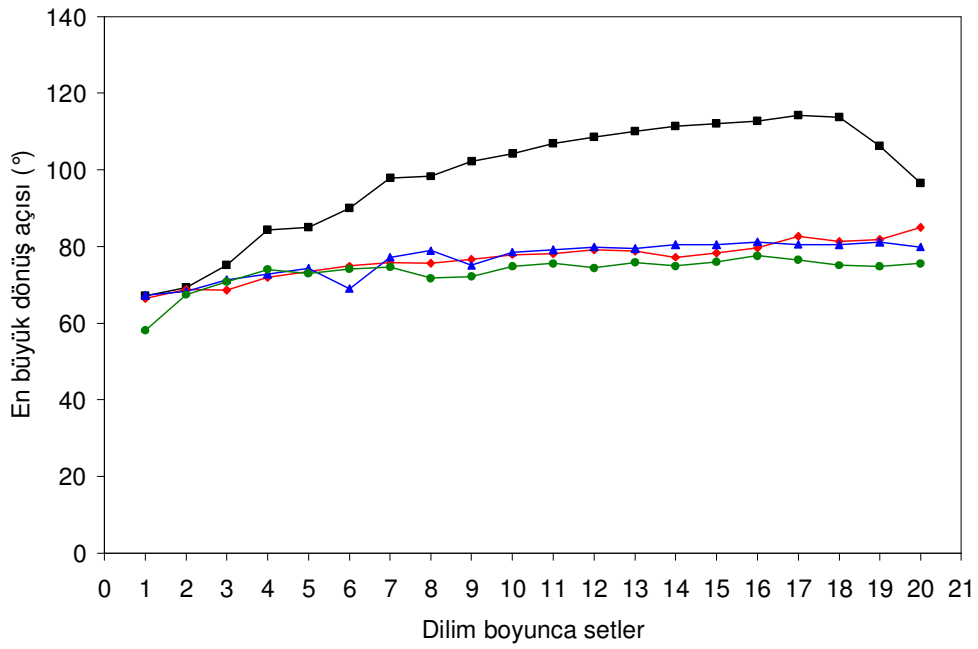
4.7.3 tartışma

Farklı taban yarıçaplarına sahip konilerin birleşim kümelerinden elde edilen yaysal kanal ve dilim kümelerine ait en büyük, ortalama ve en küçük dönüş açılarının setler ve dilimler boyunca değişimi Şekiller 4.26 – 4.31 arasında gösterilmektedir. Şekillerden aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

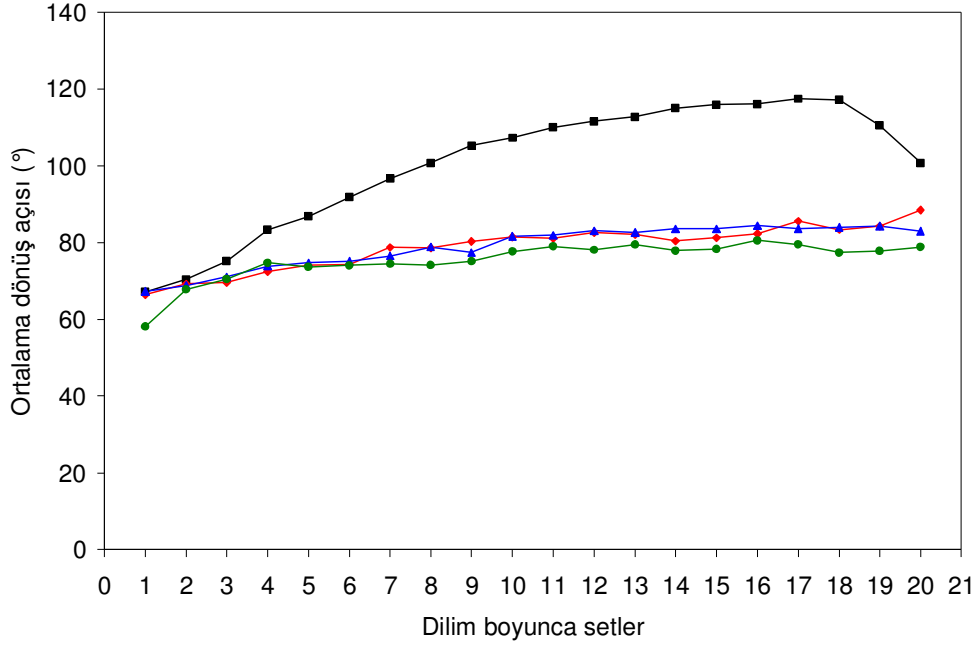
- i. İlk dilim kazısında, başlangıç setlerin kanal ve dilim blokları kümeleri dilim başlangıç ve bitiş uçları yüzeysel olarak kısıtlanmadığından serbest olarak dökülmüşler ve küçük taban yarıçaplı koniler gerekli hacmi sağlamıştır. Ancak kazı ve döküm işlemleri setler boyunca ilerledikçe, yığın kümeleri diğer yüzeyler tarafından kısıtlanmış dar bölgelerde oluşturulacağından ve yatay düzlemde döküm alanı kısıtı olduğundan, hacimsel genişleme ancak yukarı doğrultuda yapılabilmektedir. Dolayısıyla koni taban yarıçapları da giderek artırılmıştır. Böylece herhangi bir set için en büyük ve ortalama dönüş açıları yaysal kümeyi oluşturan konilerin taban yarıçapı ile negatif ilişkilidir. Koni taban yarıçapı büyüdükçe dönüş açısı küçülmektedir.
- ii. Kanal ve dilim kazılarında en büyük (β_{max}) ve ortalama (β_{ave}) dönüş açıları ilk dilimdeki başlangıç setlerinde hızla artmakta ve sabitlenme eğilimi göstermemektedir. Ancak 55 m'lik koni taban yarıçapına erişildiğinde dönüş açılarındaki artış yavaşlamıştır. Yine de ilk dilimin kalan setleri için açılar artmaya devam etmesi, koni taban yarıçapının büyütülmesinin geometrik tutarlılığa pozitif etki yapacağına işaret etmektedir. Ayrıca dönüş açıları 2. dilimde büyük oranda düşmekte, 3. ve 4. dilimlerde de düzenli küçük azalmalar göstererek, düşük değerleri korumaktadır. Bu da, başlangıçta kabul edilen dilim geometrisi boyutlarının değişmeyeceği kabulü ile çekme-kepçe panosundaki tüm dilimlerin direkt yana döküm yöntemi ile kazılabileceğini göstermektedir.
- iii. Örtü malzemesi, kanal ya da dilim bloklarından kazılmasına bakılmaksızın, yığın kümesi kömür üzerine tırmanmayacak şekilde en küçük yay takip edilerek dökülmektedir. Bu nedenle en küçük dönüş açısı (β_{min}) dilimdeki ardışık setler boyunca ilerlemeden bağımsız olup, sabittir. Ayrıca bu açı, geometrik tutarlılığın oluşması sonucunda, dilimler ilerledikçe küçük düşmeler göstermektedir.



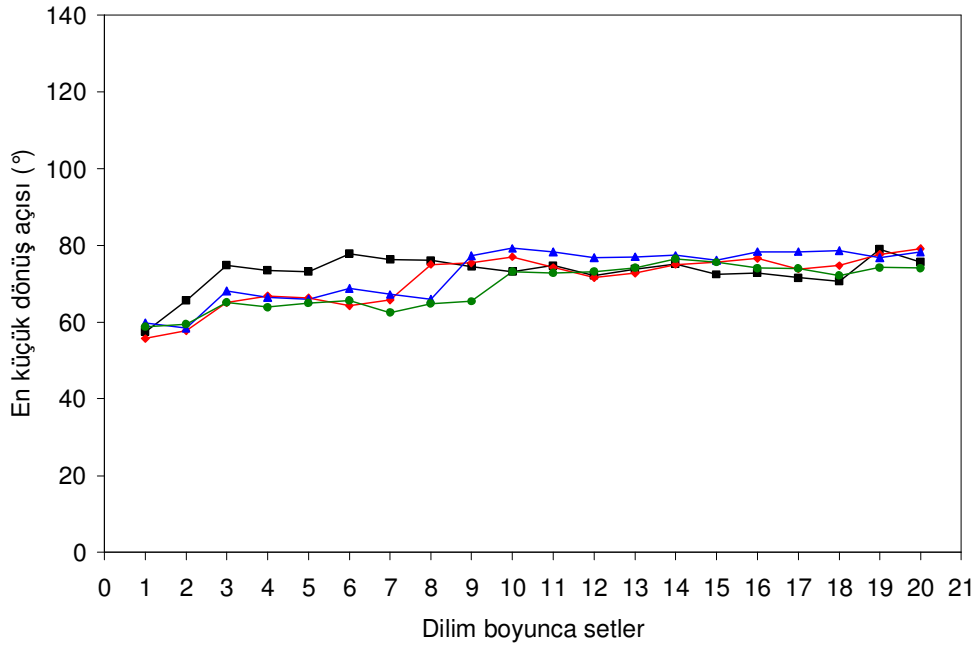
Şekil 4.26 Yaysal kanal kümelerine ait en küçük dönüş açıları (β_{\min})



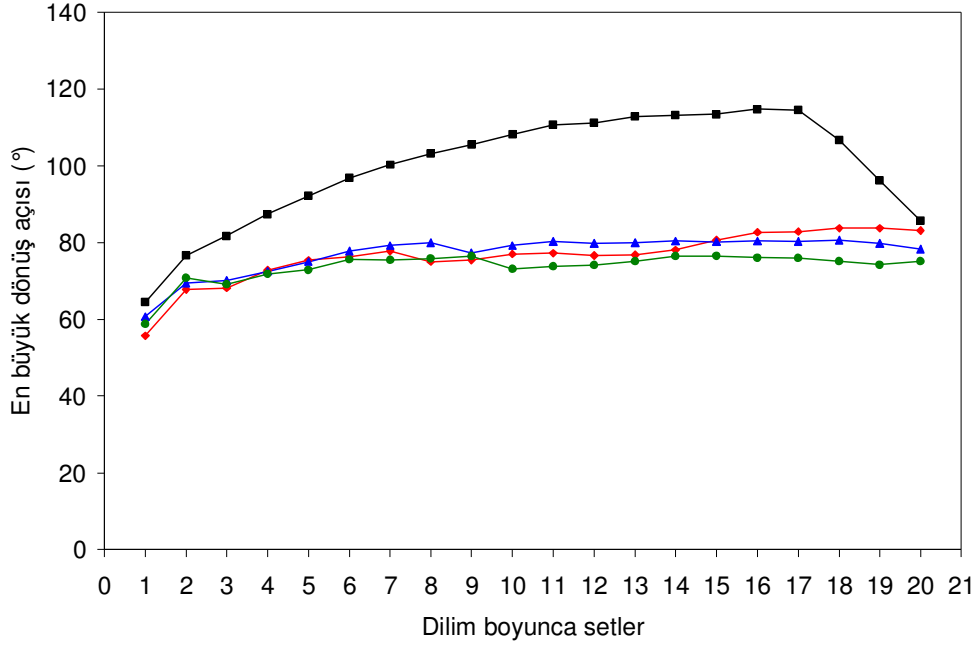
Şekil 4.27 Yaysal kanal kümelerine ait en büyük dönüş açıları (β_{\max})



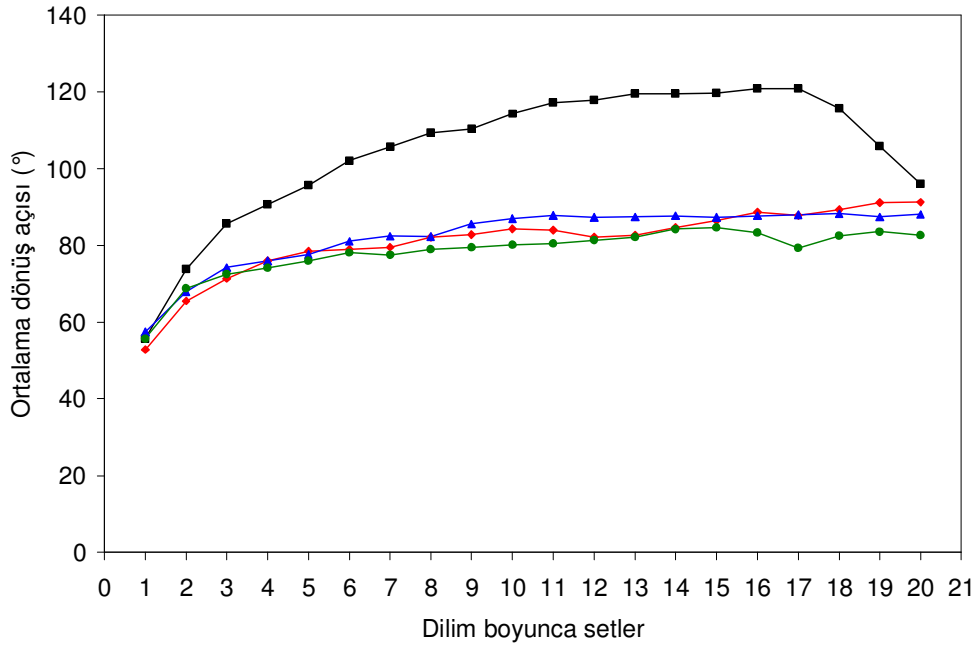
Şekil 4.28 Yaysal kanal kümelerine ait ortalama dönüş açıları (β_{ave})



Şekil 4.29 Yaysal dilim kümelerine ait en küçük dönüş açıları (β_{min})



Şekil 4.30 Yaysal dilim kümelerine ait en büyük dönüş açıları (β_{max})



Şekil 4.31 Yaysal dilim kümelerine ait ortalama dönüş açıları (β_{ave})

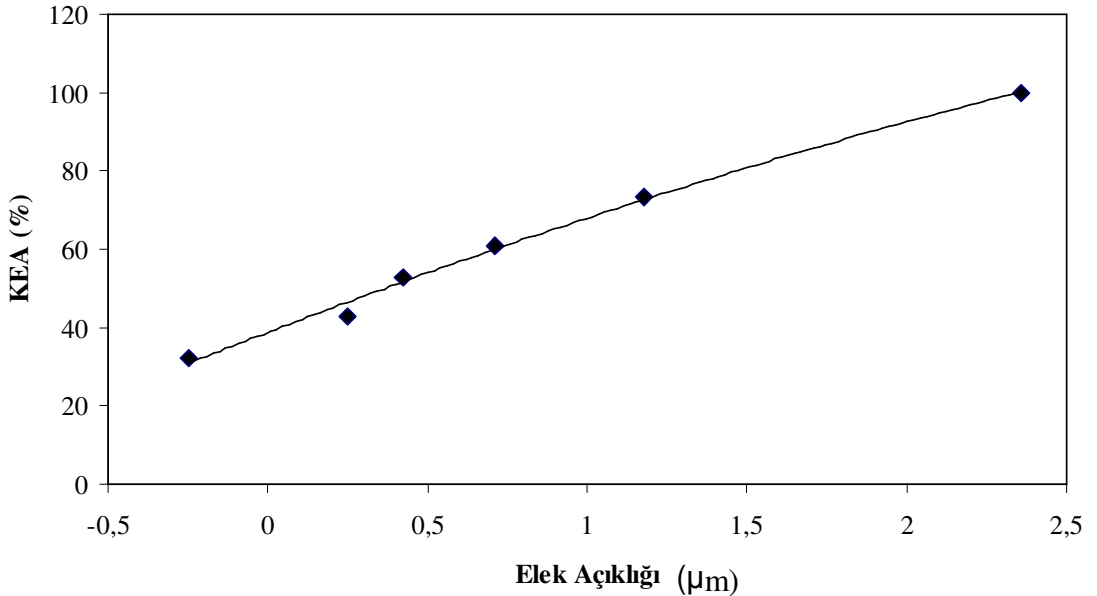
FİZİKSEL ÇEKME-KEPÇE BENZETİM MODELİ

5.1 Giriş

Modelleme çalışmasının ikinci bölümü temel çekme-kepçe örtükazı yöntemlerinin ölçeklendirilmiş bir model kum havuzunda benzetimine ayrılmıştır. Çekme-kepçe modelleme tablası ile operatörlerin ve saha mühendislerinin eğitimi yapıldığında; kullanım, üretim yöntemleri eğitimi, konumlandırma ve yürütme gibi pek çok konuda görsel olarak bilgi verilebilmekte, karşılaşılabilen problemler çok daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Böylece işletmelerde çekme-kepçe çalışma verimi artmakta, daha güvenli ve etkili üretim yapılmaktadır. Benzer şekilde proje mühendislerine eğitim verildiğinde kazı yöntemlerinin uygulanabilirliği incelenmekte, gerçek ölçekli çalışma sistemi işleyişinin benzetimi yapılabilmekte ve modelleme sisteminin geçerliliği sağlandıktan sonra gerçek örtükazı uygulaması hakkındaki senaryolara cevap aranabilmektedir.

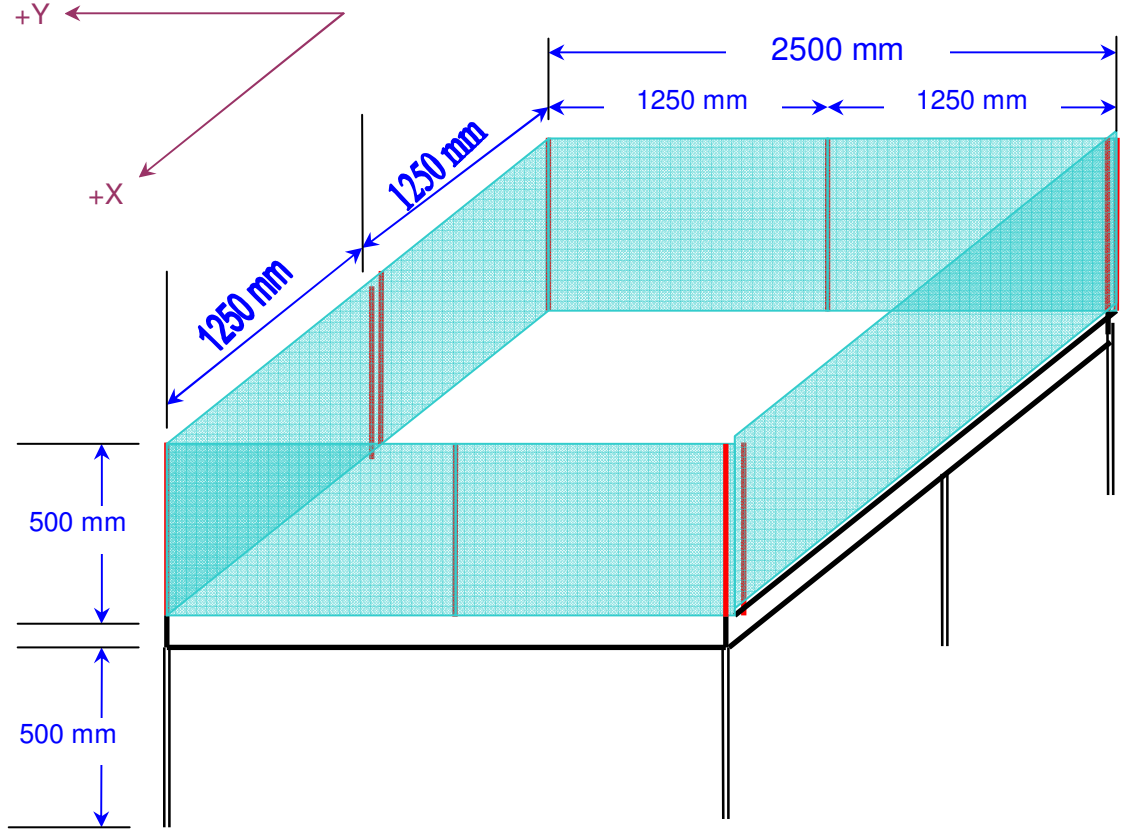
5.2 Materyal

Çalışmada Sivas Çimento Fabrikası'ndan temin edilen killi toprak numune kullanılmıştır. Yaklaşık 2 t killi toprak öncelikle oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış, ardından da boyut küçültme ve eleme işlemleri uygulanmıştır. Numunenin elek analizi, örtü malzemesini temsil eden toprağın asal olarak çok ince ve çok iri boyutlu bileşenlerden oluştuğunu göstermektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Kullanılan killi toprağın elek analizi

Çekme-kepçe işletme yöntemlerinin benzetim çalışmaları ölçeklendirilmiş bir modelleme tablasında (kum havuzu) yapılmıştır. Tabla 2500 mm × 2500 mm × 1000 mm boyutlarındadır ve tam dolu halde iken yaklaşık 5 t toprak taşıyabilmektedir (Şekil 5.2). Konstrüksiyon, bu kütleyi destekleyecek güçte kalın çelik plakalardan oluşmuş olup taban şasisi, tam yüklü iken bile sehim yapmayacak şekilde destek elemanları ile güçlendirilmiştir.



Şekil 5.2 Model tablası boyutları

Çekme-kepçe tarafından yapılan kazı ve döküm işlemlerinin benzetiminde bir dizi basit ölçüm aracından yararlanılmıştır. Hacim ölçümünde taban çapı 10,25 cm, yüksekliği 19,69 cm ve hacmi 1624,74 cm³ olan silindirik bir kutudan yararlanılmıştır (Şekil 5.3a). Silindiri toprakla doldurmak için küçük kürekler kullanılmıştır. Tepeleme dolan silindirin ağız kısmı küreğin tersi ile düzeltilerek, her seferinde kutunun silme kapasitesine erişilmiştir.

Bölüm 3'te değinilen 'geometrik duraylılık'ın belirlenmesi için çekme-kepçenin en küçük ve en büyük dönüş açılarının ölçülmesi gerekmektedir. Çekme-kepçenin döküm sırasında taradığı yay, merkez açı cinsinden, Şekil 5.3b'de görülen açıölçer kullanılarak ölçülmüştür. Açıölçer merkez noktası çekme-kepçe ağırlık merkezi ile örtüşecek şekilde konumlandırılmakta ve açılar, dilim uzun eksenini ile yığın tepe başlangıcı (β_{min}) ile bitimi (β_{max}) arasında kalan bölgeyi belirleyecek şekilde ölçülmektedir. Açı okumaları üç kez tekrarlanmakta ve bunların ortalaması kaydedilmektedir.

Döküm sonrasında oluşan yığınların taban çapı ve yükseklikleri Şekil 5.3c'de görülen 90 cm'lik ahşap kumpas ile ölçülmüştür. Açı ölçümlerinde olduğu gibi burada da çap ve yükseklik

okumaları, yığın boyunca farklı noktalardan olmak üzere beş kez tekrarlanmış ve bu okumaların ortalaması kaydedilmiştir.

Çekme-kepçe çalışma zarfı model havuz üzerinde Şekil 5.3'da görülen pergel ile işaretlenmektedir. Kol uzunluğu 69 cm olan pergel, ölçeklendirme sonrasında, üzerinde bulunan civata sayesinde gerekli açıklığa eriştirilmekte ve sıkıştırılarak sabitlenebilmektedir.



a. Silindirik kutu



b. Açılöçer



c. Kumpas



d. Pergel

Şekil 5.3 Ölçümlerde kullanılan araçlar

5.3 Öncül Çalışmalar

Modelleme tablasında sağlıklı benzetim yapılabildiğini sınamak amacıyla bir dizi öncül çalışma gerçekleştirilmiştir. Örtü malzemesi, her denemede farklı hacme sahip tekil koni ve yaycıl koniler halinde, çukur tabanını temsil eden metal zemine ve basamağı temsil eden toprak yüzey üzerine dökülmüştür. Malzemenin yerinde ve kabarmış blok hacimleri hesaplanarak, aralarındaki farklar belirlenmiştir.

5.3.1 Çukur tabanına (metal yüzeye) konik yığın dökümü

İlk olarak kömürü alınmış dilim çukuru tabanına örtü malzemesi dökümü ve yığın oluşturma benzetimi yapılmıştır. Yöntem, hacmi belli olan silindirik kutunun örtü malzemesi ile silme doldurulması, bunun metal yüzey üzerine kontrollü şekilde dökülerek düzenli geometriye sahip konik yığınlar oluşturulması ve koni hacminin, ölçülen boyutları aracılığıyla hesaplanmasından oluşmaktadır (Şekil 5.4). Böylece kazılan ve dökülen malzeme hacimleri karşılaştırılabilecek ve benzetimin başarımı tespit edilebilecektir. Bu aşamada kutu ve yığındaki malzeme kabarmış

halde olduğundan, kabarma katsayısı göz ardı edilmiştir. Yığın boyutlarının benzetim üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla da kazılan blok boyutu; bir, iki ve üç kutudan oluşacak şekilde artırılmış ve küçük (1 kutu), orta (2 kutu) ve büyük (3 kutu) konik yığınlar oluşturulmuştur. Yığın hacmi, taban çapı ile yüksekliği, farklı doğrultulardan olmak üzere üçer kez ölçülerek, ortalama değerler üzerinden hesaplanmıştır. Daha sonra, konik yığının hesaplanan hacmi ile kutudaki hacmi karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Çizelge 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.4 Kömürü alınmış dilim tabanına konik pasa dökümü

Çizelge 5.1 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

- i. Örtü malzemesi ince ve iri parçalardan oluştuğundan homojen yapıda değildir. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra iri boyutlu malzeme koni tabanına doğru yuvarlanarak burada birikmekte ve böylece yığın taban sınırları belirsizleşmektedir. Ölçümlerin farklı doğrultulardan üç kez alınmış olmasına rağmen numune özelliklerinden kaynaklanan bu durum, hacim hesaplarında karşılaşılan sorunların temel nedenini oluşturmaktadır.
- ii. Malzemenin kutudaki hacmi ile yığındaki hacmi arasında fark vardır. Malzemenin her iki durumda da kabarmış halde olması, farklılığın kabarma faktörüne adreslenemeyeceğine işaret etmektedir. Hacimsel farklılık büyük oranda, ölçüm aletlerinin düşük hassasiyete sahip olmasından ötürü, yapılan ölçümlerin doğruluğunun yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca silindirik kutu doldurulurken iri boyutlu parçaların arasında oluşan boşluklar, kutu hacminin tam olarak kullanılamamasına neden olmaktadır.
- iii. Hacimsel farklılık, yığın boyutu ile ters orantılıdır. Büyük yığında hacimler arasındaki fark %5’e düşmektedir. Bunun nedeni uzunluk ölçümlerindeki hatanın küçük boyutlu yığında büyük olması, ancak yığın boyutu büyüdükçe okuma hatasının görece küçük kalmasıdır.

Çizelge 5.1 Kömürü alınmış dilim tabanına konik döküm benzetimi sonuçları

Deneme	Silindirik kutu			Konik yığın				Fark		
	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Ortalama çap (cm)	Ortalama yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Yığılma açısı (°)	Hacim (cm ³)	Oran (%)	
KÜÇÜK YIĞIN (1 KUTU)	1	10,25	19,69	1624,74	27,87	8,70	1768,72	31,98	143,98	8,14
	2				28,73	8,50	1837,21	30,61	212,48	11,57
	3				27,80	8,80	1780,50	32,34	155,76	8,75
	4				27,53	8,70	1726,65	32,29	101,92	5,90
	5				27,50	8,00	1583,89	30,19	-40,85	-2,58
	6				27,40	8,60	1690,32	32,12	65,58	3,88
	7				26,70	7,90	1474,41	30,62	-150,33	-10,20
	8				26,73	8,30	1552,93	31,84	-71,80	-4,62
	9				26,97	8,40	1599,20	31,92	-25,54	-1,60
	10				27,37	7,20	1411,71	27,75	-213,03	-15,09
ORTA YIĞIN (2 KUTU)	1	10,25	19,69	1624,74	34,40	11,30	3500,77	33,30	251,30	7,18
	2				34,50	12,20	3801,60	35,27	552,13	14,52
	3				34,27	11,00	3381,47	32,70	131,99	3,90
	4				35,10	11,30	3644,70	32,78	395,22	10,84
	5				34,37	11,20	3463,07	33,10	213,60	6,17
	6				34,43	10,80	3352,36	32,10	102,88	3,07
	7				34,17	11,20	3422,88	33,25	173,41	5,07
	8				34,30	11,10	3418,85	32,91	169,37	4,95
	9				34,27	11,20	3442,95	33,17	193,47	5,62
	10				34,23	11,00	3374,89	32,73	125,41	3,72
BÜYÜK YIĞIN (3 KUTU)	1	10,25	19,69	1624,74	38,93	12,90	5119,19	33,53	244,98	4,79
	2				38,77	13,00	5114,80	33,85	240,59	4,70
	3				38,83	13,10	5171,89	34,01	297,68	5,76
	4				38,93	13,10	5198,56	33,94	324,35	6,24
	5				39,03	13,20	5265,19	34,07	390,97	7,43
	6				38,83	13,00	5132,41	33,80	258,20	5,03
	7				38,93	13,00	5158,88	33,74	284,66	5,52
	8				38,93	13,00	5158,88	33,74	284,66	5,52
	9				38,93	12,90	5119,19	33,53	244,98	4,79
	10				39,10	13,30	5323,21	34,23	449,00	8,43

5.3.2 Basamak yüzeyine (toprak zemine) konik yığın dökümü

Çekme-kepçe ile örtükazı benzetim çalışmaları, dilimden kazılan malzemenin basamak olarak kabul edilen toprak zemin üzerine dökülmesi ile sürdürülmüştür (Şekil 5.5). Önceki denemeden farklı olarak burada, kazılan bloğun boyutları ölçülerek, hacmi hesaplanmış ve basamak üzerine dökülerek oluşturulan konik yığının hacmi ile karşılaştırılmıştır. Blok boyutlarının benzetim üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla da, yine, küçük (bir kutu), orta (iki kutu) ve büyük (üç kutu) konik yığınlar üzerinde çalışılmıştır. Ulaşılan sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

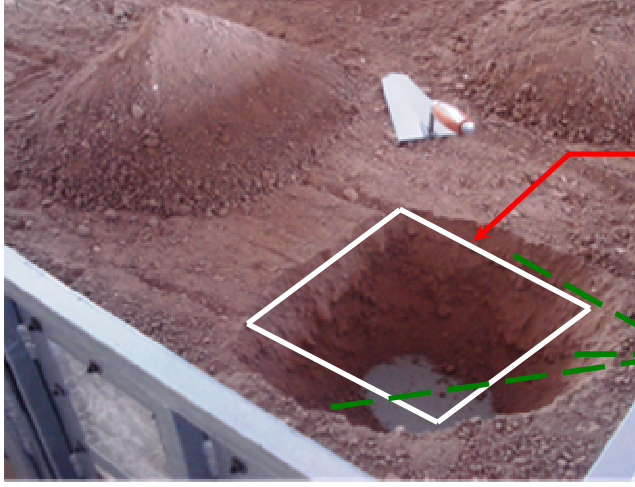


Şekil 5.5 Basamak üzerine konik pasa dökümü

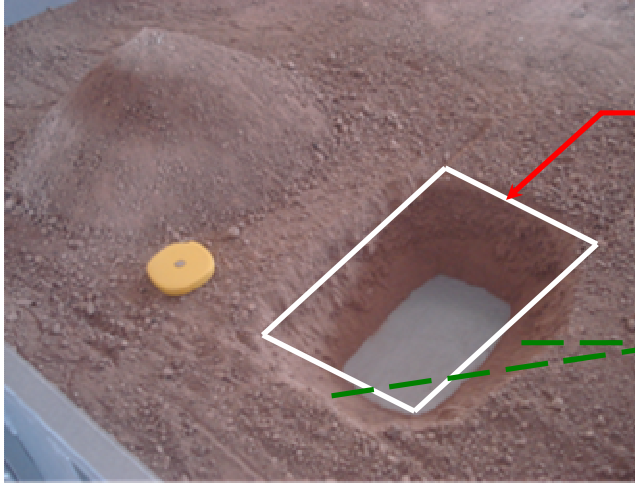
Çizelge 5.2 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

1. Kazı bloğu ile konik yığın hacimleri arasında fark vardır. Yığın boyutundan bağımsız olarak dalgalanan bu farkın kısmen, önceki denemedeki gibi malzemenin boyutsal olarak heterojen olmasından kaynaklandığı, iri boyutlu malzemenin konik yığın eteğinde toplanarak bunun tabanda kapladığı alanı belirsizleştirdiği ve boy ölçümlerinde hataya yol açtığı düşünülmektedir. Ancak asıl fark, kullanılan killi toprak numunesinden kaynaklanmaktadır. Önceden belirlenen boyutlara sahip bir bloğun kazısı yapılırken, gevşek toprak malzemenin duraysız olması nedeniyle blok duvarlarında akma ve göçmeler oluşmakta, bu nedenle blok hacmi, olması gerekenden oldukça farklı çıkabilmektedir. Bu sorun ile tüm deneylerde karşılaşılmıştır.
2. Modelleme havuzundaki örtü malzemesi kazı işlemleri öncesinde eğimsiz olacak şekilde düzleştirilmektedir. Takiben önceden belirlenen bir dilim paternine uygun şekilde karelaja bölünüp, boyutlandırılmakta ve blok kazısı yapılmaktadır. Ancak yukarıda değinilen malzeme duraysızlığından ötürü blok şevlerinde akma ve göçmeler meydana gelmekte, blok boyutları ve hesaplanan hacmi büyümektedir. Bu durum, blok hacminin büyük çıktığı tüm vakaların temel nedenidir. Ancak kazı bloğu büyüdükçe, şevlerin bozularak hacmin büyümesi, blok boyutlarına göreli olarak küçük kalmakta ve hata oranı azalmaktadır. Bu problem Şekil 5.6'da betimlenmektedir.

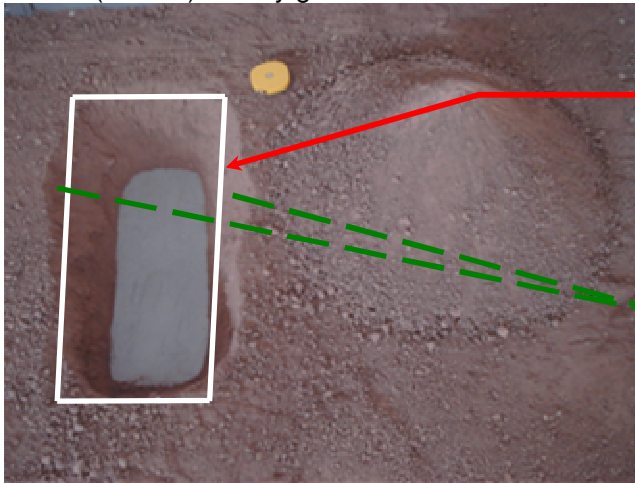
3. Malzeme yerinde iken tam pekiştirilmiş konumda olmasa da bir miktar sıkışmakta ve yığına döküldüğünde kabarma meydana gelmektedir. Minimal orandaki kabarma, hacimler arasında küçük farklılıklara neden olmaktadır.



a. Küçük (bir kutu) konik yığın



b. Orta (iki kutu) konik yığın



c. Büyük (üç kutu) konik yığın

Şekil 5.6 Küçük, orta ve büyük kazı bloklarında şev yenilmeleri kaynaklı geometri bozulmaları

Çizelge 5.2 Basamak yüzeyine konik döküm benzetimi sonuçları

Deneme	Dilim						Konik yığın					Fark			
	Taban yüzeyi			Tavan yüzeyi			Yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Yığılma açısı (°)	Hacim (cm ³)	Oran (%)	
	En (cm)	Boy (cm)	Alan (cm ²)	En (cm)	Boy (cm)	Alan (cm ²)									
(1 KUTU)	1	19,25	14,00	269,5	33,00	37,83	1248,4	19,20	14571,7	55,73	16,07	13066,6	29,97	-1505,1	-11,5
	2	15,60	16,48	257,1	36,33	36,13	1312,4	19,50	15302,7	53,18	13,55	10030,5	27,01	-5272,2	-52,6
	3	11,00	11,50	126,5	31,67	34,83	1103,1	18,85	11588,7	51,10	17,65	12065,8	34,64	477,1	3,9
	4	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	4874,2	39,60	10,90	4474,9	28,83	-399,3	-8,9
	5	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	6499,0	43,93	13,40	6770,1	31,39	271,2	4,0
(2 KUTU)	1	14,63	35,00	511,9	37,00	54,00	1998,0	17,90	22463,4	68,70	18,73	23143,0	28,60	679,6	2,9
	2	17,83	30,83	549,7	35,67	49,00	1747,8	19,70	22630,7	68,40	19,55	23945,7	29,75	1315,0	5,5
	3	16,33	32,83	536,1	41,10	52,67	2164,7	18,80	25388,0	68,20	19,65	23927,6	29,95	-1460,3	-6,1
	4	18,50	33,00	610,5	34,25	49,00	1678,3	17,25	19740,5	63,93	18,55	19848,2	30,13	107,8	0,5
	5	18,00	31,00	558,0	34,00	47,50	1615,0	17,50	19013,8	65,63	19,10	21538,1	30,20	2524,3	11,7
(3 KUTU)	1	20,83	57,33	1194,2	38,13	77,63	2959,4	17,75	36863,5	78,90	24,65	40173,5	32,00	3310,0	8,2
	2	17,13	50,67	867,7	33,50	71,38	2391,1	20,35	33158,2	77,90	22,75	36143,1	30,29	2984,9	8,3
	3	20,00	53,30	1066,0	26,20	73,67	1930,2	18,75	28088,9	74,60	22,15	32271,6	30,70	4182,6	13,0
	4	19,17	48,83	936,1	37,25	64,00	2384,0	19,25	31955,7	74,17	21,45	30892,5	30,05	-1063,2	-3,4
	5	20,25	49,83	1009,1	33,30	66,30	2207,8	19,40	31203,4	75,60	22,85	34190,0	31,15	2986,5	8,7

5.3.3 Basamak yüzeyine (toprak zemine) yaysal döküm

Öncül çalışmaların üçüncü aşaması basamak zemini üzerinde yaysal yığın konisi oluşturma benzetimine ayrılmıştır. Yaysal koniler daha büyük alana yayıldığı için önceki denemelere ek olarak 4 kutu hacminde de toprak kullanılarak yaysal koniler elde edilmiştir (Şekil 5.7). Yaysal yığınlar malzemenin çekme-kepçe çalışma zarfı boyunca, malzemenin blok içine akmayacağı şekilde en küçük dönüş açısından başlamak üzere dökülmesi ile oluşturulmuştur. 2, 3 ve 4 kutu toprağın kullanıldığı döküm çalışmalarında yaysal yığının fazla uzamaması için ardışık kutular üst üste dökülmüştür. Çekme-kepçe çalışması sırasında oluşan en küçük ve en büyük dönüş açıları kaydedilerek, zeminde çekme-kepçe çalışma zarfı tarafından belirlenen yay üzerinde oluşan her koninin boyutları ölçülmüş, hacmi hesaplanmış ve dilimden kazılan malzeme hacmi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.3'te görülmektedir.



a. Küçük (bir kutu) yaysal yığın



b. Orta (iki kutu) yaysal yığın



c. Büyük (üç kutu) yaysal yığın



d. Çok büyük (dört kutu) yaysal yığın

Şekil 5.7 Küçük, orta, büyük ve çok büyük yaysal yığın

Önceki denemelere benzer şekilde burada da, kazı bloğu geometrisi büyüdükçe hacimler arasındaki fark azalmaktadır. Örnek olarak, dört kutu toprak dökülerek oluşturulan yaysal konilerin hacmi, kullanılan malzeme hacmi ile karşılaştırıldığında ortalama %2 kadar fark bulunmaktadır. Bu fark malzemenin kutu ile yığın içerisindeki kabarma faktörlerinin farklı olmasına bağlanabileceği gibi, zemin üzerindeki yaysal koni geometrisini belirleyen koni taban çapı ve yüksekliğindeki değişmelere de atfedilebilir. Hacim hesaplarında yaysal koni, çekme-

kepçe çalışma zarfı üzerindeki en küçük dönüş açısına dökülen bir tekil koninin en büyük dönüş açısına kadar dairesel yörünge üzerinde uzatılmasından elde edilen bir cisim olarak alınmaktadır. Ancak yaysal koni üzerindeki her noktanın eşit taban çapı ve yüksekliğine sahip olmaması nedeniyle cisim büzüşüp, genişleyebilmektedir. Boyutların çok sayıda noktadan ölçüm yapılarak belirlenmesine ve hacim hesaplarında bunların ortalamalarının kullanılmasına rağmen, hacimler arasındaki farktan sorumlu olma olasılığı büyüktür.

5.4 Doğrudan Döküm Benzetimi

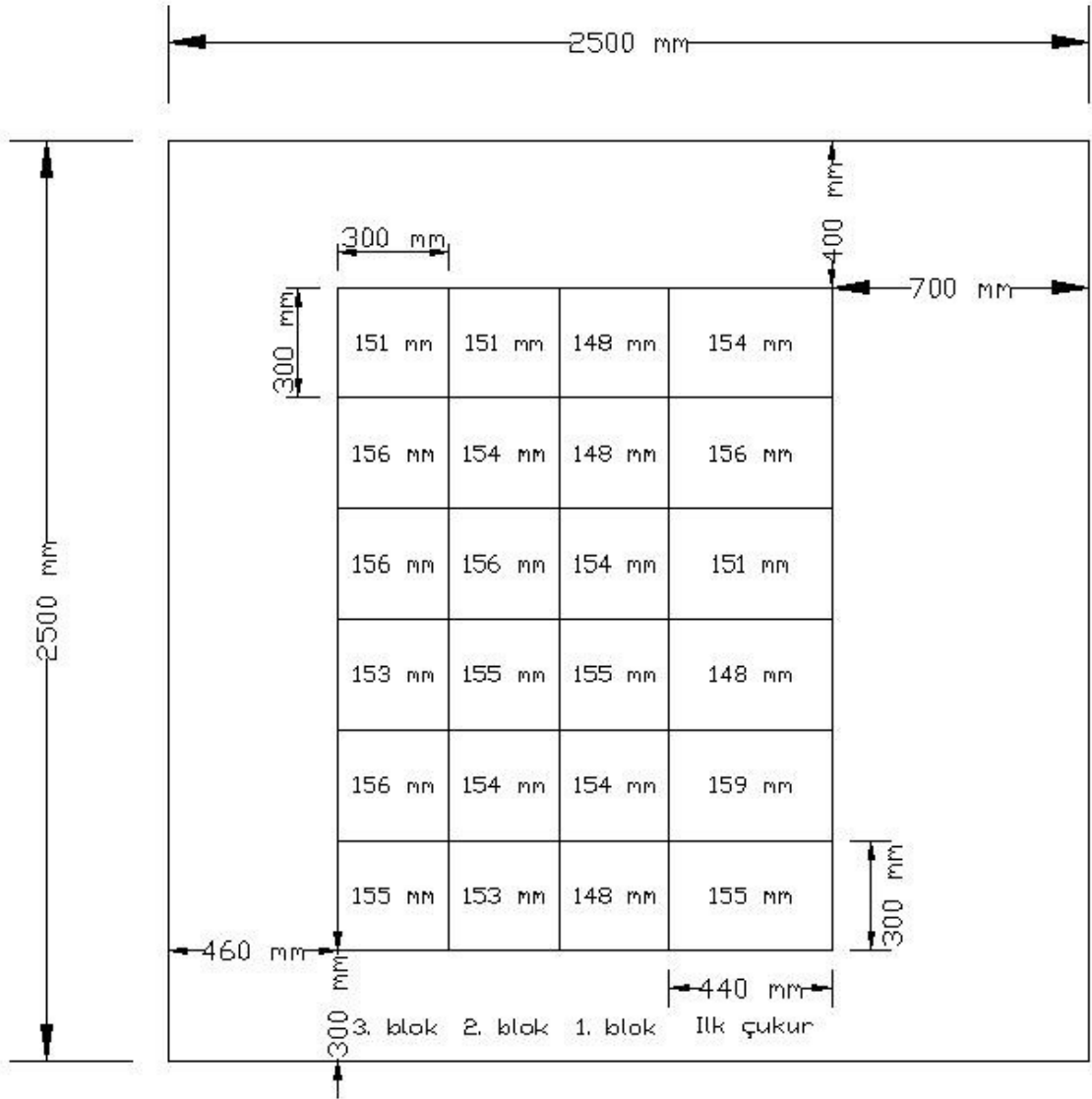
Öncül çalışmalarda yerinde ve yığında blok hacimlerinin hacimsel farklılığın oldukça düşük düzeye indirgenmesi sonucu doğrudan döküm yönteminin ölçekli modellenmesi yapılmıştır. Dilim boyutlarının çekme-kepçe çalışması üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

5.4.1 Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modellemesi

Doğrudan döküm örtükazı yönteminin ilk benzetim modellemesi için kum havuzu 1/100 ölçekli olarak hazırlanmıştır. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer üçü üretim bloğu olmak üzere toplam dört bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set boyu 30 cm (30 m) olan dokuz sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda altı set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal bir de dilim olmak üzere toplamda 12 kazı bloğu ve altı set bulunmaktadır. Çok ince olarak tasarlanan kömür tabakası kalınlığı 1 cm olduğundan (1 m) modelleme tablasında gösterilmemiştir. Önceki çalışmaların aksine örtü tabakası yerinde malzeme olarak kabul edilmiş ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 5.8'de verilmiştir. İlk çukur boyutları 44 cm × 30 cm, set boyutları 30 cm × 30 cm alınmıştır.

Bölüm 3'te öne sürülen 'geometrik duraylılık' kavramı göz önüne alındığında 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, yaklaşık 16 m kalınlığındaki örtü dilimini doğrudan döküm yöntemine uygun şekilde, kanal ve dilim blokları olarak kazabilmektedir. Sonuçlar Çizelge 5.4'de, örtükazı panosunun kazı ve döküm işlemlerinin aşamaları, ilk çukur, 1. dilim, 2. dilim ve 3. dilim olmak üzere Şekil 5.9'da sunulmuştur. Doğrudan döküm benzetiminin ilk denemesine ait tüm süreç Ek-A'da bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.

Pasa yığınlarının serbest yüzeyde oluşturulduğu öncül denemelerin aksine burada oluşturulan yaysal yığınların hacminin, boyutları üzerinden hesaplanması olanaksızdır. Çekme-kepçe çalışma zarfı izdüşümüne döküm yapılarak oluşturulan yaysal yığınlar birbirlerine ve çukur şevlerine yaslanmakta ve biçimsiz geometriye sahip yığınlar oluşmaktadır. Bu nedenle yığınların kabarmış hacimlerini, döküm harmanı üzerinde alınan boy uzunlukları ile hesaplamak olanak dışındadır. Çözüm olarak, malzemenin kazıldığı bloğun ölçülen boyutlarından hesaplanan hacmi (V_{SET}) ile bloktan çıkan malzemenin kutu içerisindeki hacmi ($V_{YIĞIN}$) kullanılmıştır. Çizelge 5.4 incelendiğinde yerinde ve yığında hacimler arasındaki farkın, dilimler ilerledikçe azaldığı ve %1,5 seviyelerinde sabitlendiği görülmektedir. Ancak kohezyonsuz gevşek malzeme, her dilimin başlangıç seti tekne şeklinde olduğundan boy ölçümlerini etkilemiş ve hacimler arası farkın büyük olmasına yol açmıştır.



Şekil 5.8 Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modelleme planı

Dilimlerin ilk seti daha küçük hacme sahip olduğundan yaysal değil, düzgün koni şeklinde dökülebilmektedir. Bu nedenle yığın başlangıç ve bitim uçlarını gösteren β_{\max} ve β_{\min} açıları aynı tepe noktasından alınmıştır. İlk doğrudan döküm benzetim çalışmasında tüm bloklar ve setlerde β_{\max} ve β_{\min} açıları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bölüm 3'de değinildiği üzere çekme-kepçe dönüş açıları başlangıç setinden itibaren artmakta, ancak çekme-kepçe-ocak boyutlarının eşleştirildiği durumda, birkaç set sonra artış yavaşlamakta ve sonunda sabitlenmektedir. Bu da, yığınların sabit geometriye sahip olduklarını ve giderek daha büyük yaysal alana ihtiyaç duymadıklarını göstermektedir. Geometrik duraylılık böylece sağlanmaktadır. Dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 5.10'da, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 5.11'de görülmektedir. Dönüş açıları başlangıçtan itibaren düşmeye başlamış ve 3. sette sabitlenmiştir. Açılarının düzenli büyümesi ardışık döküm yığınlarının daha büyük yaysal uzunluğa gereksinim duyacağını, böylece belirli bir ilerleme sonrasında yığınların kömür damarı üzerine tırmanarak ya tekrarkazı gerektiren bir kazı yöntemine geçilmesi ya da daha büyük erime sahip bir çekme-kepçe kullanılması gerektiğine işaret edecektir.

Çizelge 5.3 Basamak yüzeyine (toprak zemine) döküm benzetimi sonuçları

Deneme	Blok	Yaysal konik yığın							Fark			
	hacmi	Taban çapı	Yükseklik	Taban alanı	β_{\max}	β_{\min}	Çalışma yarıçapı	Yaysal hacim	Yığılma açısı	Hacim	Yüzde	
	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(°)	(°)	(cm)	(cm ³)	(°)	(cm ³)	(%)	
(1 KUTU)	1	13729,05	35,40	7,50	132,75	107	62	70	9758,89	22,96	-3970,17	-28,92
	2	12997,92	36,20	8,80	159,28	100	63	70	10219,13	25,93	-2778,79	-21,38
	3	12997,92	37,70	8,14	153,44	63	35	70	8277,75	23,36	-4720,17	-36,31
	4	12348,02	35,04	8,70	152,42	89	42	70	11548,90	26,41	-799,13	-6,47
	5	13810,29	33,04	7,60	125,55	87	29	70	11068,67	24,70	-2741,62	-19,85
	6	11373,18	34,94	8,38	146,40	77	38	70	9653,82	25,63	-1719,36	-15,12
	7	13404,11	31,60	7,52	118,82	72	8	70	11256,21	25,45	-2147,90	-16,02
	8	12997,92	32,60	8,12	132,36	81	21	70	11961,43	26,48	-1036,49	-7,97
	9	12997,92	32,02	8,14	130,32	83	15	70	13011,72	26,95	13,80	0,11
	10	12997,92	31,50	7,34	115,61	80	18	70	10663,48	24,99	-2334,44	-17,96
	11	12997,92	30,66	6,86	105,16	78	12	70	10168,05	24,11	-2829,87	-21,77
	12	12997,92	31,50	7,60	119,70	80	18	70	11041,21	25,76	-1956,71	-15,05
	13	12997,92	30,70	7,18	110,21	80	18	70	10119,95	25,07	-2877,97	-22,14
	14	13404,11	31,60	7,52	118,82	71	8	70	11111,05	25,45	-2293,06	-17,11
	15	14622,66	29,88	6,68	99,80	84	4	70	11315,59	24,09	-3307,07	-22,62
	16	14622,66	30,02	6,95	104,32	83	10	70	10943,61	24,85	-3679,05	-25,16
(2 KUTU)	1	14622,66	41,90	11,15	233,59	74	41	70	14542,51	28,02	-80,15	-0,55
	2	14622,66	42,60	11,05	235,37	71	40	70	14164,02	27,42	-458,64	-3,14
	3	12997,92	40,58	10,28	208,45	80	50	70	12068,85	26,86	-929,07	-7,15
	4	12997,92	39,55	10,18	201,21	75	38	70	13262,27	27,23	264,35	2,03
	5	12997,92	39,63	10,25	203,08	79	42	70	13393,33	27,35	395,41	3,04
	6	12997,92	40,93	10,40	212,81	79	50	70	12100,05	26,94	-897,87	-6,91
	7	13647,82	40,88	10,73	219,19	76	42	70	13796,16	27,69	148,35	1,09
	8	14622,66	42,50	11,28	239,59	77	42	70	15576,83	27,95	954,17	6,53
	9	13729,05	41,78	10,38	216,71	80	48	70	13212,40	26,41	-516,66	-3,76
	10	13647,82	40,85	10,53	214,97	81	46	70	13790,43	27,26	142,62	1,04

Çizelge 5.3 Basamak yüzeyine (toprak zemine) döküm benzetimi sonuçları (devam ediyor)

	Deneme	Blok	Yaysal konik yığın							Fark		
		hacmi	Taban çapı	Yükseklik	Taban alanı	β_{\max}	β_{\min}	Çalışma yarıçapı	Yaysal hacim	Yığılma açısı	Hacim	Yüzde
		(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(°)	(°)	(cm)	(cm ³)	(°)	(cm ³)	(%)
(3 KUTU)	1	14622,66	45,00	11,35	255,38	76	47	70	15065,11	26,77	442,45	3,03
	2	14622,66	46,98	12,25	287,72	77	52	70	15864,79	27,54	1242,13	8,49
	3	14622,66	46,90	13,03	305,44	80	57	70	16083,23	29,05	1460,57	9,99
	4	14622,66	46,13	11,60	267,53	82	55	70	15285,77	26,70	663,11	4,53
	5	14622,66	46,48	12,70	295,12	81	58	70	15474,14	28,66	851,48	5,82
	6	14622,66	47,58	12,80	304,48	81	57	70	16512,48	28,28	1889,82	12,92
	7	14622,66	46,05	12,10	278,60	80	55	70	15227,02	27,72	604,36	4,13
	8	14622,66	46,35	11,62	269,29	85	59	70	15089,54	26,63	466,88	3,19
	9	14622,66	46,03	12,06	277,53	81	55	70	15503,87	27,66	881,21	6,03
	10	14622,66	45,38	11,84	268,62	80	54	70	14914,67	27,56	292,01	2,00
(4 KUTU)	1	14622,66	48,16	14,13	340,25	78	64	70	14399,65	30,40	-223,01	-1,53
	2	14622,66	48,38	14,30	345,88	75	60	70	15099,46	30,59	476,80	3,26
	3	14622,66	48,00	14,16	339,84	81	65	70	15184,20	30,54	561,54	3,84
	4	14622,66	47,28	13,63	322,06	83	66	70	14661,04	29,96	38,38	0,26
	5	14622,66	46,98	13,13	308,27	75	56	70	14738,22	29,20	115,56	0,79
	6	14622,66	47,40	13,55	321,14	76	58	70	15032,24	29,76	409,58	2,80
	7	14622,66	47,68	13,08	311,68	80	63	70	14253,53	28,75	-369,13	-2,52
	8	14622,66	47,23	13,03	307,55	75	56	70	14744,03	28,88	121,37	0,83
	9	14622,66	47,48	13,08	310,37	78	60	70	14540,42	28,85	-82,24	-0,56

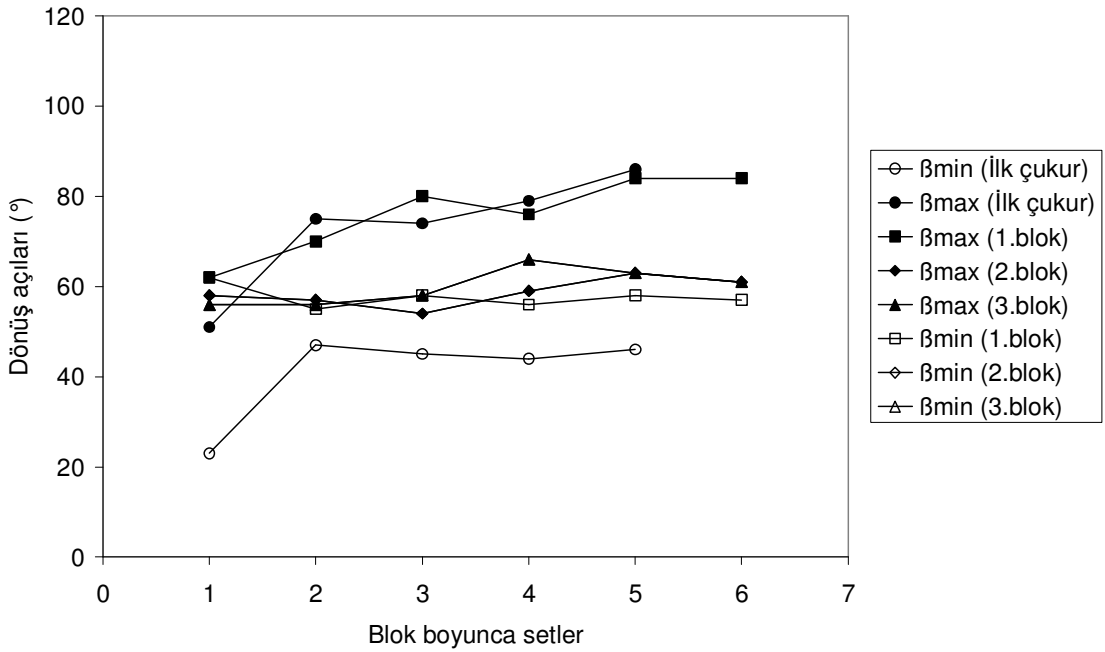
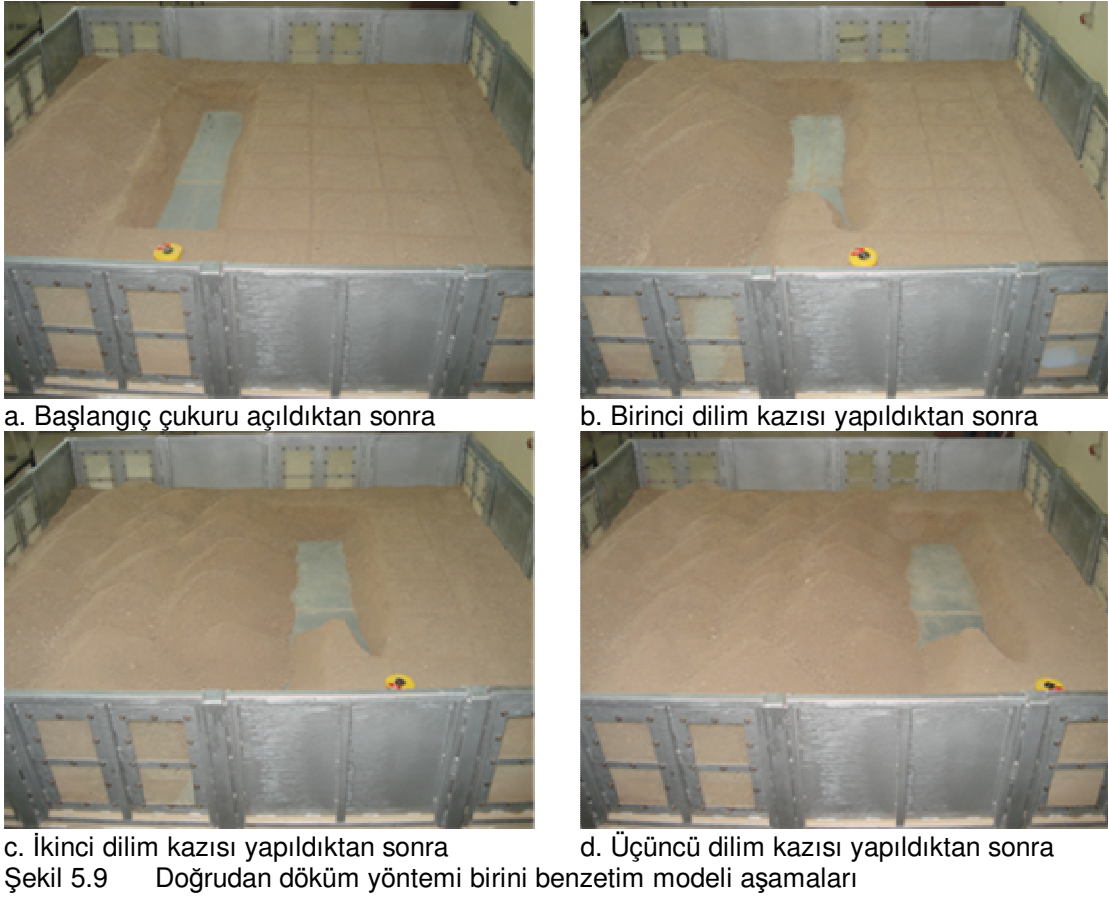
Çizelge 5.4 Doğrudan döküm yöntemi birinci benzetim modellemesi sonuçları

Dilimler	Başlangıç çukuru																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığılda BLOK				Fark	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)			(cm ³)			(m ³)	(%)
1	65,69	44,00	30,00	30,00	16,00	15,50	13411,07	1624,74	8,25	30,00	4023,32	2,48	10,73	17434,39	23,00	51,00	#YOK	#YOK
2	66,24	44,00	30,00	30,00	30,00	15,90	17543,02	1624,74	10,80	30,00	5262,91	3,24	14,04	22805,93	47,00	75,00	#YOK	#YOK
3	64,68	44,00	30,00	30,00	30,00	14,80	16328,04	1624,74	10,05	30,00	4898,41	3,01	13,06	21226,45	45,00	74,00	#YOK	#YOK
4	65,13	44,00	30,00	30,00	30,00	15,10	16660,31	1624,74	10,25	30,00	4998,09	3,08	13,33	21658,40	44,00	79,00	#YOK	#YOK
5	65,83	44,00	30,00	30,00	30,00	15,60	17211,21	1624,74	10,59	30,00	5163,36	3,18	13,77	22374,57	46,00	86,00	#YOK	#YOK
6	65,55	44,00	30,00	30,00	30,00	15,40	16990,13	1624,74	10,46	30,00	5097,04	3,14	13,59	22087,17	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK

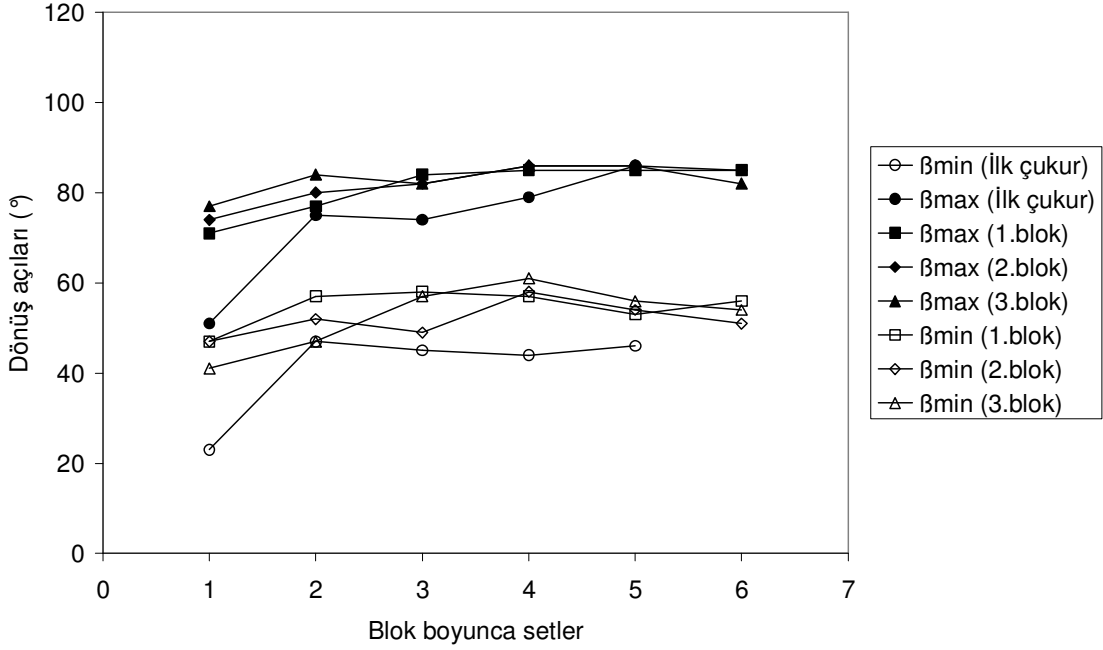
Dilimler	1. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)			(cm ³)				
1	64,69	30,00	30,00	30,00	16,00	14,80	10050,97	1624,74	6,19	30,00	3015,29	1,86	8,04	13066,26	62,00	62,00	47,00	71,00
2		30,00	30,00	30,00	30,00	15,40	13860,00	1624,74	8,53	30,00	4158,00	2,56	11,09	18018,00	55,00	70,00	57,00	77,00
3		30,00	30,00	30,00	30,00	15,50	13950,00	1624,74	8,59	30,00	4185,00	2,58	11,16	18135,00	58,00	80,00	58,00	84,00
4		30,00	30,00	30,00	30,00	15,40	13860,00	1624,74	8,53	30,00	4158,00	2,56	11,09	18018,00	56,00	76,00	57,00	85,00
5		30,00	30,00	30,00	30,00	14,80	13320,00	1624,74	8,20	30,00	3996,00	2,46	10,66	17316,00	58,00	84,00	53,00	85,00
6		30,00	30,00	30,00	30,00	14,80	13320,00	1624,74	8,20	30,00	3996,00	2,46	10,66	17316,00	57,00	84,00	56,00	85,00

Dilimler	2. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)			(cm ³)				
1	65,42	30,00	30,00	30,00	16,00	15,30	10390,87	1624,74	6,40	30,00	3117,26	1,92	8,31	13508,13	58,00	58,00	47,00	74,00
2		30,00	30,00	30,00	30,00	15,40	13860,00	1624,74	8,53	30,00	4158,00	2,56	11,09	18018,00	57,00	57,00	52,00	80,00
3		30,00	30,00	30,00	30,00	15,50	13950,00	1624,74	8,59	30,00	4185,00	2,58	11,16	18135,00	54,00	54,00	49,00	82,00
4		30,00	30,00	30,00	30,00	15,60	14040,00	1624,74	8,64	30,00	4212,00	2,59	11,23	18252,00	59,00	59,00	58,00	86,00
5		30,00	30,00	30,00	30,00	15,40	13860,00	1624,74	8,53	30,00	4158,00	2,56	11,09	18018,00	63,00	63,00	54,00	86,00
6		30,00	30,00	30,00	30,00	15,10	13590,00	1624,74	8,36	30,00	4077,00	2,51	10,87	17667,00	61,00	61,00	51,00	85,00

Dilimler	3. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)			(cm ³)				
1	65,70	30,00	30,00	30,00	16,00	15,50	10526,65	1624,74	6,48	30,00	3158,00	1,94	8,42	13684,65	56,00	56,00	41,00	77,00
2		30,00	30,00	30,00	30,00	15,60	14040,00	1624,74	8,64	30,00	4212,00	2,59	11,23	18252,00	56,00	56,00	47,00	84,00
3		30,00	30,00	30,00	30,00	15,30	13770,00	1624,74	8,48	30,00	4131,00	2,54	11,02	17901,00	58,00	58,00	57,00	82,00
4		30,00	30,00	30,00	30,00	15,60	14040,00	1624,74	8,64	30,00	4212,00	2,59	11,23	18252,00	66,00	66,00	61,00	86,00
5		30,00	30,00	30,00	30,00	15,60	14040,00	1624,74	8,64	30,00	4212,00	2,59	11,23	18252,00	63,00	63,00	56,00	86,00
6		30,00	30,00	30,00	30,00	15,10	13590,00	1624,74	8,36	30,00	4077,00	2,51	10,87	17667,00	61,00	61,00	54,00	82,00



Şekil 5.10 Doğrudan döküm benzetimi birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



Şekil 5.11 Doğrudan döküm benzetimi birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

5.4.2 Doğrudan döküm benzetimi ikinci benzetim modellemesi

Doğrudan döküm örtükazı yönteminin ikinci benzetim modellemesi için kum havuzu 1/100 ölçekli olarak hazırlanmıştır. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer üçü üretim bloğu olmak üzere toplam dört bloktan oluşması planlanmıştır. İkinci denemede set boyu (L_{SET}) 10 cm (10 m) artırılarak 40 m'ye çıkarılmış ancak dilim genişliği 30 cm'de (30 m) sabit bırakılmıştır. Başlangıç çukuru boyutları (dilim genişliği ve set boyu) 44 cm × 40 cm olarak alınırken set boyutları 30 cm × 40 cm olarak belirlenmiştir. Böylece ilk çukur bloğunda beş set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal bir de dilim olmak üzere toplamda 10 blok ve beş set bulunmaktadır. Kömür damarı kalınlığı 1 cm (1 m) ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 5.12'de verilmiştir. Öncelikle ilk çukur açılmış, daha sonra her biri 5 setten oluşan ardışık üç bloğun (1., 2. ve 3. bloklar) kazısı yapılmıştır. Doğrudan döküm benzetiminin ikinci denemesine ait tüm süreç Ek-A'da bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.

İkinci benzetim çalışması sonuçları Çizelge 5.5'de sunulmuştur. Çekme-kepçe, örtü dilimini tekrar kazı gerektirmeden kazabilmektedir. Başlangıç çukurundan itibaren tüm dilimlerin kazı benzetim aşamaları, Şekil 5.13'de verilmektedir. Başlangıç çukuru ve takip eden tüm dilimlerde çekme-kepçe en büyük dönüş açısı (β_{max}) ilk setlerde artmış ancak sonra sabitlenmiştir. Bu da, yaysal yığınların sabit bir geometriye sahip olduğunu ve daha uzun yayılma, diğer bir deyişle daha büyük hacim kaplama eğiliminde olmadığını göstermektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 5.14'de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 5.15'de görülmektedir.

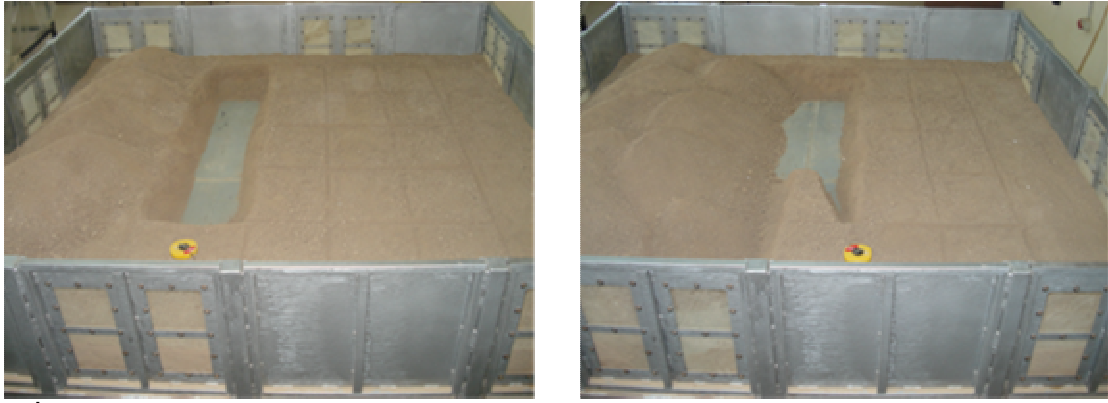
Çizelge 5.5 Doğrudan döküm yöntemi ikinci benzetim modellemesi sonuçları

Dilimler	İlk çukur																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığında BLOK				Fark	
	Φ_O	W _{ÜST}	W _{ALT}	L _{SETÜ}	L _{SETA}	H _O	V _{BOXCUT}	V _{KUTU}	n _{KUTU}	Katsayı	V _{BOXCUT}	n _{KUTU}	n _{KUTU}	V _{YIĞIN} (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)						(m ³)	(%)
1	65,69	44,00	30,00	40,00	26,00	15,50	19175,14	1624,74	11,80	30,00	5752,54	3,54	15,34	24927,68	46,00	75,00		
2	65,97	44,00	30,00	40,00	40,00	15,70	23096,16	1624,74	14,22	30,00	6928,85	4,26	18,48	30025,01	46,00	76,00		
3	65,13	44,00	30,00	40,00	40,00	15,10	22213,74	1624,74	13,67	30,00	6664,12	4,10	17,77	28877,86	45,00	77,00		
4	65,42	44,00	30,00	40,00	40,00	15,30	22508,72	1624,74	13,85	30,00	6752,62	4,16	18,01	29261,33	44,00	76,00		
5	66,10	44,00	30,00	40,00	40,00	15,80	23242,15	1624,74	14,31	30,00	6972,65	4,29	18,60	30214,80	51,00	80,00		

Dilimler	1. Blok																		
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığında SET			KANAL		DİLİM	
	Φ_O	W _{ÜST}	W _{ALT}	L _{SETÜ}	L _{SETA}	H _O	V _{SET}	V _{KUTU}	n _{KUTU}	Katsayı	V _{SET}	n _{KUTU}	n _{KUTU}	V _{YIĞIN} (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}	
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)								
1	65,42	30,00	30,00	40,00	26,00	15,30	15032,88	1624,74	9,25	30,00	4509,86	2,78	12,03	19542,75	51,00	68,00	51,00	65,00	
2		30,00	30,00	40,00	40,00	15,30	18360,00	1624,74	11,30	30,00	5508,00	3,39	14,69	23868,00	49,00	69,00	59,00	77,00	
3		30,00	30,00	40,00	40,00	15,30	18360,00	1624,74	11,30	30,00	5508,00	3,39	14,69	23868,00	74,00	74,00	61,00	83,00	
4		30,00	30,00	40,00	40,00	15,20	18240,00	1624,74	11,23	30,00	5472,00	3,37	14,59	23712,00	70,00	70,00	59,00	82,00	
5		30,00	30,00	40,00	40,00	15,70	18840,00	1624,74	11,60	30,00	5652,00	3,48	15,07	24492,00	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	

Dilimler	2. Blok																		
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığında SET			KANAL		DİLİM	
	Φ_O	W _{ÜST}	W _{ALT}	L _{SETÜ}	L _{SETA}	H _O	V _{SET}	V _{KUTU}	n _{KUTU}	Katsayı	V _{SET}	n _{KUTU}	n _{KUTU}	V _{YIĞIN} (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}	
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)								
1	65,83	30,00	30,00	40,00	26,00	15,60	15326,29	1624,74	9,43	30,00	4597,89	2,83	12,26	19924,18	49,00	49,00	54,00	65,00	
2		30,00	30,00	40,00	40,00	15,10	18120,00	1624,74	11,15	30,00	5436,00	3,35	14,50	23556,00	50,00	50,00	50,00	66,00	
3		30,00	30,00	40,00	40,00	15,00	18000,00	1624,74	11,08	30,00	5400,00	3,32	14,40	23400,00	58,00	65,00	54,00	70,00	
4		30,00	30,00	40,00	40,00	15,30	18360,00	1624,74	11,30	30,00	5508,00	3,39	14,69	23868,00	52,00	52,00	59,00	76,00	
5		30,00	30,00	40,00	40,00	15,40	18480,00	1624,74	11,37	30,00	5544,00	3,41	14,79	24024,00	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	

Dilimler	3. Blok																		
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığında SET			KANAL		DİLİM	
	Φ_O	W _{ÜST}	W _{ALT}	L _{SETÜ}	L _{SETA}	H _O	V _{SET}	V _{KUTU}	n _{KUTU}	Katsayı	V _{SET}	n _{KUTU}	n _{KUTU}	V _{YIĞIN} (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}	
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)								
1	65,97	30,00	30,00	40,00	26,00	15,70	15425,13	1624,74	9,49	30,00	4627,54	2,85	12,34	20052,67	57,00	57,00	56,00	73,00	
2		30,00	30,00	40,00	40,00	15,30	18360,00	1624,74	11,30	30,00	5508,00	3,39	14,69	23868,00	56,00	56,00	59,00	74,00	
3		30,00	30,00	40,00	40,00	15,10	18120,00	1624,74	11,15	30,00	5436,00	3,35	14,50	23556,00	56,00	56,00	59,00	77,00	
4		30,00	30,00	40,00	40,00	15,20	18240,00	1624,74	11,23	30,00	5472,00	3,37	14,59	23712,00	57,00	57,00	60,00	78,00	
5		30,00	30,00	40,00	40,00	15,50	18600,00	1624,74	11,45	30,00	5580,00	3,43	14,88	24180,00	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	



a. İlk çukur açıldıktan sonra

b. Birinci blok kazısı yapıldıktan sonra

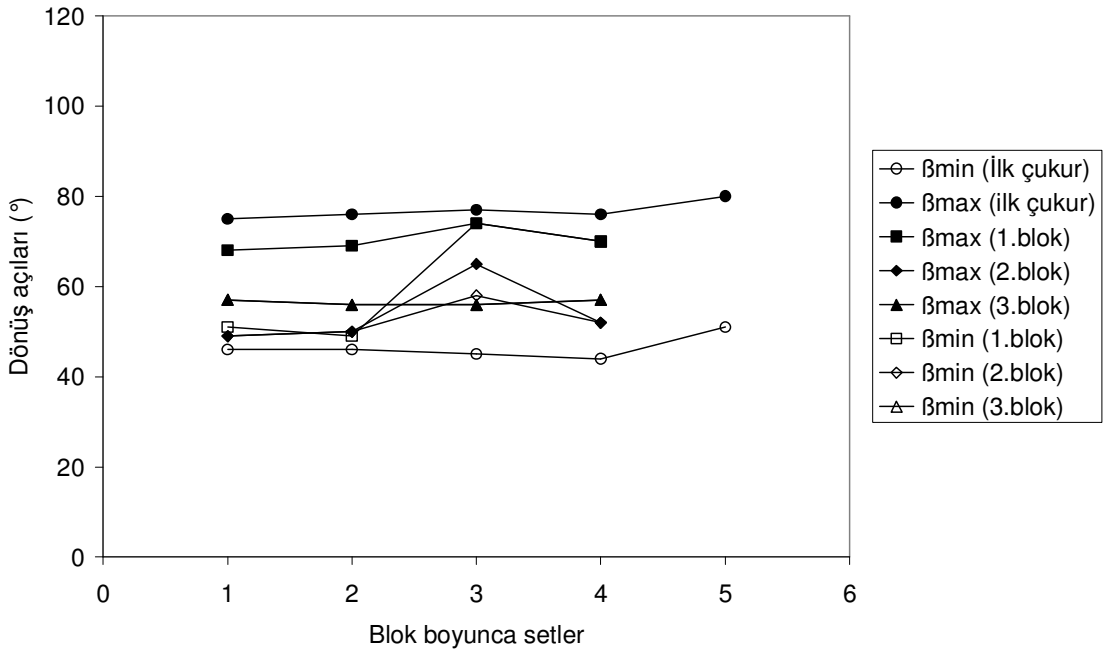


c. İkinci blok kazısı yapıldıktan sonra

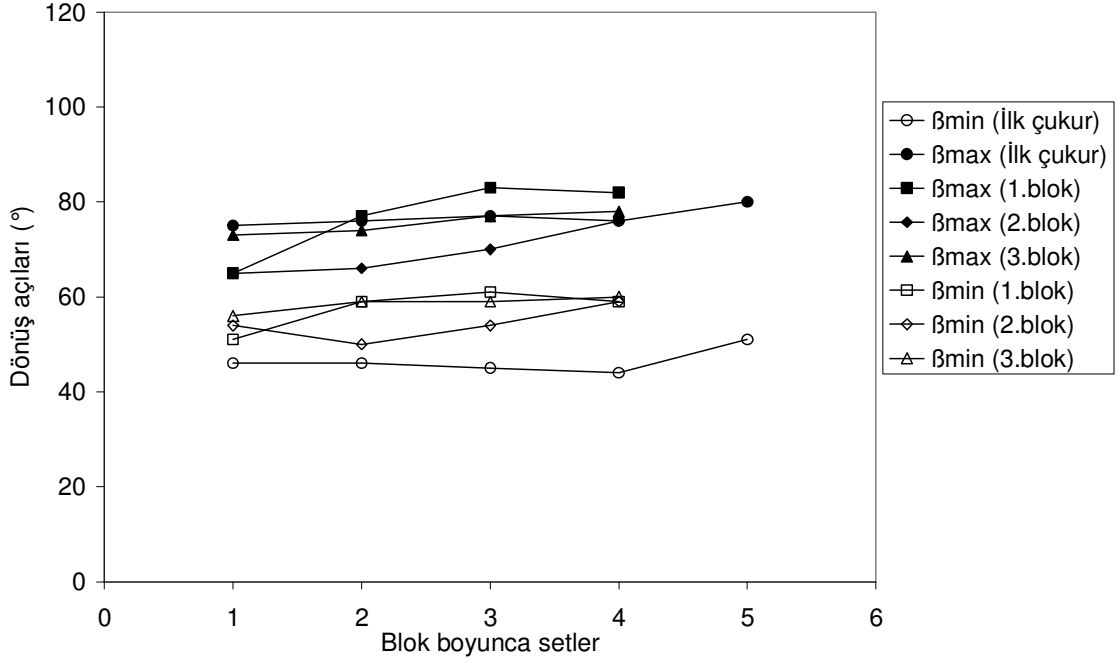


d. Üçüncü blok kazısı yapıldıktan sonra

Şekil 5.13 Doğrudan döküm yöntemi ikinci benzetim modeli aşamaları



Şekil 5.14 Doğrudan döküm benzetimi ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)

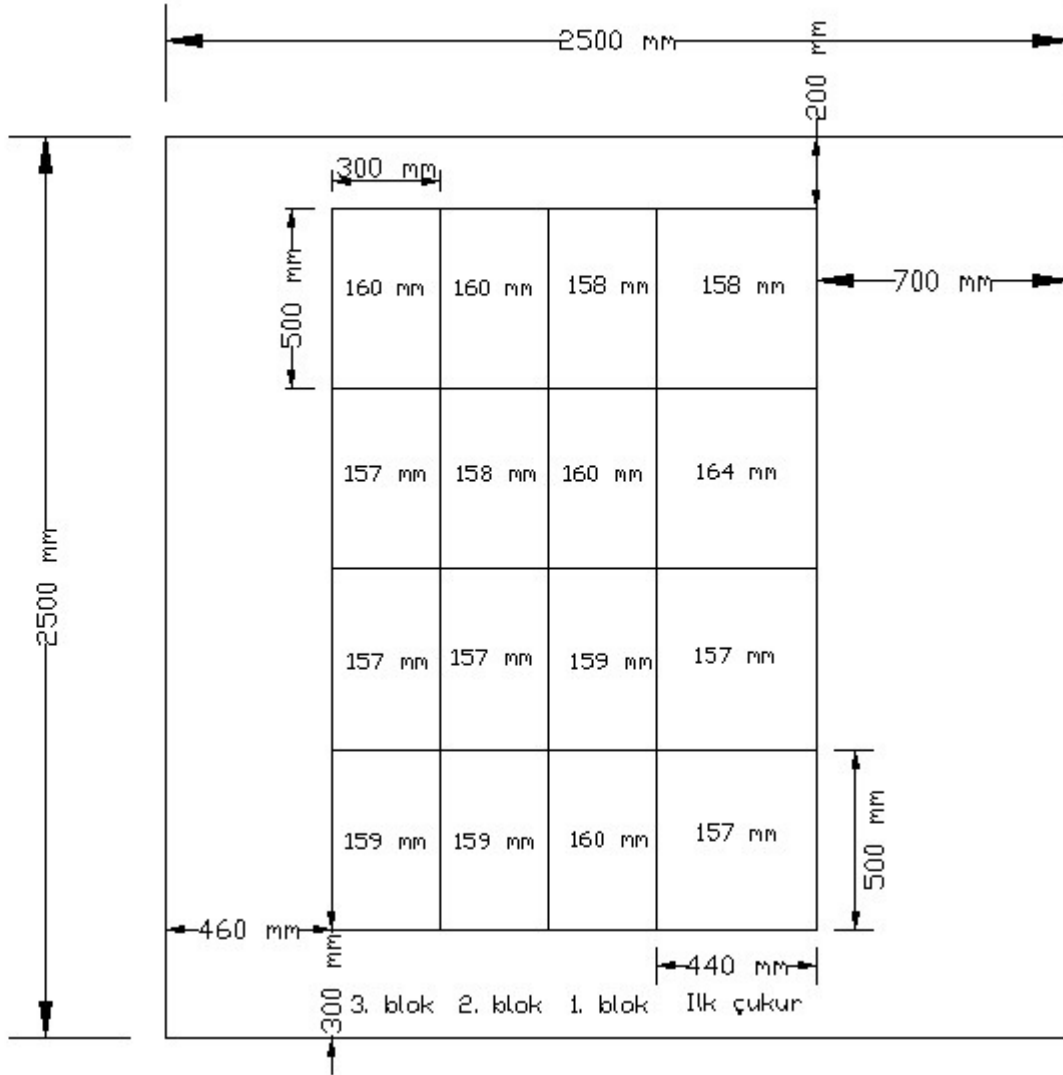


Şekil 5.15 Doğrudan döküm benzetimi ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

Üçüncü benzetim çalışması sonuçları Çizelge 5.6'da sunulmuştur. 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, bu durumda da örtü dilimini tekrar kazı gerektirmeden kazabilmektedir. Başlangıç çukurundan itibaren tüm dilimlerin kazı benzetim aşamaları, Şekil 5.17'de verilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 5.18'de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 5.19'da görülmektedir.

5.4.4 Doğrudan döküm benzetimi dördüncü benzetim modellemesi

Kazı panosu, bir başlangıç çukuru bloğu ile üç adet üretim bloğundan oluşmuştur. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Dördüncü denemede set boyu (L_{SET}) başlangıç değeri olan 30 cm'ye (30 m) düşürülmüş ancak dilim genişliği 40 cm'ye (40 m) artırılmıştır. Başlangıç çukuru boyutları (dilim genişliği ve set boyu) 54 cm × 30 cm olarak alınırken set boyutları 40 cm × 30 cm olarak belirlenmiştir. Böylece ilk çukur bloğunda yedi set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal bir de dilim olmak üzere toplamda 14 blok ve yedi set bulunmaktadır. Kömür damarı kalınlığı 1 cm (1 m) ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 5.20'de verilmiştir. Öncelikle ilk çukur bloğu kazılmış, daha sonra her biri yedi setten oluşan ardışık üç bloğun (1., 2. ve 3. bloklar) kazısı yapılmıştır. Doğrudan döküm benzetiminin üçüncü denemesine ait tüm süreç Ek-A'da bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.



Şekil 5.16 Doğrudan döküm yöntemi üçüncü benzetim modelleme planı

Dördüncü benzetim çalışması sonuçları Çizelge 5.7'de sunulmuştur. 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, bu durumda da örtü dilimini tekrar kazı gerektirmeden kazabilmektedir. Başlangıç çukurundan itibaren tüm dilimlerin kazı benzetim aşamaları, Şekil 5.21'de verilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 5.22'de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 5.23'te görülmektedir.

Çizelge 5.6 Doğrudan döküm yöntemi üçüncü benzetim modellemesi sonuçları

Setler	Başlangıç çukuru																	
	Yerinde BLOK							Kabarmış BLOK				Yığılda BLOK				Fark		
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)						(m ³)	(%)
1	66,00	44,00	30,00	50,00	36,00	15,73	25270,87	1624,74	15,55	30,00	7581,26	4,67	20,22	32852,13	42,00	84,00		
2	65,97	44,00	30,00	50,00	50,00	15,70	28870,20	1624,74	17,77	30,00	8661,06	5,33	23,10	37531,26	47,00	84,00		
3	66,91	44,00	30,00	50,00	50,00	16,42	30193,84	1624,74	18,58	30,00	9058,15	5,58	24,16	39251,99	47,00	86,00		
4	66,10	44,00	30,00	50,00	50,00	15,80	29052,69	1624,74	17,88	30,00	8715,81	5,36	23,25	37768,50	#YOK	#YOK		

Setler	1. Blok																	
	Yerinde SET							Kabarmış SET				Yığılda SET		KANAL		DİLİM		
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	66,30	30,00	30,00	50,00	36,00	15,95	20483,22	1624,74	12,61	30,00	6144,97	3,78	16,39	26628,19	53,00	53,00	51,00	82,00
2		30,00	30,00	50,00	50,00	15,85	23775,00	1624,74	14,63	30,00	7132,50	4,39	19,02	30907,50	59,00	59,00	48,00	83,00
3		30,00	30,00	50,00	50,00	16,00	24000,00	1624,74	14,77	30,00	7200,00	4,43	19,20	31200,00	47,00	47,00	50,00	85,00
4		30,00	30,00	50,00	50,00	15,80	23700,00	1624,74	14,59	30,00	7110,00	4,38	18,96	30810,00	47,00	47,00	54,00	#YOK
Setler	2. Blok																	
	Yerinde SET							Kabarmış SET				Yığılda SET		KANAL		DİLİM		
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	66,24	30,00	30,00	50,00	36,00	15,90	20420,06	1624,74	12,57	30,00	6126,02	3,77	16,34	26546,08	54,00	54,00	43,00	79,00
2		30,00	30,00	50,00	50,00	15,70	23550,00	1624,74	14,49	30,00	7065,00	4,35	18,84	30615,00	56,00	56,00	51,00	86,00
3		30,00	30,00	50,00	50,00	15,80	23700,00	1624,74	14,59	30,00	7110,00	4,38	18,96	30810,00	54,00	54,00	51,00	84,00
4		30,00	30,00	50,00	50,00	15,97	23955,00	1624,74	14,74	30,00	7186,50	4,42	19,17	31141,50	54,00	54,00	55,00	#YOK
Setler	3. Blok																	
	Yerinde SET							Kabarmış SET				Yığılda SET		KANAL		DİLİM		
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	66,20	30,00	30,00	50,00	36,00	15,87	20381,52	1624,74	12,54	30,00	6114,46	3,76	16,31	26495,98	50,00	50,00	51,00	84,00
2		30,00	30,00	50,00	50,00	15,65	23475,00	1624,74	14,45	30,00	7042,50	4,33	18,78	30517,50	55,00	55,00	46,00	82,00
3		30,00	30,00	50,00	50,00	15,70	23550,00	1624,74	14,49	30,00	7065,00	4,35	18,84	30615,00	51,00	51,00	50,00	85,00
4		30,00	30,00	50,00	50,00	15,95	23925,00	1624,74	14,73	30,00	7177,50	4,42	19,14	31102,50	55,00	55,00	44,00	#YOK



a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra

b. Birinci dilim kazısı yapıldıktan sonra

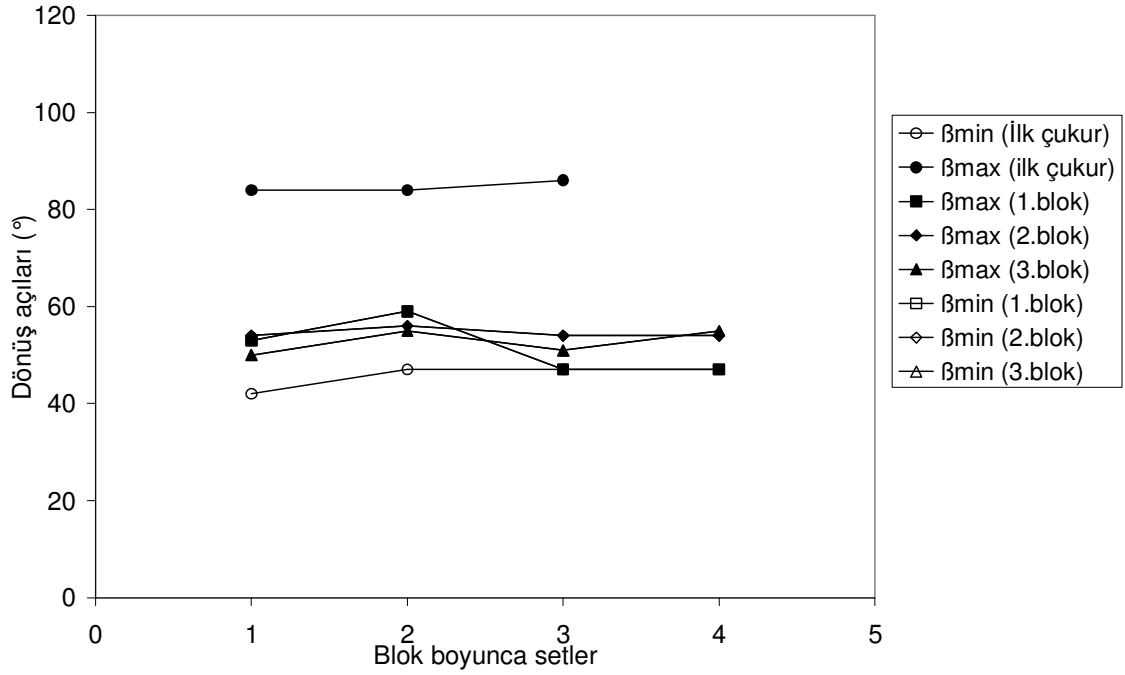


c. İkinci dilim kazısı yapıldıktan sonra

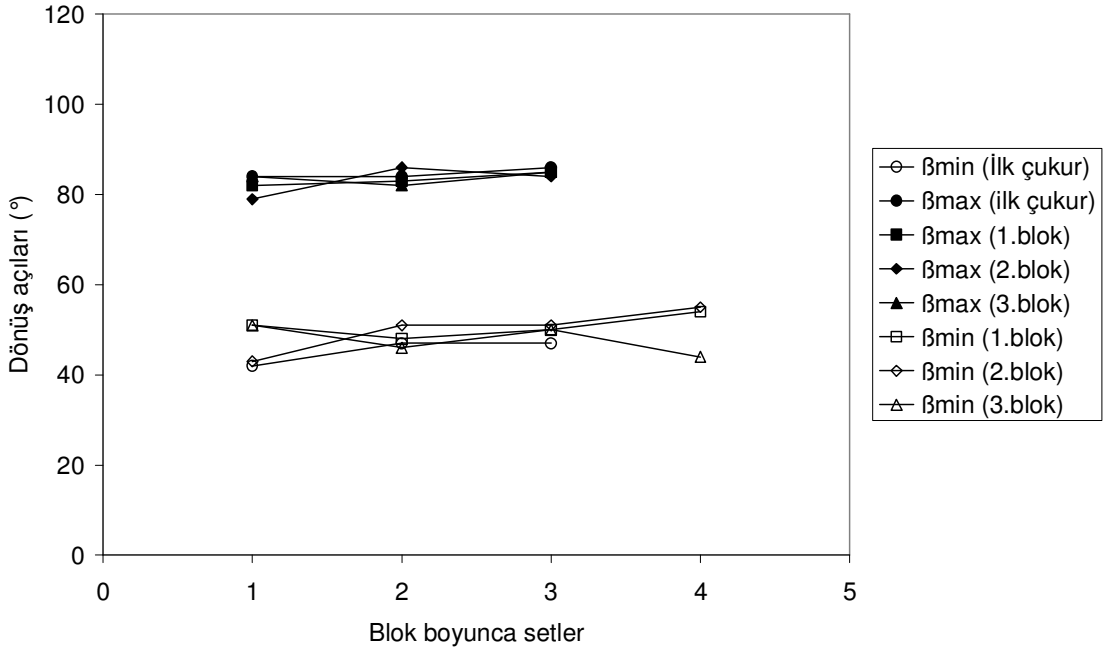


d. Üçüncü dilim kazısı yapıldıktan sonra

Şekil 5.17 Doğrudan döküm yöntemi üçüncü benzetim modeli aşamaları



Şekil 5.18 Doğrudan döküm benzetimi üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)

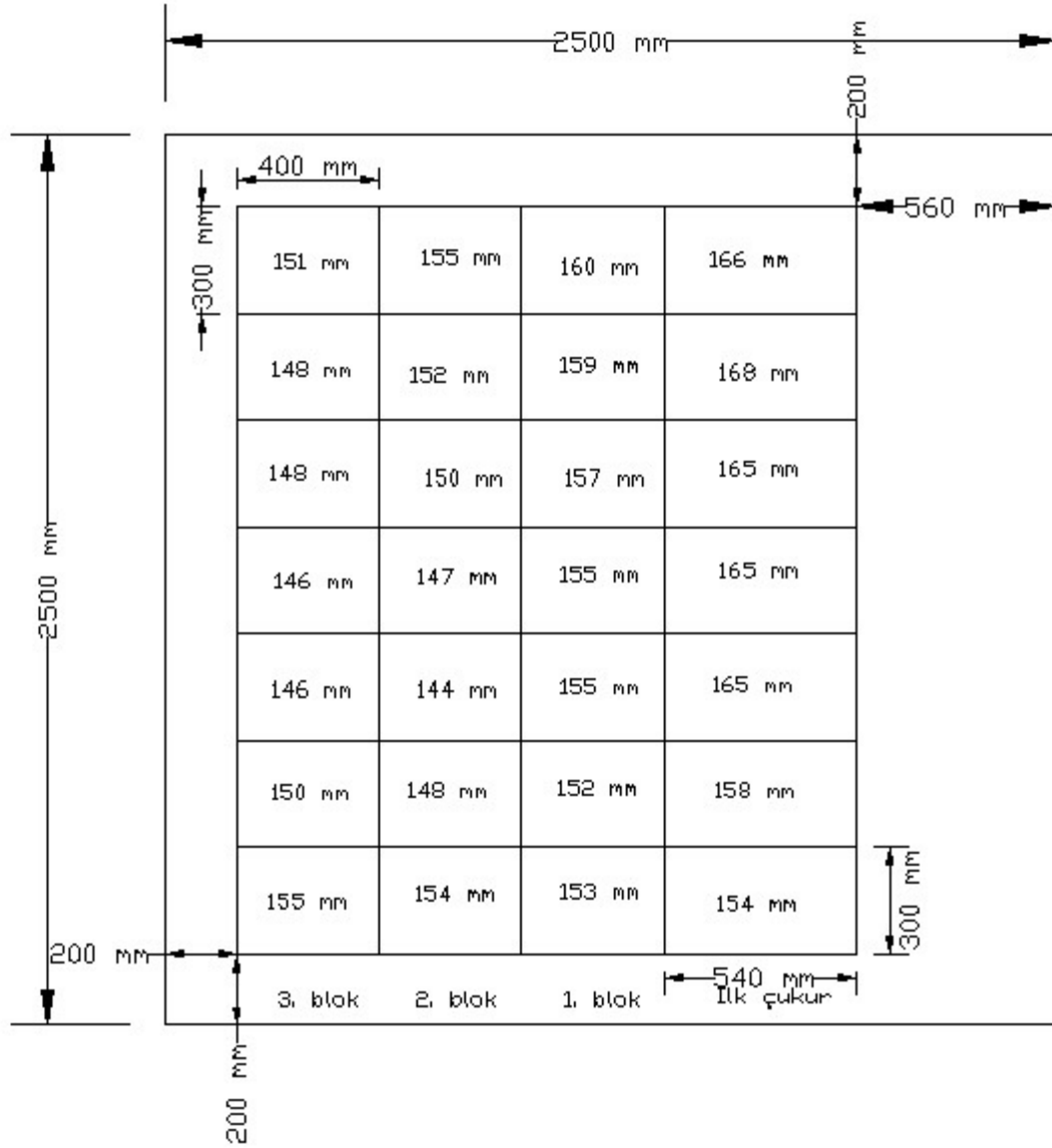


Şekil 5.19 Doğrudan döküm benzetimi üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

5.4.5 Doğrudan döküm benzetimi beşinci benzetim modellemesi

Doğrudan döküm çalışması benzetim modellemesi son kez oldukça geniş dilimlerin kazıldığı bir panoda yapılmıştır. Kazı panosu, bir başlangıç çukuru bloğu ile iki adet üretim bloğundan oluşmuştur. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Set boyu (L_{SET}) 50 cm'ye (50 m), dilim genişliği de 50 cm'ye (50 m) artırılmıştır. Başlangıç çukuru boyutları (dilim genişliği ve set boyu) 64 cm × 50 cm olarak alınırken set boyutları 50 cm × 50 cm olmuştur. Kömür damarı kalınlığı 1 cm (1 m) ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 5.24'de verilmiştir. Öncelikle ilk çukur bloğu kazılmış, daha sonra her biri beş setten oluşan ardışık iki bloğun (1. ve 2. bloklar) kazısı yapılmıştır. Doğrudan döküm benzetiminin üçüncü denemesine ait tüm süreç Ek-A'da bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.

Beşinci benzetim çalışması sonuçları Çizelge 5.8'de sunulmuştur. 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, bu durumda da örtü dilimini tekrar kazı gerektirmeden kazabilmektedir. Başlangıç çukurundan itibaren tüm dilimlerin kazı benzetim aşamaları, Şekil 5.25'te verilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 5.26'da, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 5.27'de görülmektedir.



Şekil 5.20 Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modelleme planı

Çizelge 5.7 Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modellemesi sonuçları

Setler	İlk çukur																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığılda BLOK				Fark	
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{BOXGUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXGUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)						(m ³)	(%)
1	65,55	54,00	40,00	30,00	16,00	15,40	16826,24	1624,74	10,36	30,00	5047,87	3,11	13,46	21874,12	44,00	59,00		
2	66,04	54,00	40,00	30,00	30,00	15,75	22125,35	1624,74	13,62	30,00	6637,60	4,09	17,70	28762,95	43,00	61,00		
3	67,01	54,00	40,00	30,00	30,00	16,50	23178,28	1624,74	14,27	30,00	6953,48	4,28	18,55	30131,76	46,00	68,00		
4	66,95	54,00	40,00	30,00	30,00	16,45	23108,50	1624,74	14,22	30,00	6932,55	4,27	18,49	30041,05	51,00	82,00		
5	67,04	54,00	40,00	30,00	30,00	16,52	23207,27	1624,74	14,28	30,00	6962,18	4,29	18,57	30169,45	51,00	80,00		
6	67,38	54,00	40,00	30,00	30,00	16,80	23599,91	1624,74	14,53	30,00	7079,97	4,36	18,88	30679,88	#YOK	#YOK		
7	67,13	54,00	40,00	30,00	30,00	16,60	23318,00	1624,74	14,35	30,00	6995,40	4,31	18,66	30313,40	#YOK	#YOK		

Setler	1. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	65,35	40,00	40,00	30,00	16,00	15,25	13809,45	1624,74	8,50	30,00	4142,83	2,55	11,05	17952,28	70,00	70,00	73,00	83,00
2		40,00	40,00	30,00	30,00	15,17	18204,00	1624,74	11,20	30,00	5461,20	3,36	14,57	23665,20	75,00	75,00	60,00	84,00
3		40,00	40,00	30,00	30,00	15,45	18540,00	1624,74	11,41	30,00	5562,00	3,42	14,83	24102,00	74,00	74,00	60,00	84,00
4		40,00	40,00	30,00	30,00	15,50	18600,00	1624,74	11,45	30,00	5580,00	3,43	14,88	24180,00	75,00	75,00	63,00	86,00
5		40,00	40,00	30,00	30,00	15,67	18804,00	1624,74	11,57	30,00	5641,20	3,47	15,05	24445,20	82,00	82,00	67,00	#YOK
6		40,00	40,00	30,00	30,00	15,87	19044,00	1624,74	11,72	30,00	5713,20	3,52	15,24	24757,20	85,00	85,00	83,00	#YOK
7		40,00	40,00	30,00	30,00	15,97	19164,00	1624,74	11,80	30,00	5749,20	3,54	15,33	24913,20	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK

Setler	2. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	65,48	40,00	40,00	30,00	16,00	15,35	13897,40	1624,74	8,55	30,00	4169,22	2,57	11,12	18066,62	73,00	73,00	63,00	79,00
2		40,00	40,00	30,00	30,00	14,77	17724,00	1624,74	10,91	30,00	5317,20	3,27	14,18	23041,20	72,00	72,00	59,00	78,00
3		40,00	40,00	30,00	30,00	14,42	17304,00	1624,74	10,65	30,00	5191,20	3,20	13,85	22495,20	69,00	69,00	57,00	77,00
4		40,00	40,00	30,00	30,00	14,67	17604,00	1624,74	10,83	30,00	5281,20	3,25	14,09	22885,20	78,00	78,00	56,00	77,00
5		40,00	40,00	30,00	30,00	15,03	18030,00	1624,74	11,10	30,00	5409,00	3,33	14,43	23439,00	67,00	67,00	61,00	82,00
6		40,00	40,00	30,00	30,00	15,17	18204,00	1624,74	11,20	30,00	5461,20	3,36	14,57	23665,20	85,00	85,00	50,00	79,00
7		40,00	40,00	30,00	30,00	15,52	18624,00	1624,74	11,46	30,00	5587,20	3,44	14,90	24211,20	65,00	65,00	46,00	#YOK

Çizelge 5.7 Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	3. Blok																			
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığında SET			KANAL		DİLİM		
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}		
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)									
1	65,66	40,00	40,00	30,00	16,00	15,47	14008,75	1624,74	8,62	30,00	4202,62	2,59	11,21	18211,37	68,00	68,00	68,00	85,00		
2		40,00	40,00	30,00	30,00	14,97	17964,00	1624,74	11,06	30,00	5389,20	3,32	14,37	23353,20	68,00	68,00	65,00	84,00		
3		40,00	40,00	30,00	30,00	14,55	17460,00	1624,74	10,75	30,00	5238,00	3,22	13,97	22698,00	72,00	72,00	62,00	87,00		
4		40,00	40,00	30,00	30,00	14,55	17460,00	1624,74	10,75	30,00	5238,00	3,22	13,97	22698,00	76,00	76,00	57,00	83,00		
5		40,00	40,00	30,00	30,00	14,82	17784,00	1624,74	10,95	30,00	5335,20	3,28	14,23	23119,20	78,00	78,00	60,00	#YOK		
6		40,00	40,00	30,00	30,00	14,80	17760,00	1624,74	10,93	30,00	5328,00	3,28	14,21	23088,00	77,00	77,00	63,00	#YOK		
7		40,00	40,00	30,00	30,00	15,10	18120,00	1624,74	11,15	30,00	5436,00	3,35	14,50	23556,00	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK		



a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra



b. Birinci dilim kanal kazısı yapıldıktan sonra

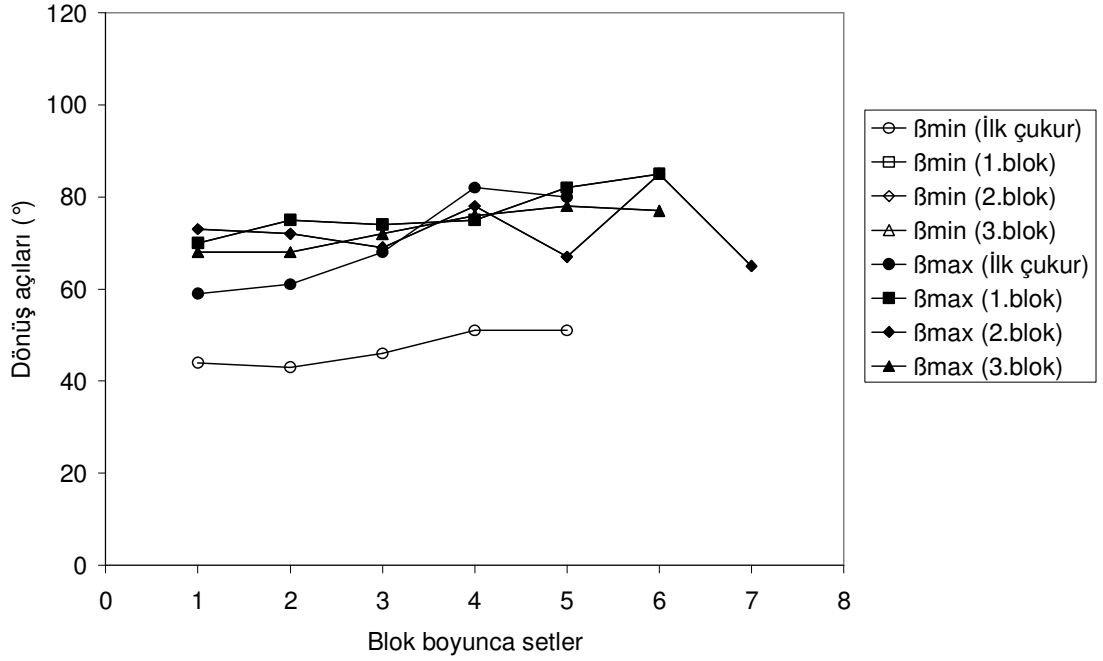


c. İkinci dilim kanal kazısı yapıldıktan sonra

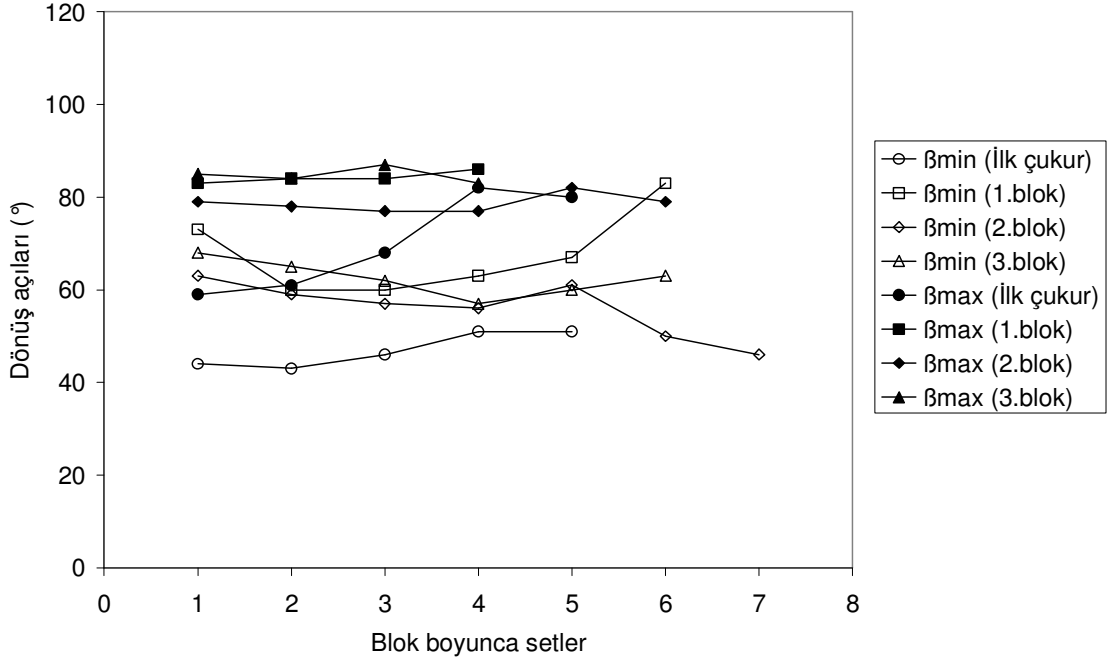


d. Üçüncü dilim kazısı yapıldıktan sonra

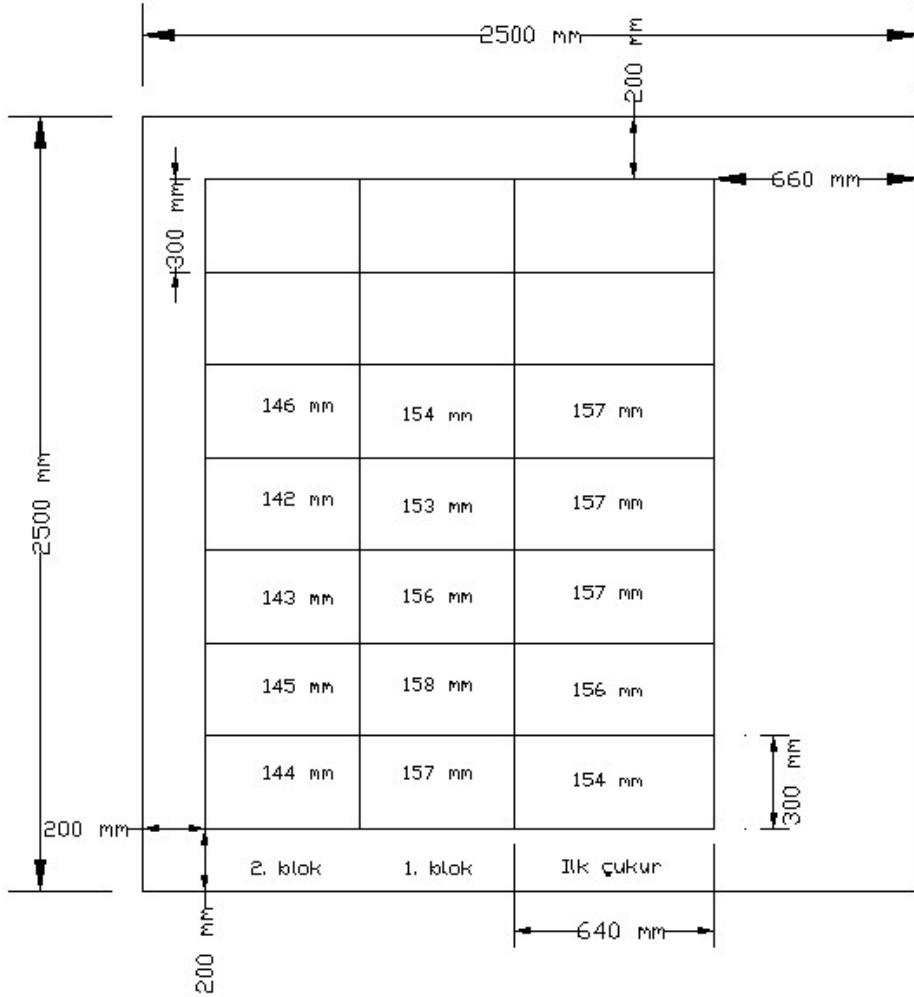
Şekil 5.21 Doğrudan döküm yöntemi dördüncü benzetim modeli aşamaları



Şekil 5.22 Doğrudan döküm benzetimi dördüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



Şekil 5.23 Doğrudan döküm benzetimi dördüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{\min} , β_{\max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)



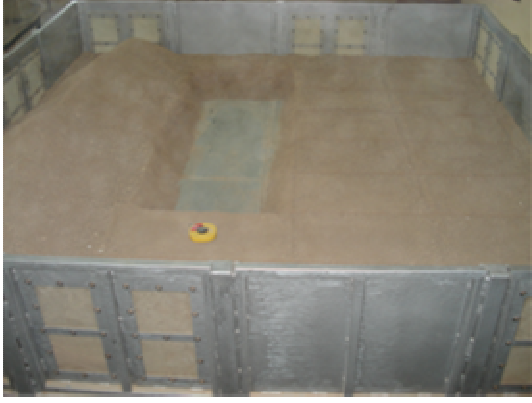
Şekil 5.24 Doğrudan döküm yöntemi beşinci benzetim modelleme planı

Çizelge 5.8 Doğrudan döküm yöntemi beşinci benzetim modellemesi sonuçları

Setler	Başlangıç çukuru																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığılda BLOK				Fark	
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)						(m ³)	(%)
1	65,55	64,00	50,00	30,00	16,00	15,40	20322,33	1624,74	12,51	30,00	6096,70	3,75	16,26	26419,03	55,00	74,00		
2	65,83	64,00	50,00	30,00	50,00	15,60	34375,80	1624,74	21,16	30,00	10312,74	6,35	27,51	44688,55	59,00	62,00		
3	65,97	64,00	50,00	30,00	50,00	15,70	34597,04	1624,74	21,29	30,00	10379,11	6,39	27,68	44976,15	61,00	91,00		
4	65,97	64,00	50,00	30,00	50,00	15,70	34597,04	1624,74	21,29	30,00	10379,11	6,39	27,68	44976,15	76,00	97,00		
5	65,97	64,00	50,00	30,00	50,00	15,70	34597,04	1624,74	21,29	30,00	10379,11	6,39	27,68	44976,15	78,00	112,00		

Setler	1. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	65,97	50,00	50,00	30,00	16,00	15,70	17769,55	1624,74	10,94	30,00	5330,86	3,28	14,22	23100,41	73,00	73,00	58,00	58,00
2		50,00	50,00	30,00	30,00	15,80	23700,00	1624,74	14,59	30,00	7110,00	4,38	18,96	30810,00	77,00	77,00	63,00	72,00
3		50,00	50,00	30,00	30,00	15,60	23400,00	1624,74	14,40	30,00	7020,00	4,32	18,72	30420,00	75,00	75,00	58,00	77,00
4		50,00	50,00	30,00	30,00	15,30	22950,00	1624,74	14,13	30,00	6885,00	4,24	18,36	29835,00	78,00	78,00	70,00	82,00
5		50,00	50,00	30,00	30,00	15,40	23100,00	1624,74	14,22	30,00	6930,00	4,27	18,48	30030,00	81,00	81,00	71,00	85,00

Setler	2. Blok																	
	Yerinde SET									Kabarmış SET			Yığılda SET		KANAL		DİLİM	
	Φ_O	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_O	V_{SET}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{SET}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	β_{min}	β_{mak}
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)							
1	64,07	50,00	50,00	30,00	16,00	14,40	16296,86	1624,74	10,03	30,00	4889,06	3,01	13,04	21185,91	70,00	70,00	62,00	62,00
2		50,00	50,00	30,00	30,00	14,50	21750,00	1624,74	13,39	30,00	6525,00	4,02	17,40	28275,00	70,00	70,00	67,00	78,00
3		50,00	50,00	30,00	30,00	14,30	21450,00	1624,74	13,20	30,00	6435,00	3,96	17,16	27885,00	71,00	71,00	66,00	79,00
4		50,00	50,00	30,00	30,00	14,20	21300,00	1624,74	13,11	30,00	6390,00	3,93	17,04	27690,00	71,00	71,00	70,00	85,00
5		50,00	50,00	30,00	30,00	14,60	21900,00	1624,74	13,48	30,00	6570,00	4,04	17,52	28470,00	72,00	72,00	72,00	87,00



a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra

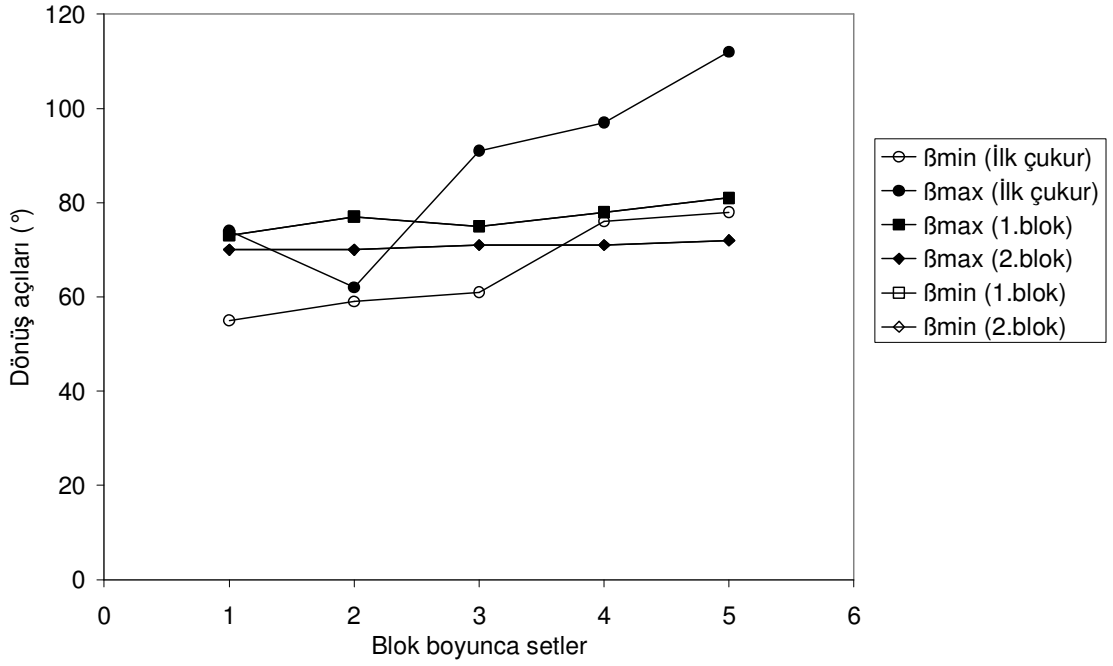


b. Birinci blok kazısından sonra

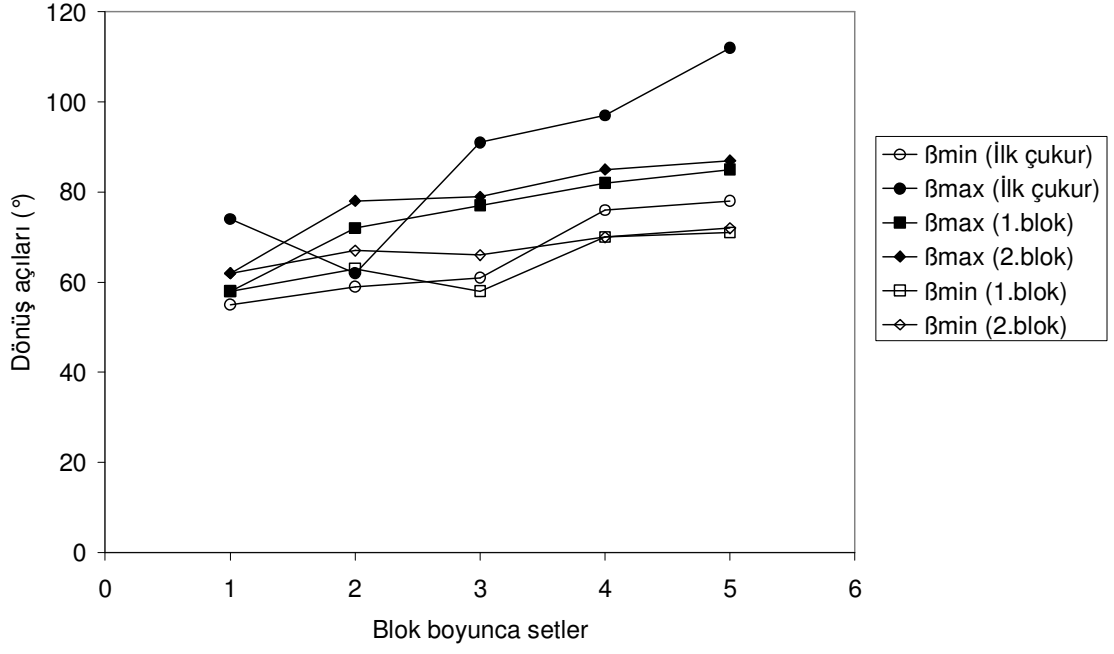


c. İkinci blok kazısından sonra

Şekil 5.25 Doğrudan döküm yöntemi beşinci benzetim modeli aşamaları



Şekil 5.26 Doğrudan döküm benzetimi beşinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



Şekil 5.27 Doğrudan döküm benzetimi beşinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

ENLİ DİLİM VE GERİ ÇEKİMLİ KAZI BENZETİM MODELLERİ

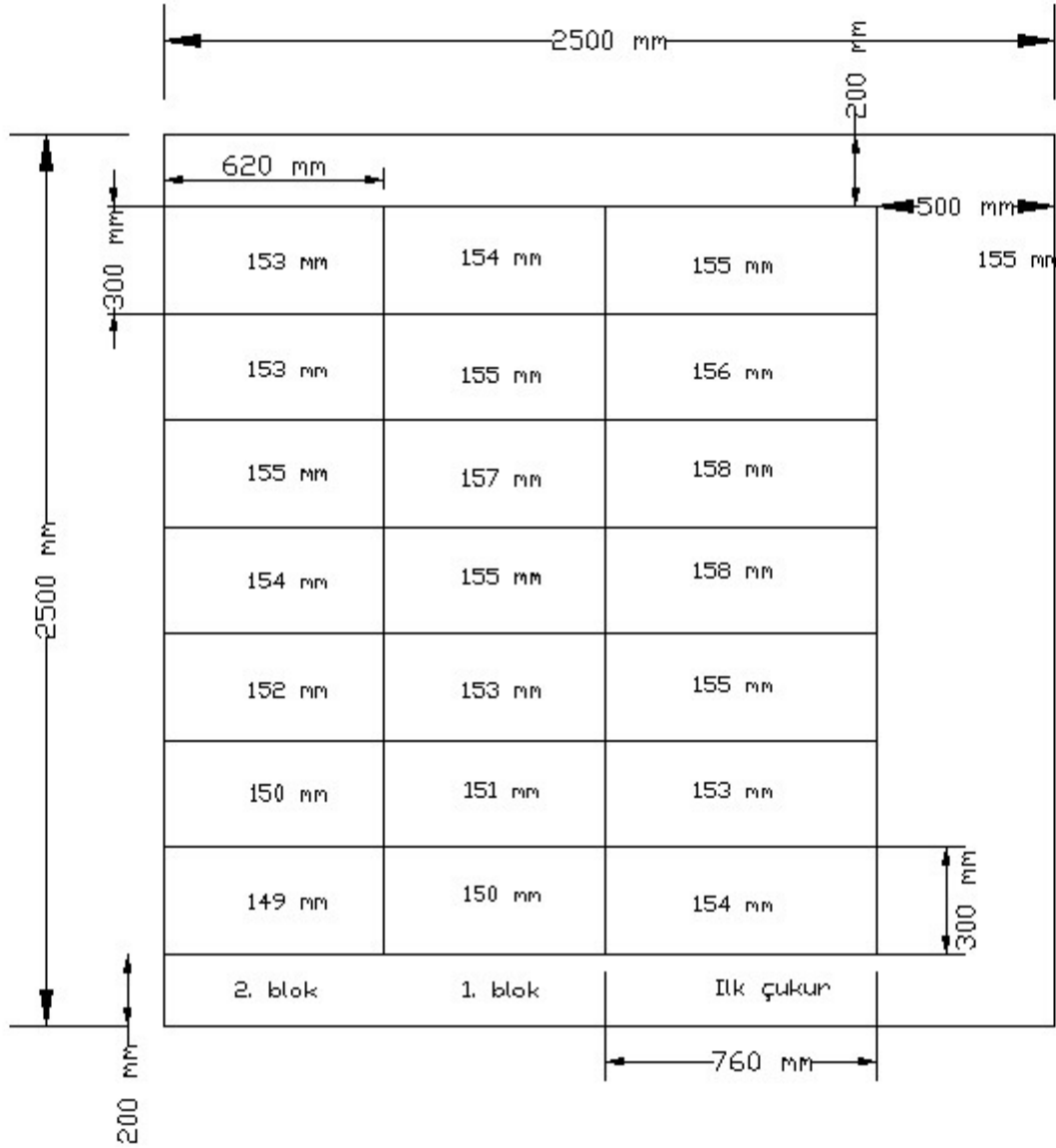
6.1 Enli Dilim Kazısı Benzetim Modeli

Doğrudan döküm yöntemi benzetim çalışmalarında kullanılan 70 m döküm yarıçaplı çekme-kepçe geometrik sınırlarına geldiği ve tekrarkazıya yol açmadan daha geniş bloklarda çalışamayacağı için modelleme işlemleri enli dilim kazısı ile sürdürülmüştür. Bu bölümde de dilim boyutlarının çekme-kepçe çalışması ve geometrik duraylılık üzerindeki etkileri, dilim boyutları değiştirilerek incelenmiştir.

6.1.1 Enli dilim kazısı birinci benzetim modellemesi

Enli dilim örtükazı yönteminin ilk benzetim modellemesi 1/100 ölçekli kum havuzunda yapılmıştır. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer ikisi üretim bloğu olmak üzere toplam üç bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set boyu 30 cm (30 m) olan yedi sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda yedi set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal, bir dilim ve bir köprü olmak üzere toplamda 21 kazı bloğu ve yedi set bulunmaktadır. Çok ince olarak tasarlanan kömür tabakası kalınlığı 1 cm olduğundan (1 m) modelleme tablasında gösterilmemiştir. Örtü tabakası yerinde malzeme olarak kabul edilmiş ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 6.1'de verilmiştir. İlk çukur boyutları 76 cm × 30 cm, set boyutları 62 cm × 30 cm alınmıştır. Böylece çekme-kepçe kazı konumunda iken pasa malzemesini dilim şev tabanına dökülebilmektedir.

Enli dilim benzetimi üç blok boyunca sürdürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.1'de, örtükazı panosunun kazı ve döküm işlemlerinin aşamaları, Şekil 6.2'de sunulmuştur. Bölüm 3'te öne sürülen 'geometrik duraylılık' kavramı göz önüne alındığında 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, ortalama 15 m kalınlığındaki örtü dilimini enli dilim yöntemine uygun şekilde, kanal, dilim ve köprü blokları halinde kazabilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 6.3'de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 6.4'de görülmektedir. Örtükazı benzetim çalışmasının ilk denemesine ait tüm süreç Ek-B'de bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.



Şekil 6.1 Enli dilim kazısı birinci benzetim modelleme planı

Çizelge 6.1 Enli dilim kazısı birinci benzetim modellemesi sonuçları

Setler	İlk çukur																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığılda BLOK				Fark	
	Φ_0	$W_{ÜST}$	W_{ALT}	$L_{SETÜ}$	L_{SETA}	H_0	V_{BOXCUT}	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)			(%)	(cm ³)						(m ³)	(%)
1	65,59	76,00	62,00	30,00	16,00	15,43	24555,69	1624,74	15,11	30,00	7366,71	4,53	19,65	31922,39	#YOK	#YOK		
2	65,45	76,00	62,00	30,00	30,00	15,33	31668,12	1624,74	19,49	30,00	9500,44	5,85	25,34	41168,55	#YOK	#YOK		
3	65,63	76,00	62,00	30,00	30,00	15,45	31927,13	1624,74	19,65	30,00	9578,14	5,90	25,55	41505,27	#YOK	#YOK		
4	66,04	76,00	62,00	30,00	30,00	15,75	32546,83	1624,74	20,03	30,00	9764,05	6,01	26,04	42310,88	#YOK	#YOK		
5	66,07	76,00	62,00	30,00	30,00	15,78	32597,90	1624,74	20,06	30,00	9779,37	6,02	26,08	42377,26	#YOK	#YOK		
6	65,83	76,00	62,00	30,00	30,00	15,60	32235,93	1624,74	19,84	30,00	9670,78	5,95	25,79	41906,71	#YOK	#YOK		
7	65,70	76,00	62,00	30,00	30,00	15,50	32030,54	1624,74	19,71	30,00	9609,16	5,91	25,63	41639,70	#YOK	#YOK		

Çizelge 6.1 Enli dilim kazısı birinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	1. BLOK													
	Yerinde SET							Kabarmış SET				TOPLAM		
	Φ_0 (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	64,98	62,00	62,00	30,00	16,00	15,00	21050,73	1624,74	12,96	30,00	6315,22	3,89	16,84	27365,94
2		62,00	62,00	30,00	30,00	15,08	28039,50	1624,74	17,26	30,00	8411,85	5,18	22,44	36451,35
3		62,00	62,00	30,00	30,00	15,25	28365,00	1624,74	17,46	30,00	8509,50	5,24	22,70	36874,50
4		62,00	62,00	30,00	30,00	15,53	28876,50	1624,74	17,77	30,00	8662,95	5,33	23,10	37539,45
5		62,00	62,00	30,00	30,00	15,70	29202,00	1624,74	17,97	30,00	8760,60	5,39	23,37	37962,60
6		62,00	62,00	30,00	30,00	15,50	28830,00	1624,74	17,74	30,00	8649,00	5,32	23,07	37479,00
7		62,00	62,00	30,00	30,00	15,38	28597,50	1624,74	17,60	30,00	8579,25	5,28	22,88	37176,75

Setler	KANAL BLOĞU												
	YERİNDE KANAL							KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}
1	25,00	15,00	11,00	1,00	30,00	16,00	15,00	4679,51	2,88	0,86	3,74	57,00	74,00
2	25,00	15,00	10,93	0,93	30,00	30,00	15,08	5550,09	3,42	1,02	4,44	52,00	72,00
3	25,00	15,00	10,76	0,76	30,00	30,00	15,25	5566,57	3,43	1,03	4,45	51,00	70,00
4	25,00	15,00	10,51	0,51	30,00	30,00	15,53	5589,56	3,44	1,03	4,47	52,00	71,00
5	25,00	15,00	10,34	0,34	30,00	30,00	15,70	5602,30	3,45	1,03	4,48	53,00	73,00
6	25,00	15,00	10,53	0,53	30,00	30,00	15,50	5587,62	3,44	1,03	4,47	55,00	72,00
7	25,00	15,00	10,65	0,65	30,00	30,00	15,38	5577,47	3,43	1,03	4,46	54,00	73,00

Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM						KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	37,00	47,00	51,00	61,00	16092,00	9,90	2,97	12,88	54,00	78,00	
2	37,00	47,00	51,07	61,07	22100,04	13,60	4,08	17,68	39,00	66,00	
3	37,00	47,00	51,24	61,24	22392,27	13,78	4,13	17,92	35,00	65,00	
4	37,00	47,00	51,49	61,49	22853,12	14,07	4,22	18,29	35,00	68,00	
5	37,00	47,00	51,66	61,66	23147,42	14,25	4,27	18,52	38,00	68,00	
6	37,00	47,00	51,47	61,47	22811,14	14,04	4,21	18,25	43,00	70,00	
7	37,00	47,00	51,35	61,35	22601,50	13,91	4,17	18,08	45,00	71,00	

Çizelge 6.1 Enli dilim kazısı birinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	2. BLOK													
	Yerinde SET							Kabarmış SET				TOPLAM		
	Φ_O (°)	W _{ÜST} (cm)	W _{ALT} (cm)	L _{SETÜ} (cm)	L _{SETA} (cm)	H _O (cm)	V _{SET} (cm ³)	V _{KUTU} (cm ³)	n _{KUTU}	Katsayı (%)	V _{SET} (cm ³)	n _{KUTU}	n _{KUTU}	V _{YIĞIN} (cm ³)
1	64,76	62,00	62,00	30,00	16,00	14,85	20840,68	1624,74	12,83	30,00	6252,20	3,85	16,68	27092,88
2		62,00	62,00	30,00	30,00	15,03	27946,50	1624,74	17,20	30,00	8383,95	5,16	22,36	36330,45
3		62,00	62,00	30,00	30,00	15,20	28272,00	1624,74	17,40	30,00	8481,60	5,22	22,62	36753,60
4		62,00	62,00	30,00	30,00	15,35	28551,00	1624,74	17,57	30,00	8565,30	5,27	22,84	37116,30
5		62,00	62,00	30,00	30,00	15,48	28783,50	1624,74	17,72	30,00	8635,05	5,31	23,03	37418,55
6		62,00	62,00	30,00	30,00	15,28	28411,50	1624,74	17,49	30,00	8523,45	5,25	22,73	36934,95
7		62,00	62,00	30,00	30,00	15,30	28458,00	1624,74	17,52	30,00	8537,40	5,25	22,77	36995,40

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL								KABARMIŞ		TOPLAM		DÖNÜŞ AÇILARI	
	W _{ÜSTÖN} (cm)	W _{ÜSTARKA} (cm)	W _{ALTÖN} (cm)	W _{ALTARKA} (cm)	L _{SETÜ} (cm)	L _{SETA} (cm)	H _O (cm)	V _{KANAL} (cm ³)	n _{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n _{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n _{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	25,00	15,00	11,14	1,14	30,00	16,00	14,85	4657,65	2,87	0,86	3,73	56,00	73,00	
2	25,00	15,00	10,97	0,97	30,00	30,00	15,03	5545,13	3,41	1,02	4,44	54,00	74,00	
3	25,00	15,00	10,81	0,81	30,00	30,00	15,20	5562,01	3,42	1,03	4,45	57,00	75,00	
4	25,00	15,00	10,67	0,67	30,00	30,00	15,35	5575,35	3,43	1,03	4,46	58,00	72,00	
5	25,00	15,00	10,55	0,55	30,00	30,00	15,48	5585,65	3,44	1,03	4,47	59,00	71,00	
6	25,00	15,00	10,74	0,74	30,00	30,00	15,28	5568,81	3,43	1,03	4,46	55,00	70,00	
7	25,00	15,00	10,72	0,72	30,00	30,00	15,30	5571,02	3,43	1,03	4,46	59,00	75,00	

Setler	DİLİM BLOĞU													
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI				
	W _{ÜSTÖN} (cm)	W _{ÜSTARKA} (cm)	W _{ALTÖN} (cm)	W _{ALTARKA} (cm)	V _{DİLİM} (cm ³)	n _{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n _{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n _{KUTU}	β_{min}	β_{mak}				
1	37,00	47,00	50,86	60,86	15913,80	9,79	2,94	12,73	51,00	71,00				
2	37,00	47,00	51,03	61,03	22016,69	13,55	4,07	17,62	48,00	75,00				
3	37,00	47,00	51,19	61,19	22308,69	13,73	4,12	17,85	49,00	77,00				
4	37,00	47,00	51,33	61,33	22559,62	13,89	4,17	18,05	48,00	69,00				
5	37,00	47,00	51,45	61,45	22769,18	14,01	4,20	18,22	50,00	72,00				
6	37,00	47,00	51,26	61,26	22434,09	13,81	4,14	17,95	51,00	70,00				
7	37,00	47,00	51,28	61,28	22475,92	13,83	4,15	17,98	53,00	73,00				



a. Başlangıç çukuru açılmadan önce



b. Başlangıç çukuru kazısından sonra



c. Birinci blok 1. Set kanal kazısından sonra



d. Birinci blok kazısından sonra

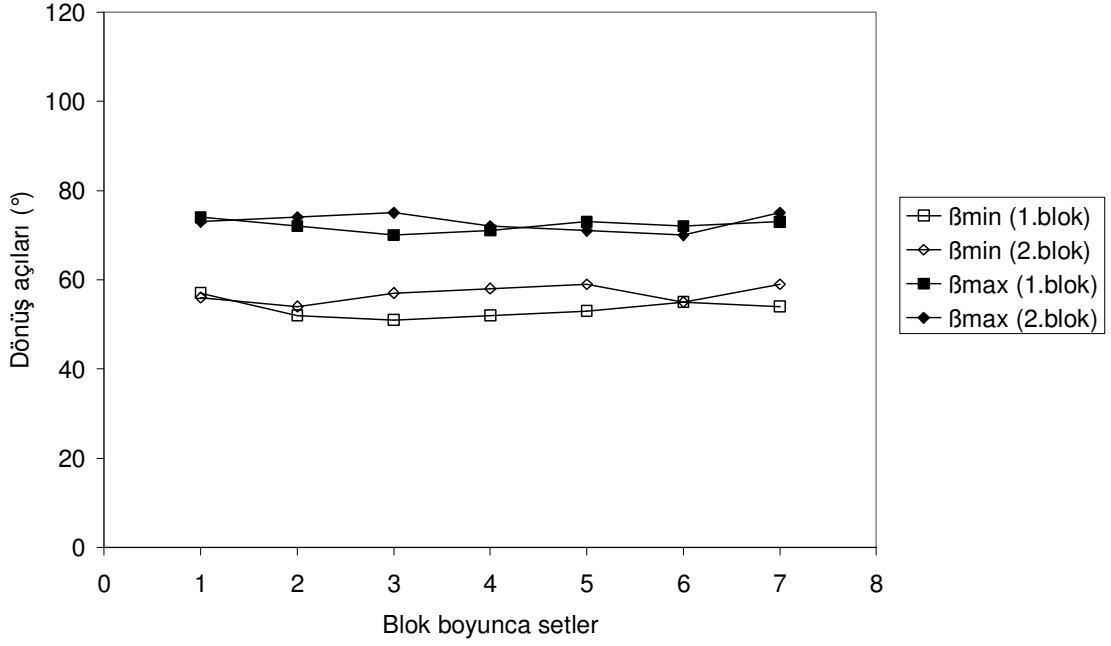


e. İkinci blok 1. Set kanal kazısından sonra

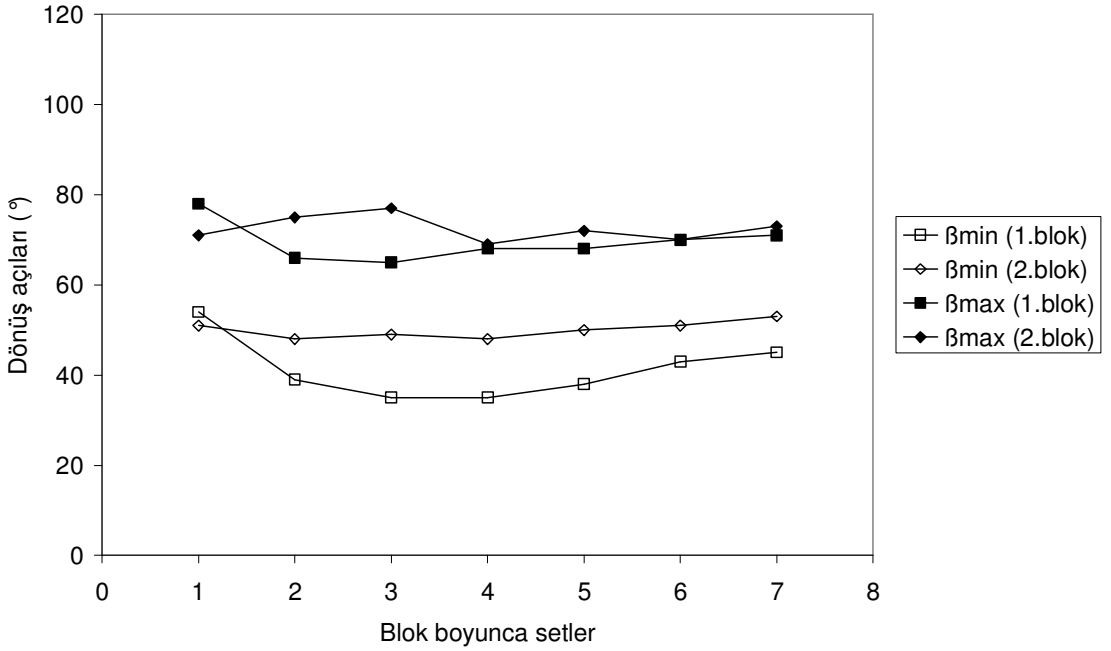


f. İkinci blok kazısından sonra

Şekil 6.2 Enli dilim kazısı birinci benzetim modeli aşamaları



Şekil 6.3 Enli dilim kazısı birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



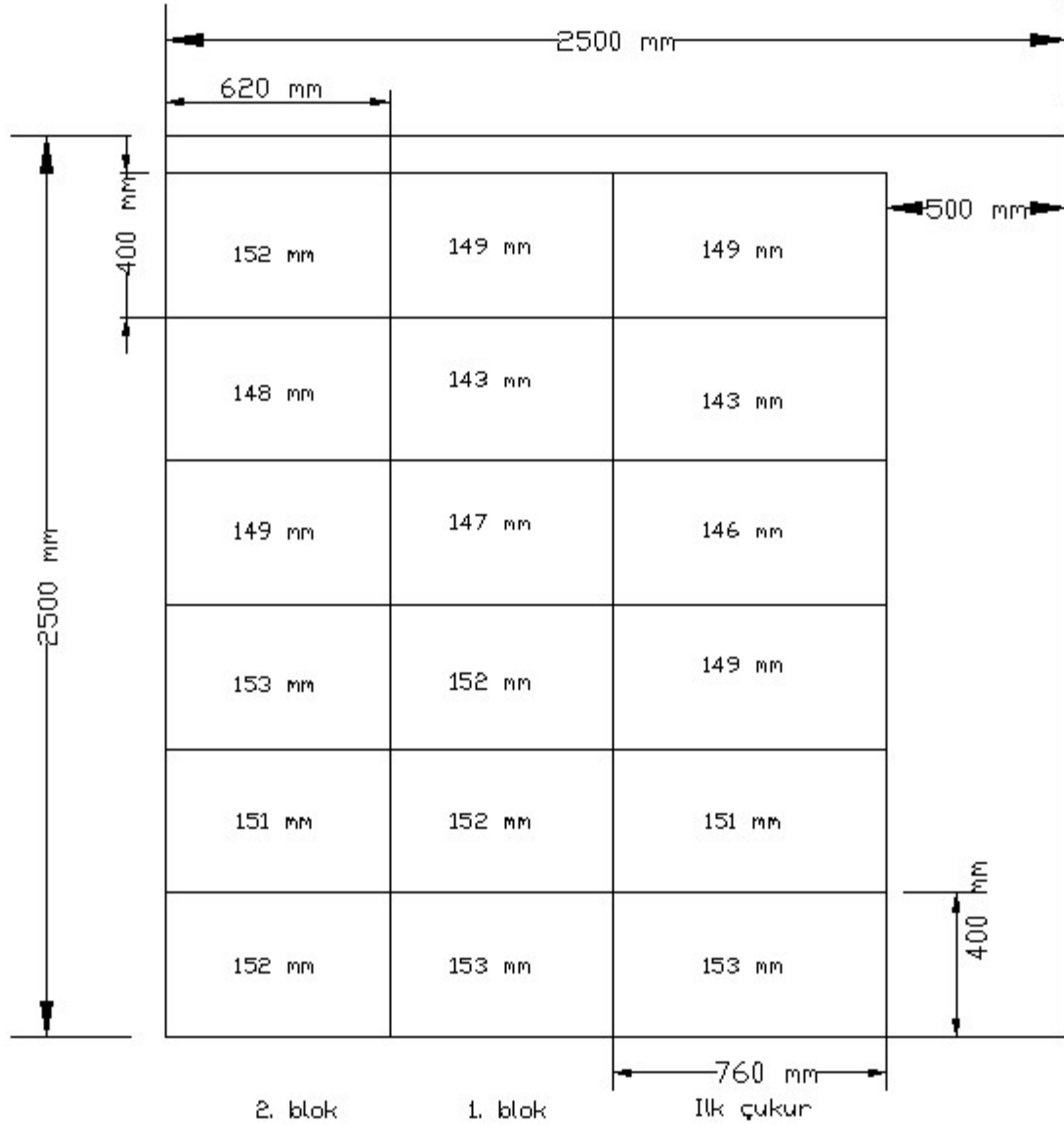
Şekil 6.4 Enli dilim kazısı birinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca (dilim kazısı)

6.1.2 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modellemesi

Enli dilim örtükazı yönteminin ikinci benzetim modellemesi 1/100 ölçekli kum havuzunda yapılmıştır. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer ikisi üretim bloğu olmak üzere toplam üç bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set boyu 40 cm (40 m) olan altı sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda altı set, her bir

üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal, bir dilim ve bir köprü olmak üzere toplamda 18 kazı bloğu ve altı set bulunmaktadır. Çok ince olarak tasarlanan kömür tabakası kalınlığı 1 cm olduğundan (1 m) modelleme tablasında gösterilmemiştir. Örtü tabakası yerinde malzeme olarak kabul edilmiş ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 6.5’de verilmiştir. İlk çukur boyutları 76 cm × 40 cm, set boyutları 62 cm × 40 cm alınmıştır. Çekme-kepçe kazı konumunda iken pasa malzemesini dilim şev tabanına dökülebilmektedir.

Enli dilim benzetimi üç blok boyunca sürdürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.2’de, örtükazı panosunun kazı ve döküm işlemlerinin aşamaları, Şekil 6.6’da sunulmuştur. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 6.7’de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 6.8’de görülmektedir. Örtükazı benzetim çalışmasının ilk denemesine ait tüm süreç Ek-B’de bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.



Çizelge 6.2 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modellemesi sonuçları

Setler	İlk çukur																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığında BLOK				Fark	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)			(cm ³)			(m ³)	(%)
1	65,41	76,00	62,00	40,00	26,00	15,30	35012,58	1624,74	21,55	30,00	10503,77	6,46	28,01	45516,35	#YOK	#YOK		
2	65,13	76,00	62,00	40,00	40,00	15,10	41604,59	1624,74	25,61	30,00	12481,38	7,68	33,29	54085,97	#YOK	#YOK		
3	64,83	76,00	62,00	40,00	40,00	14,90	41052,12	1624,74	25,27	30,00	12315,63	7,58	32,85	53367,75	#YOK	#YOK		
4	64,38	76,00	62,00	40,00	40,00	14,60	40225,84	1624,74	24,76	30,00	12067,75	7,43	32,19	52293,60	#YOK	#YOK		
5	63,92	76,00	62,00	40,00	40,00	14,30	39400,53	1624,74	24,25	30,00	11820,16	7,28	31,53	51220,69	#YOK	#YOK		
6	64,83	76,00	62,00	40,00	40,00	14,90	41052,12	1624,74	25,27	30,00	12315,63	7,58	32,85	53367,75	#YOK	#YOK		

Çizelge 6.2 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	1. BLOK													
	Yerinde SET							Kabarmış SET				TOPLAM		
	Φ_O (°)	$W_{ÜST}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)
1	65,41	62,00	62,00	40,00	26,00	15,30	31064,65	1624,74	19,12	30,00	9319,39	5,74	24,86	40384,04
2		62,00	62,00	40,00	40,00	15,20	37696,00	1624,74	23,20	30,00	11308,80	6,96	30,16	49004,80
3		62,00	62,00	40,00	40,00	15,20	37696,00	1624,74	23,20	30,00	11308,80	6,96	30,16	49004,80
4		62,00	62,00	40,00	40,00	14,70	36456,00	1624,74	22,44	30,00	10936,80	6,73	29,17	47392,80
5		62,00	62,00	40,00	40,00	14,30	35464,00	1624,74	21,83	30,00	10639,20	6,55	28,38	46103,20
6		62,00	62,00	40,00	40,00	14,90	36952,00	1624,74	22,74	30,00	11085,60	6,82	29,57	48037,60

Setler	KANAL BLOĞU												
	YERİNDE KANAL							KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{ÜSTÖN}$ (cm)	$W_{ÜSTARKA}$ (cm)	$W_{ALTÖN}$ (cm)	$W_{ALTARKA}$ (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}
1	35,00	25,00	21,00	11,00	40,00	26,00	15,30	11843,65	7,29	2,19	9,48	51,00	65,00
2	35,00	25,00	21,09	11,09	40,00	40,00	15,20	13792,97	8,49	2,55	11,04	50,00	62,00
3	35,00	25,00	21,09	11,09	40,00	40,00	15,20	13792,97	8,49	2,55	11,04	52,00	64,00
4	35,00	25,00	21,55	11,55	40,00	40,00	14,70	13489,76	8,30	2,49	10,79	51,00	63,00
5	35,00	25,00	21,91	11,91	40,00	40,00	14,30	13239,23	8,15	2,44	10,59	53,00	62,00
6	35,00	25,00	21,36	11,36	40,00	40,00	14,90	13612,38	8,38	2,51	10,89	#YOK	#YOK

Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM						KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{ÜSTÖN}$ (cm)	$W_{ÜSTARKA}$ (cm)	$W_{ALTÖN}$ (cm)	$W_{ALTARKA}$ (cm)	$V_{DİLİM}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	27,00	37,00	41,00	51,00	18937,25	11,66	3,50	15,15	49,00	64,00	
2	27,00	37,00	40,91	50,91	23558,31	14,50	4,35	18,85	40,00	69,00	
3	27,00	37,00	40,91	50,91	23558,31	14,50	4,35	18,85	40,00	68,00	
4	27,00	37,00	40,45	50,45	22656,13	13,94	4,18	18,13	41,00	64,00	
5	27,00	37,00	40,09	50,09	21940,49	13,50	4,05	17,56	40,00	60,00	
6	27,00	37,00	40,64	50,64	23015,99	14,17	4,25	18,42	#YOK	#YOK	

Çizelge 6.2 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	2. BLOK													
	Yerinde SET									Kabarmış SET			TOPLAM	
	Φ_0 (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	65,27	62,00	62,00	40,00	26,00	15,20	30862,42	1624,74	19,00	30,00	9258,72	5,70	24,69	40121,14
2		62,00	62,00	40,00	40,00	15,10	37448,00	1624,74	23,05	30,00	11234,40	6,91	29,96	48682,40
3		62,00	62,00	40,00	40,00	15,30	37944,00	1624,74	23,35	30,00	11383,20	7,01	30,36	49327,20
4		62,00	62,00	40,00	40,00	14,90	36952,00	1624,74	22,74	30,00	11085,60	6,82	29,57	48037,60
5		62,00	62,00	40,00	40,00	14,80	36704,00	1624,74	22,59	30,00	11011,20	6,78	29,37	47715,20
6		62,00	62,00	40,00	40,00	15,20	37696,00	1624,74	23,20	30,00	11308,80	6,96	30,16	49004,80

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL									KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	35,00	25,00	21,09	11,09	40,00	26,00	15,20	11788,76	7,26	2,18	9,43	50,00	64,00	
2	35,00	25,00	21,18	11,18	40,00	40,00	15,10	13733,22	8,45	2,54	10,99	51,00	62,00	
3	35,00	25,00	21,00	11,00	40,00	40,00	15,30	13852,28	8,53	2,56	11,08	50,00	60,00	
4	35,00	25,00	21,36	11,36	40,00	40,00	14,90	13612,38	8,38	2,51	10,89	52,00	63,00	
5	35,00	25,00	21,45	11,45	40,00	40,00	14,80	13551,29	8,34	2,50	10,84	52,00	64,00	
6	35,00	25,00	21,09	11,09	40,00	40,00	15,20	13792,97	8,49	2,55	11,04	#YOK	#YOK	

Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	27,00	37,00	40,91	50,91	18795,75	11,57	3,47	15,04	45,00	66,00	
2	27,00	37,00	40,82	50,82	23377,19	14,39	4,32	18,70	41,00	63,00	
3	27,00	37,00	41,00	51,00	23739,76	14,61	4,38	18,99	41,00	61,00	
4	27,00	37,00	40,64	50,64	23015,99	14,17	4,25	18,42	44,00	63,00	
5	27,00	37,00	40,55	50,55	22835,89	14,06	4,22	18,27	42,00	62,00	
6	27,00	37,00	40,91	50,91	23558,31	14,50	4,35	18,85	#YOK	#YOK	



a. Başlangıç ukuru açılmadan önce



b. Başlangıç ukuru kazısından sonra



c. Birinci blok 1. Set kanal kazısından sonra



d. Birinci blok kazısından sonra

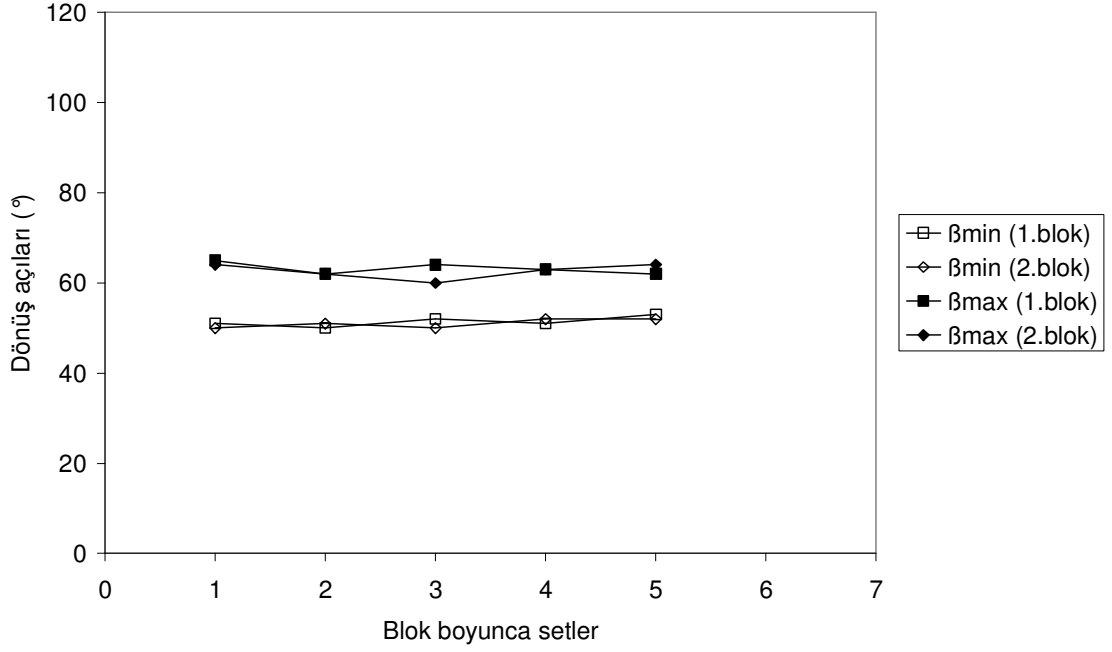


e. İkinci blok 1. Set kanal kazısından sonra

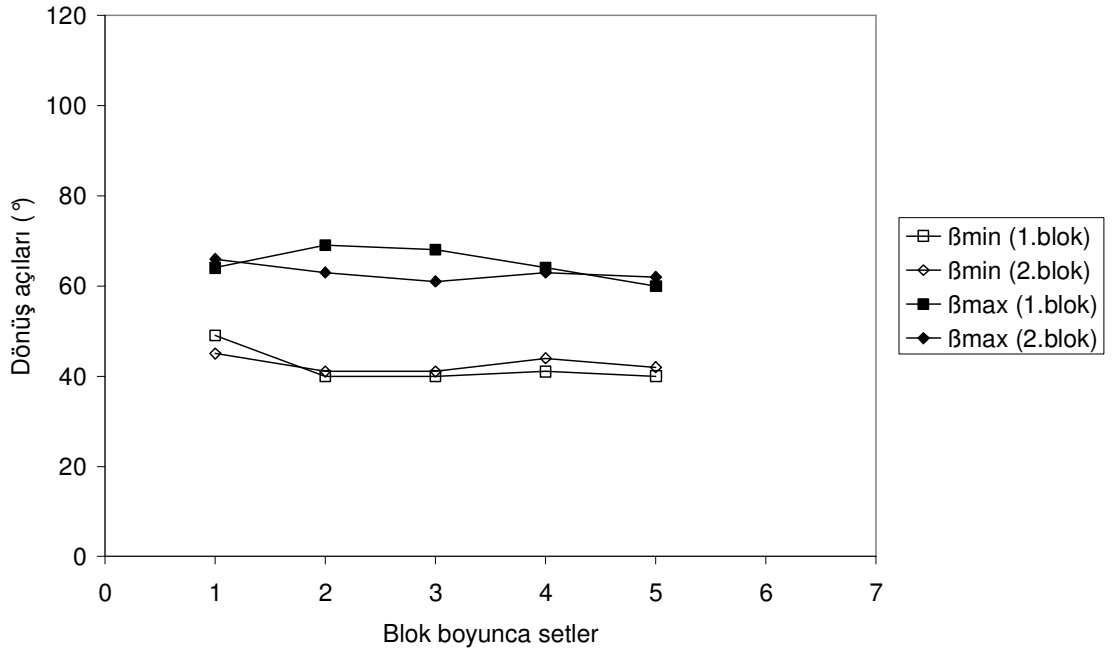


f. İkinci blok kazısından sonra

şekil 6.6 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modeli aşamaları



Şekil 6.7 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{\min} , β_{\max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



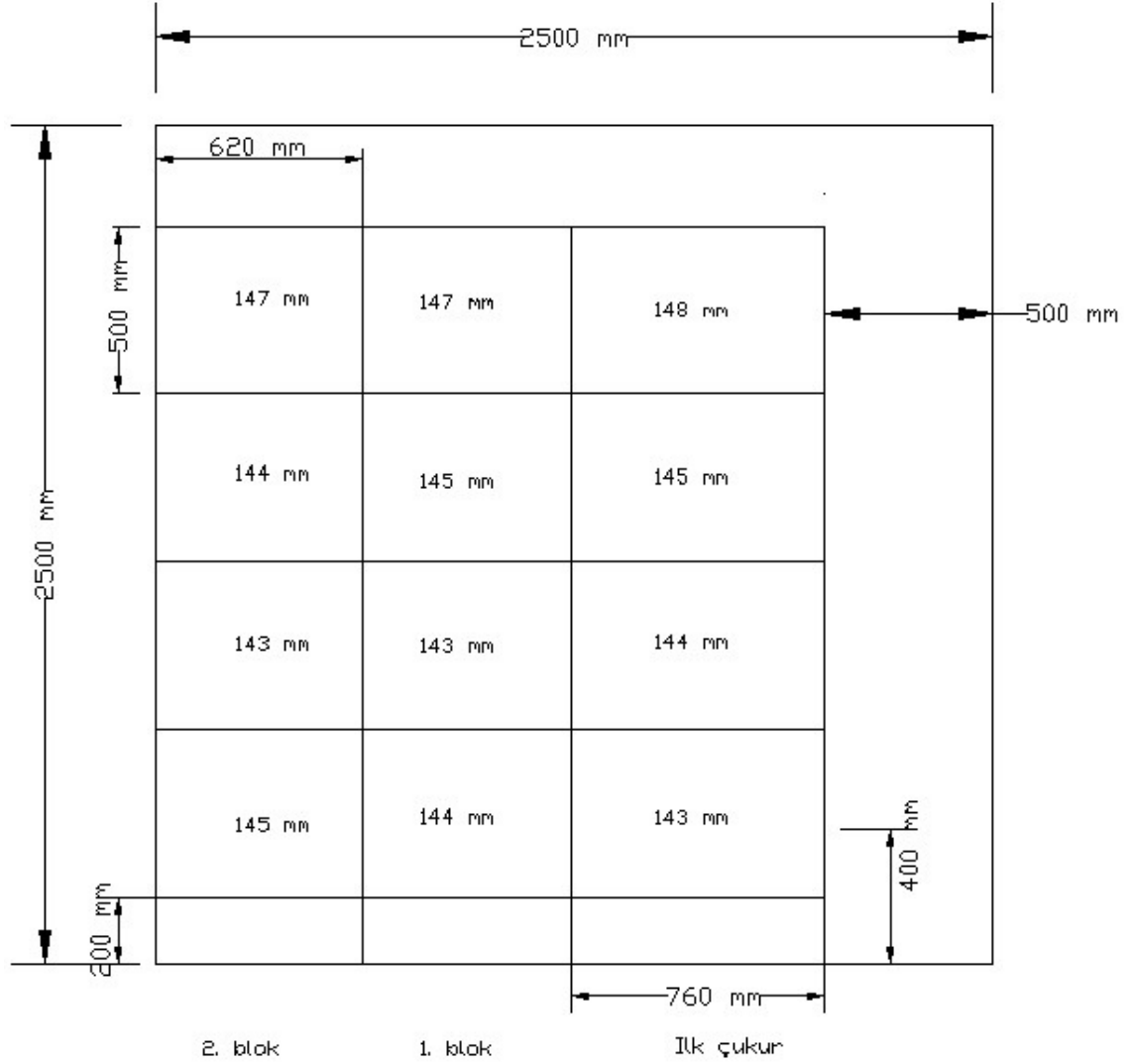
Şekil 6.8 Enli dilim kazısı ikinci benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{\min} , β_{\max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

6.1.3 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modellemesi

Enli dilim örtükazı yönteminin üçüncü benzetim modellemesi 1/100 ölçekli kum havuzunda yapılmıştır. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer ikisi üretim bloğu olmak üzere toplam üç bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set

boyu 30 cm (30 m) olan beş sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda beş set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal, bir dilim ve bir köprü olmak üzere toplamda 15 kazı bloğu ve beş set bulunmaktadır. Çok ince olarak tasarlanan kömür tabakası kalınlığı 1 cm olduğundan (1 m) modelleme tablasında gösterilmemiştir. Örtü tabakası yerinde malzeme olarak kabul edilmiş ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 6.9'da verilmiştir. İlk çukur boyutları 76 cm × 30 cm, set boyutları 62 cm × 30 cm alınmıştır. Çekme-kepçe kazı konumunda iken pasa malzemesini dilim şev tabanına dökülebilmektedir.

Enli dilim benzetimi üç blok boyunca sürdürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.3'de, örtükazı panosunun kazı ve döküm işlemlerinin aşamaları, Şekil 6.10'da sunulmuştur. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 6.11'de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 6.12'de görülmektedir. Örtükazı benzetim çalışmasının ilk denemesine ait tüm süreç Ek-B'de bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.



Şekil 6.9 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modelleme planı

Çizelge 6.3 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modellemesi sonuçları

DİLİMLER	Başlangıç çukuru (boxcut)																		
	Yerinde BLOK							Kabarmış BLOK				Yığında BLOK				Fark			
	Φ_o	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_o	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)				(cm ³)			(m ³)	(%)
1	63,92	76,00	62,00	40,00	26,00	14,30	32727,49	1624,74	20,14	30,00	9818,25	6,04	26,19	42545,74	#YOK	#YOK			
2	64,00	76,00	62,00	40,00	40,00	14,35	39538,50	1624,74	24,34	30,00	11861,55	7,30	31,64	51400,05	#YOK	#YOK			
3	64,23	76,00	62,00	40,00	40,00	14,50	39951,05	1624,74	24,59	30,00	11985,31	7,38	31,97	51936,36	#YOK	#YOK			
4	64,62	76,00	62,00	40,00	40,00	14,75	40641,51	1624,74	25,01	30,00	12192,45	7,50	32,52	52833,97	#YOK	#YOK			

Çizelge 6.3 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	1. BLOK													
	Yerinde SET									Kabarmış SET			TOPLAM	
	Φ_O (°)	$W_{ÜST}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)
1	64,07	62,00	62,00	50,00	36,00	14,40	38218,20	1624,74	23,52	30,00	11465,46	7,06	30,58	49683,66
2		62,00	62,00	50,00	50,00	14,33	44407,50	1624,74	27,33	30,00	13322,25	8,20	35,53	57729,75
3		62,00	62,00	50,00	50,00	14,45	44795,00	1624,74	27,57	30,00	13438,50	8,27	35,84	58233,50
4		62,00	62,00	50,00	50,00	14,70	45570,00	1624,74	28,05	30,00	13671,00	8,41	36,46	59241,00

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL									KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{ÜSTÖN}$ (cm)	$W_{ÜSTARKA}$ (cm)	$W_{ALTÖN}$ (cm)	$W_{ALTARKA}$ (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	40,00	30,00	26,00	16,00	50,00	36,00	14,40	17548,32	10,80	3,24	14,04	47,00	72,00	
2	40,00	30,00	26,07	16,07	50,00	50,00	14,33	19870,12	12,23	3,67	15,90	48,00	71,00	
3	40,00	30,00	25,95	15,95	50,00	50,00	14,45	19995,34	12,31	3,69	16,00	49,00	73,00	
4	40,00	30,00	25,71	15,71	50,00	50,00	14,70	20243,11	12,46	3,74	16,20	47,00	75,00	

Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{ÜSTÖN}$ (cm)	$W_{ÜSTARKA}$ (cm)	$W_{ALTÖN}$ (cm)	$W_{ALTARKA}$ (cm)	$V_{DİLİM}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	22,00	32,00	36,00	46,00	20340,34	12,52	3,76	16,27	47,00	69,00	
2	22,00	32,00	35,93	45,93	24155,18	14,87	4,46	19,33	39,00	58,00	
3	22,00	32,00	36,05	46,05	24407,11	15,02	4,51	19,53	41,00	59,00	
4	22,00	32,00	36,29	46,29	24913,06	15,33	4,60	19,93	40,00	60,00	

Çizelge 6.3 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim çalışması sonuçları (devam ediyor)

Setler	2. BLOK													
	Yerinde SET							Kabarmış SET				TOPLAM		
	Φ_O (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	64,15	62,00	62,00	50,00	36,00	14,45	38351,49	1624,74	23,60	30,00	11505,45	7,08	30,69	49856,94
2		62,00	62,00	50,00	50,00	14,30	44330,00	1624,74	27,28	30,00	13299,00	8,19	35,47	57629,00
3		62,00	62,00	50,00	50,00	14,35	44485,00	1624,74	27,38	30,00	13345,50	8,21	35,59	57830,50
4		62,00	62,00	50,00	50,00	14,68	45492,50	1624,74	28,00	30,00	13647,75	8,40	36,40	59140,25

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL								KABARMIŞ		TOPLAM		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	40,00	30,00	25,95	15,95	50,00	36,00	14,45	17594,62	10,83	3,25	14,08	48,00	73,00	
2	40,00	30,00	26,09	16,09	50,00	50,00	14,30	19844,97	12,21	3,66	15,88	47,00	71,00	
3	40,00	30,00	26,05	16,05	50,00	50,00	14,35	19895,24	12,25	3,67	15,92	49,00	72,00	
4	40,00	30,00	25,73	15,73	50,00	50,00	14,68	20218,50	12,44	3,73	16,18	50,00	74,00	

Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	22,00	32,00	36,05	46,05	20423,79	12,57	3,77	16,34	44,00	61,00	
2	22,00	32,00	35,91	45,91	24104,88	14,84	4,45	19,29	42,00	60,00	
3	22,00	32,00	35,95	45,95	24205,51	14,90	4,47	19,37	41,00	58,00	
4	22,00	32,00	36,27	46,27	24862,34	15,30	4,59	19,89	43,00	62,00	



a. Başlangıç ukuru açıldıktan sonra



b. Birinci blok 1. Set kanal kazısından sonra



c. Birinci blok 2. Set dilim kazısından sonra



d. Birinci blok kazısından sonra

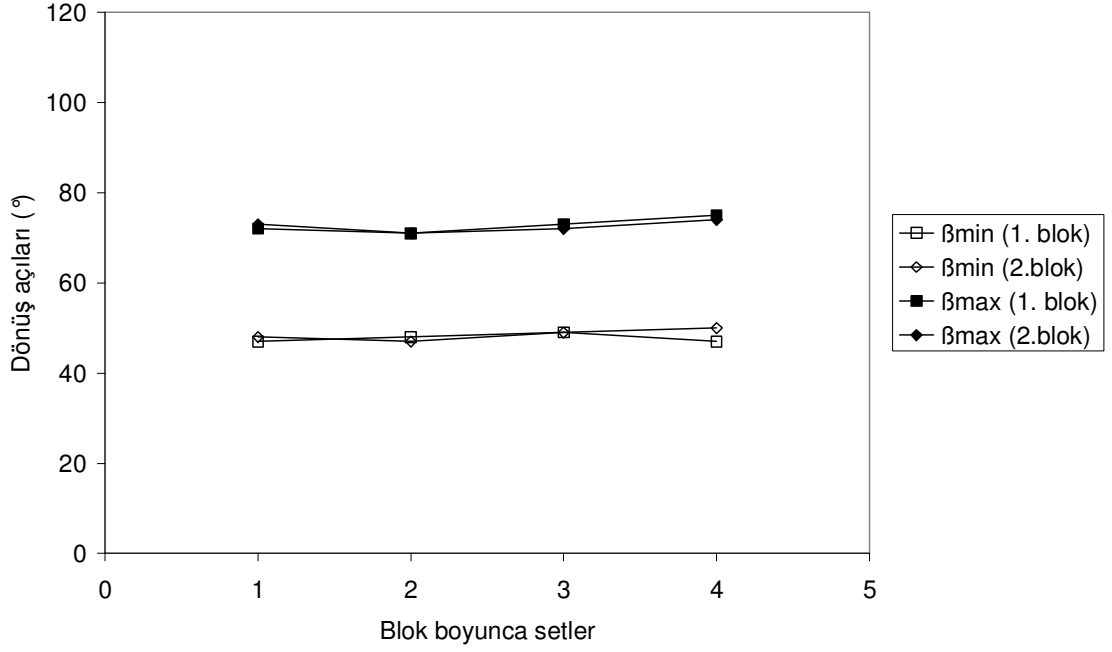


e. İkinci blok 1. Set kanal kazısından sonra

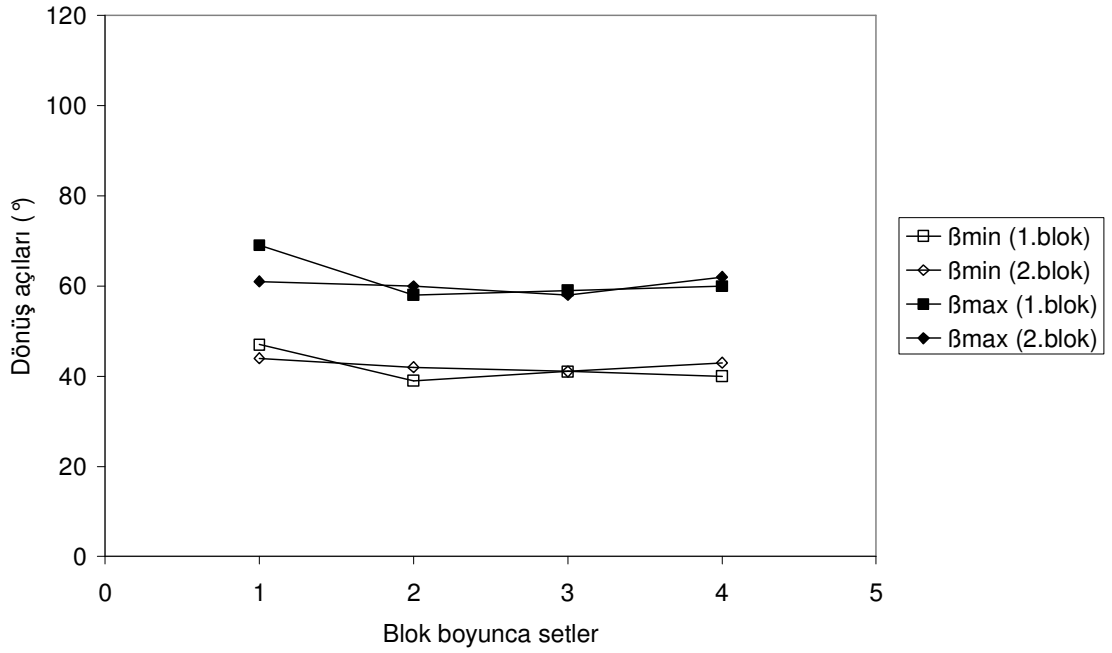


f. İkinci blok kazısından sonra

şekil 6.10 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modeli aşamaları



Şekil 6.11 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



Şekil 6.12 Enli dilim kazısı üçüncü benzetim modeli çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

6.2 Geri Çekimli Kazı Yöntemi Benzetim Modeli

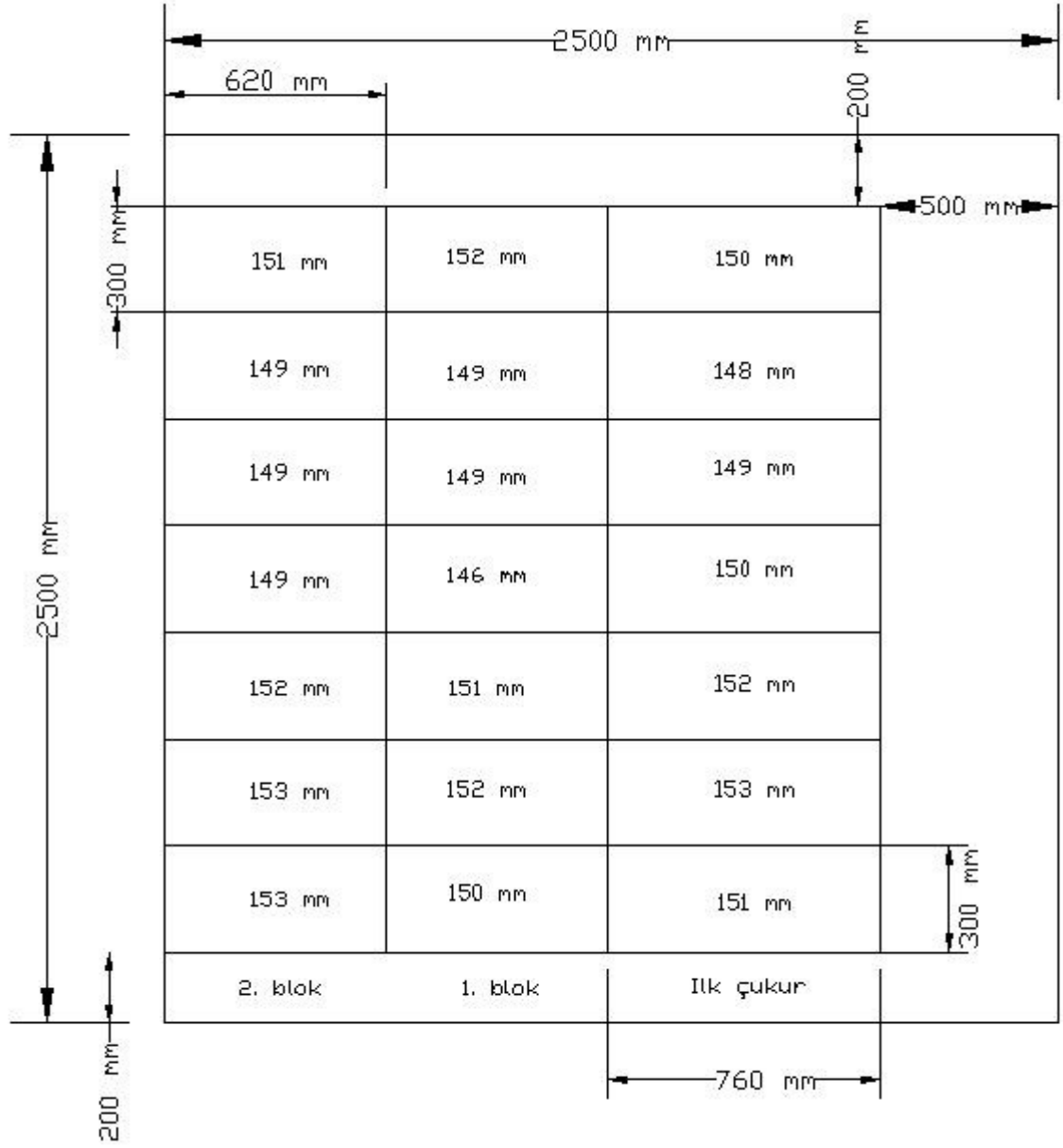
Tekrarkazı içeren diğer bir yöntem, çekme-kepçenin dilim ve harman yakaları arasında periyodik aralıklarla geçiş yaparak kömürün üzerini açtığı geri çekimli kazı yöntemidir. Tekrarkazı kaçınılmaz olduğundan, bunun oranını olabildiğince azaltmak için dilim genişliği, enli dilim kazısında olduğu gibi çok büyük tutulmaktadır. Bu bölümde de dilim boyutlarının

çekme-kepçe çalışması ve geometrik duraylılık üzerindeki etkileri, set boyutları değiştirilerek incelenmiştir.

6.2.1 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modellemesi

Geri çekimli örtükazı yönteminin ilk benzetim modellemesi 1/100 ölçekli kum havuzunda yapılmıştır. İlk çukurdan kazılacak malzemenin basamak üzerinde serbest olarak yığılabilmesi için, kazı bloklarının yanında yeterli boşluk bırakılmıştır. Kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer ikisi üretim bloğu olmak üzere toplam üç bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set boyu 30 cm (30 m) olan yedi sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda yedi set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal, bir dilim ve bir bariyer olmak üzere toplamda 21 kazı bloğu ve yedi set bulunmaktadır. Çok ince olarak tasarlanan kömür tabakası kalınlığı 1 cm olduğundan (1 m) modelleme tablasında gösterilmemiştir. Örtü tabakası yerinde malzeme olarak kabul edilmiş ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 6.13'de verilmiştir. İlk çukur boyutları 76 cm × 30 cm, set boyutları 62 cm × 30 cm alınmıştır. Böylece çekme-kepçe kazı konumunda iken pasa malzemesini dilim şev tabanına dökülebilmektedir.

Geri çekimli kazı benzetimi üç blok boyunca sürdürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.4'de, örtükazı panosunun kazı ve döküm işlemlerinin aşamaları, Şekil 6.14'de sunulmuştur. Bölüm 3'te öne sürülen 'geometrik duraylılık' kavramı göz önüne alındığında 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, ortalama 15 m kalınlığındaki örtü dilimini geri çekimli kazı yöntemine uygun şekilde, kanal, dilim ve bariyer blokları halinde kazabilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 6.15'de, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 6.16'da görülmektedir. Örtükazı benzetim çalışmasının ilk denemesine ait tüm süreç Ek-C'de bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.



Şekil 6.13 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modelleme planı



a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra



b. Birinci blok kazısından sonra



c. Harman tarafı tabla hazırlığı bittikten sonra



d. Harman tarafı kazısı



e. İkinci blok 1. Set kanal kazısından sonra



f. İkinci blok kazısından sonra



g. Harman tarafı tabla hazırlığı



h. Harman tarafı kazısı

Şekil 6.14 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modeli aşamaları

Çizelge 6.4 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modellemesi sonuçları

Setler	Başlangıç çukuru (boxcut)																	
	Yerinde BLOK						Kabarmış BLOK				Yığında BLOK						Fark	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)			(cm ³)			(m ³)	(%)
1	65,17	76,00	62,00	30,00	16,00	15,13	24080,86	1624,74	14,82	30,00	7224,26	4,45	19,27	31305,12	#YOK	#YOK		
2	65,45	76,00	62,00	30,00	30,00	15,33	31668,12	1624,74	19,49	30,00	9500,44	5,85	25,34	41168,55	#YOK	#YOK		
3	65,31	76,00	62,00	30,00	30,00	15,23	31461,79	1624,74	19,36	30,00	9438,54	5,81	25,17	40900,32	#YOK	#YOK		
4	64,95	76,00	62,00	30,00	30,00	14,98	30945,46	1624,74	19,05	30,00	9283,64	5,71	24,76	40229,10	#YOK	#YOK		
5	64,76	76,00	62,00	30,00	30,00	14,85	30686,38	1624,74	18,89	30,00	9205,91	5,67	24,55	39892,30	#YOK	#YOK		
6	64,65	76,00	62,00	30,00	30,00	14,78	30531,70	1624,74	18,79	30,00	9159,51	5,64	24,43	39691,21	#YOK	#YOK		
7	64,95	76,00	62,00	30,00	30,00	14,98	30945,46	1624,74	19,05	30,00	9283,64	5,71	24,76	40229,10	#YOK	#YOK		

Çizelge 6.4 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	1. BLOK													
	Yerinde SET							Kabarmış SET					TOPLAM	
	Φ_0 (°)	$W_{ÜST}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)
1	64,95	62,00	62,00	30,00	16,00	14,98	21017,85	1624,74	12,94	30,00	6305,35	3,88	16,82	27323,20
2		62,00	62,00	30,00	30,00	15,18	28225,50	1624,74	17,37	30,00	8467,65	5,21	22,58	36693,15
3		62,00	62,00	30,00	30,00	15,05	27993,00	1624,74	17,23	30,00	8397,90	5,17	22,40	36390,90
4		62,00	62,00	30,00	30,00	14,60	27156,00	1624,74	16,71	30,00	8146,80	5,01	21,73	35302,80
5		62,00	62,00	30,00	30,00	14,58	27109,50	1624,74	16,69	30,00	8132,85	5,01	21,69	35242,35
6		62,00	62,00	30,00	30,00	14,90	27714,00	1624,74	17,06	30,00	8314,20	5,12	22,17	36028,20
7		62,00	62,00	30,00	30,00	15,15	28179,00	1624,74	17,34	30,00	8453,70	5,20	22,55	36632,70

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL								KABARMIŞ		TOPLAM		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{ÜSTÖN}$ (cm)	$W_{ÜSTARKA}$ (cm)	$W_{ALTÖN}$ (cm)	$W_{ALTARKA}$ (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	25,00	15,00	11,00	1,00	30,00	16,00	14,98	4672,76	2,88	0,86	3,74	68,00	68,00	
2	25,00	15,00	10,82	0,82	30,00	30,00	15,18	5554,03	3,42	1,03	4,44	73,00	73,00	
3	25,00	15,00	10,93	0,93	30,00	30,00	15,05	5542,08	3,41	1,02	4,43	74,00	74,00	
4	25,00	15,00	11,35	1,35	30,00	30,00	14,60	5493,20	3,38	1,01	4,40	70,00	70,00	
5	25,00	15,00	11,38	1,38	30,00	30,00	14,58	5490,22	3,38	1,01	4,39	71,00	71,00	
6	25,00	15,00	11,07	1,07	30,00	30,00	14,90	5526,81	3,40	1,02	4,42	72,00	72,00	
7	25,00	15,00	10,84	0,84	30,00	30,00	15,15	5551,69	3,42	1,03	4,44	#YOK	#YOK	

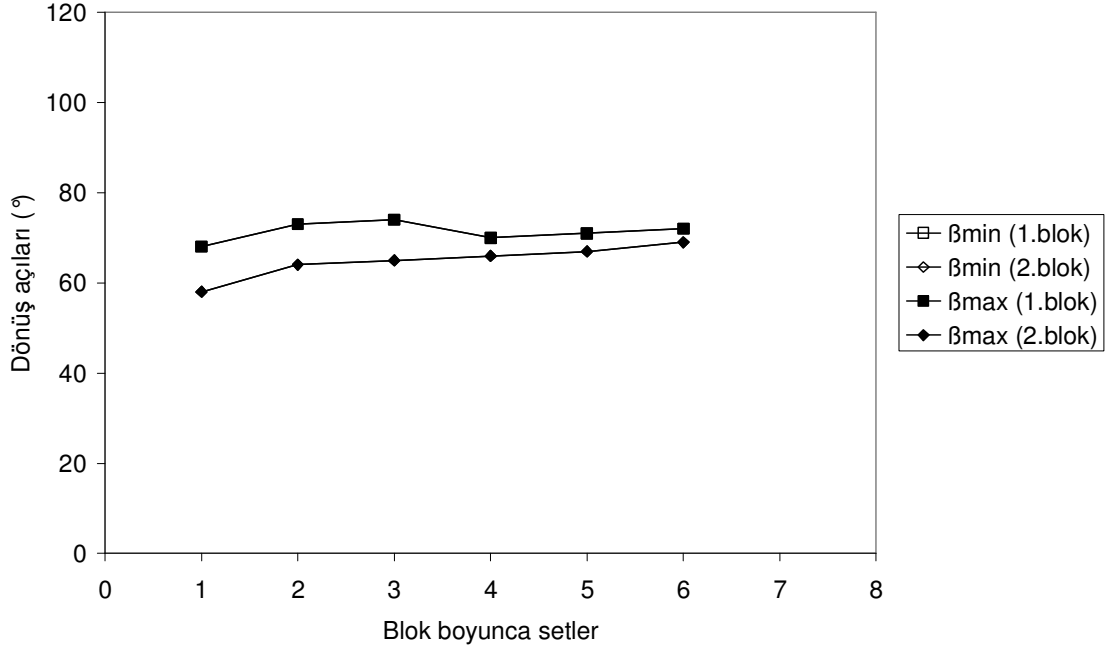
Setler	DİLİM BLOĞU											
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{ÜSTÖN}$ (cm)	$W_{ÜSTARKA}$ (cm)	$W_{ALTÖN}$ (cm)	$W_{ALTARKA}$ (cm)	$V_{DİLİM}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}		
1	37,00	47,00	51,00	61,00	16066,52	9,89	2,97	12,86	46,00	84,00		
2	37,00	47,00	51,18	61,18	22271,14	13,71	4,11	17,82	51,00	83,00		
3	37,00	47,00	51,07	61,07	22062,49	13,58	4,07	17,65	58,00	86,00		
4	37,00	47,00	50,65	60,65	21314,78	13,12	3,94	17,05	51,00	82,00		
5	37,00	47,00	50,62	60,62	21273,40	13,09	3,93	17,02	52,00	83,00		
6	37,00	47,00	50,93	60,93	21812,66	13,43	4,03	17,45	60,00	88,00		
7	37,00	47,00	51,16	61,16	22229,38	13,68	4,10	17,79	#YOK	#YOK		

Çizelge 6.4 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

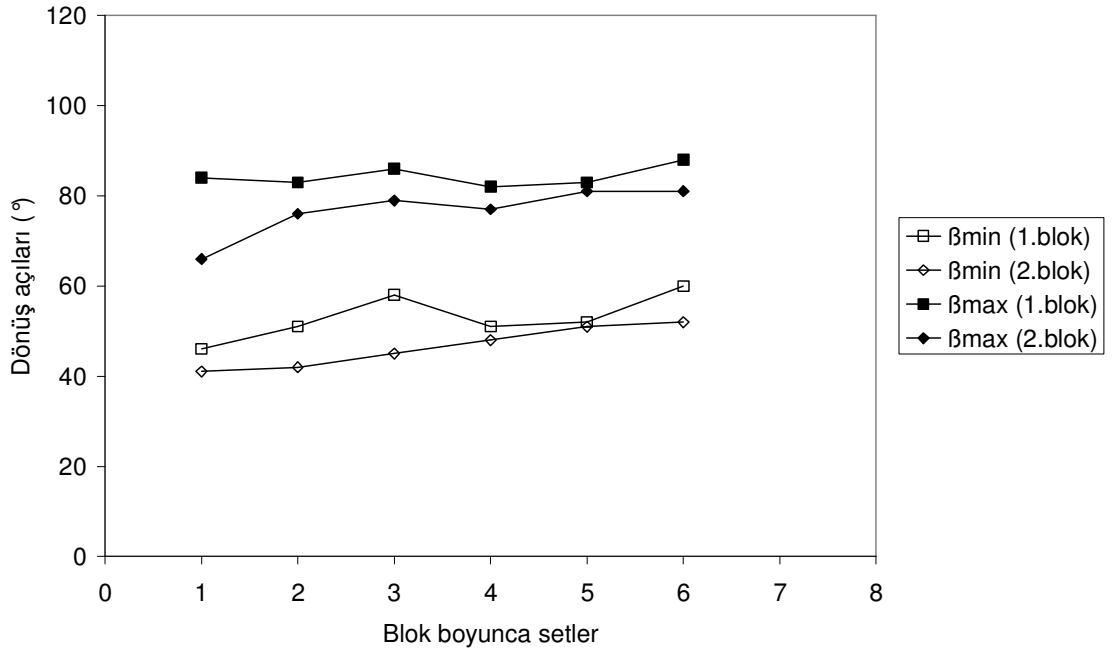
Setler	2. BLOK													
	Yerinde SET							Kabarmış SET				TOPLAM		
	Φ_O (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	65,35	62,00	62,00	30,00	16,00	15,25	21404,64	1624,74	13,17	30,00	6421,39	3,95	17,13	27826,03
2		62,00	62,00	30,00	30,00	15,28	28411,50	1624,74	17,49	30,00	8523,45	5,25	22,73	36934,95
3		62,00	62,00	30,00	30,00	15,23	28318,50	1624,74	17,43	30,00	8495,55	5,23	22,66	36814,05
4		62,00	62,00	30,00	30,00	14,90	27714,00	1624,74	17,06	30,00	8314,20	5,12	22,17	36028,20
5		62,00	62,00	30,00	30,00	14,88	27667,50	1624,74	17,03	30,00	8300,25	5,11	22,14	35967,75
6		62,00	62,00	30,00	30,00	14,93	27760,50	1624,74	17,09	30,00	8328,15	5,13	22,21	36088,65
7		62,00	62,00	30,00	30,00	15,05	27993,00	1624,74	17,23	30,00	8397,90	5,17	22,40	36390,90

Setler	KANAL BLOĞU												
	YERİNDE KANAL							KABARMIŞ		TOPLAM		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}
1	25,00	15,00	10,75	0,75	30,00	16,00	15,25	4711,34	2,90	0,87	3,77	58,00	58,00
2	25,00	15,00	10,72	0,72	30,00	30,00	15,28	5563,05	3,42	1,03	4,45	64,00	64,00
3	25,00	15,00	10,77	0,77	30,00	30,00	15,23	5558,60	3,42	1,03	4,45	65,00	65,00
4	25,00	15,00	11,07	1,07	30,00	30,00	14,90	5526,81	3,40	1,02	4,42	66,00	66,00
5	25,00	15,00	11,10	1,10	30,00	30,00	14,88	5524,16	3,40	1,02	4,42	67,00	67,00
6	25,00	15,00	11,05	1,05	30,00	30,00	14,93	5529,42	3,40	1,02	4,42	69,00	69,00
7	25,00	15,00	10,93	0,93	30,00	30,00	15,05	5542,08	3,41	1,02	4,43	#YOK	#YOK

Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM						KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	37,00	47,00	51,25	61,25	16395,56	10,09	3,03	13,12	41,00	66,00	
2	37,00	47,00	51,28	61,28	22438,35	13,81	4,14	17,95	42,00	76,00	
3	37,00	47,00	51,23	61,23	22354,71	13,76	4,13	17,89	45,00	79,00	
4	37,00	47,00	50,93	60,93	21812,66	13,43	4,03	17,45	48,00	77,00	
5	37,00	47,00	50,90	60,90	21771,08	13,40	4,02	17,42	51,00	81,00	
6	37,00	47,00	50,95	60,95	21854,26	13,45	4,04	17,49	52,00	81,00	
7	37,00	47,00	51,07	61,07	22062,49	13,58	4,07	17,65	#YOK	#YOK	



Şekil 6.15 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



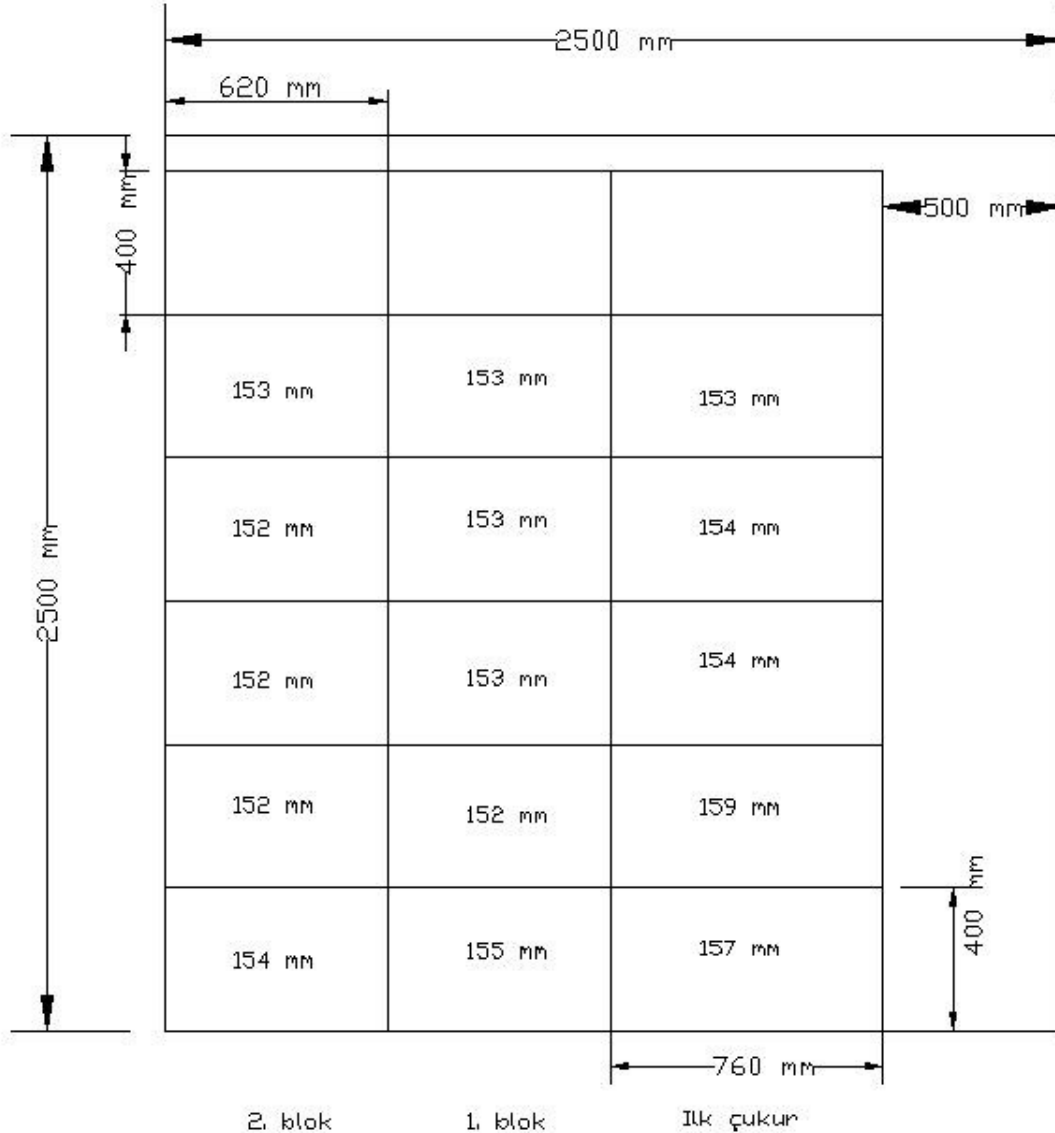
Şekil 6.16 Geri çekimli kazı yöntemi birinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

6.2.2 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modellemesi

Gerçekimli örtükazı yönteminin ikinci benzetim modellemesinde kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer ikisi üretim bloğu olmak üzere toplam üç bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set boyu 40 cm (40 m) olan altı sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda altı set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal, bir dilim ve bir bariyer olmak

üzere toplamda 18 kazı bloğu ve altı set bulunmaktadır. Çok ince olarak tasarlanan kömür tabakası kalınlığı 1 cm olduğundan (1 m) modelleme tablasında gösterilmemiştir. Örtü tabakası yerinde malzeme olarak kabul edilmiş ve pasa kabarma katsayısı %30 olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş çekme-kepçe panosu ve dilimlerin yerleşimi Şekil 6.17'de verilmiştir. İlk çukur boyutları 76 cm × 40 cm, set boyutları 62 cm × 40 cm alınmıştır. Böylece çekme-kepçe kazı konumunda iken pasa malzemesini dilim şev tabanına dökülebilmektedir.

Geri çekimli kazı benzetimi üç blok boyunca sürdürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.5'de, örtükazı panosunun kazı ve döküm işlemlerinin aşamaları, Şekil 6.18'de sunulmuştur. Bölüm 3'te öne sürülen 'geometrik duraylılık' kavramı göz önüne alındığında 70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, ortalama 15 m kalınlığındaki örtü dilimini geri çekimli kazı yöntemine uygun şekilde, kanal, dilim ve bariyer blokları halinde kazabilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren dönüş açılarının kanal kazısındaki değişimi Şekil 6.19'da, dilim kazısındaki değişimi ise Şekil 6.20'de görülmektedir. Örtükazı benzetim çalışmasının ilk denemesine ait tüm süreç Ek-C'de bulunan fotoğraf serisi ile izlenebilir.



Şekil 6.17 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modelleme planı



a. Başlangıç çukuru açılmadan önce



b. Birinci blok kazısından sonra



c. Harman tarafı 1. tabla hazırlığı



d. Harman tarafı kazısı



e. İkinci blok 1. Set kanal kazısından sonra



f. İkinci blok kazısından sonra



g. Harman tarafı 2. tabla hazırlığı



h. Harman tarafı 2. tabla kazısı

Şekil 6.18 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modeli aşamaları

Çizelge 6.5 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modellemesi sonuçları

DİLİMLER	Başlangıç çukuru (boxcut)																	
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığılda BLOK				Fark	
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)						(m ³)	(%)
1	65,97	76,00	62,00	40,00	26,00	15,70	35930,60	1624,74	22,11	30,00	10779,18	6,63	28,75	46709,78	#YOK	#YOK		
2	65,66	76,00	62,00	40,00	40,00	15,48	42637,39	1624,74	26,24	30,00	12791,22	7,87	34,12	55428,61	#YOK	#YOK		
3	65,59	76,00	62,00	40,00	40,00	15,43	42499,57	1624,74	26,16	30,00	12749,87	7,85	34,01	55249,44	#YOK	#YOK		
4	65,52	76,00	62,00	40,00	40,00	15,38	42361,82	1624,74	26,07	30,00	12708,55	7,82	33,89	55070,37	#YOK	#YOK		
5	65,47	76,00	62,00	40,00	40,00	15,34	42252,92	1624,74	26,01	30,00	12675,87	7,80	33,81	54928,79	#YOK	#YOK		

Çizelge 6.5 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	1. BLOK													
	Yerinde SET									Kabarmış SET			TOPLAM	
	Φ_O (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	65,70	62,00	62,00	40,00	26,00	15,50	31473,98	1624,74	19,37	30,00	9442,19	5,81	25,18	40916,17
2		62,00	62,00	40,00	40,00	15,23	37758,00	1624,74	23,24	30,00	11327,40	6,97	30,21	49085,40
3		62,00	62,00	40,00	40,00	15,33	38006,00	1624,74	23,39	30,00	11401,80	7,02	30,41	49407,80
4		62,00	62,00	40,00	40,00	15,25	37820,00	1624,74	23,28	30,00	11346,00	6,98	30,26	49166,00
5		62,00	62,00	40,00	40,00	15,25	37820,00	1624,74	23,28	30,00	11346,00	6,98	30,26	49166,00

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL									KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	25,00	20,00	11,00	6,00	40,00	26,00	15,50	8097,14	4,98	1,50	6,48	63,00	63,00	
2	25,00	20,00	11,25	6,25	40,00	40,00	15,23	9192,56	5,66	1,70	7,36	62,00	62,00	
3	25,00	20,00	11,16	6,16	40,00	40,00	15,33	9219,66	5,67	1,70	7,38	64,00	64,00	
4	25,00	20,00	11,23	6,23	40,00	40,00	15,25	9199,38	5,66	1,70	7,36	66,00	66,00	
5	25,00	20,00	11,23	6,23	40,00	40,00	15,25	9199,38	5,66	1,70	7,36	65,00	65,00	

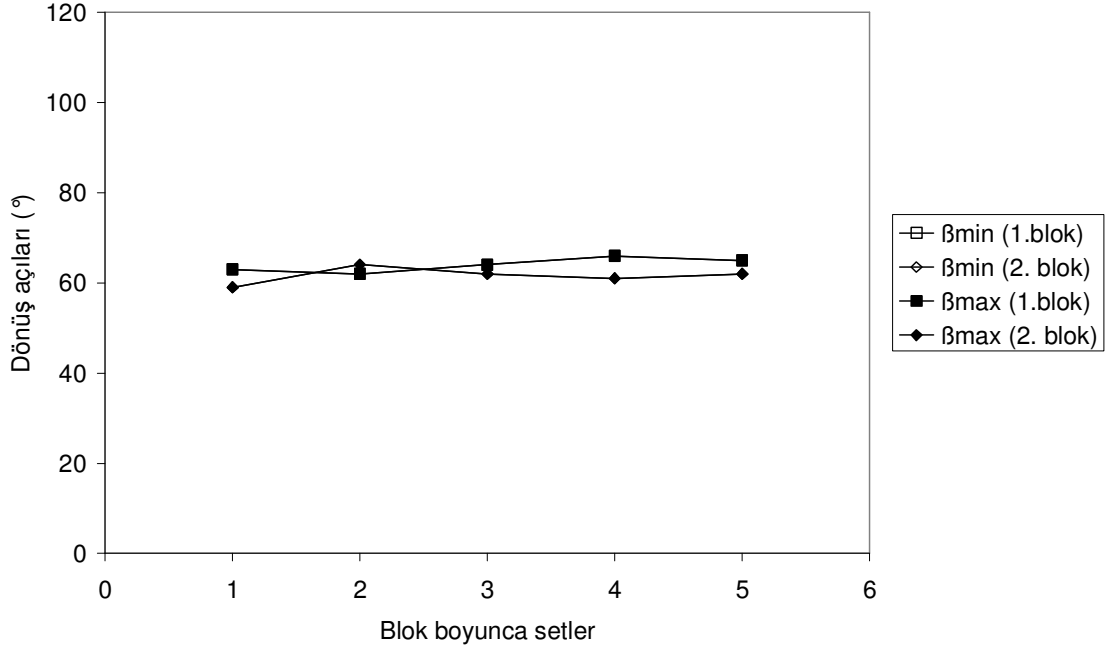
Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	37,00	42,00	51,00	56,00	23010,35	14,16	4,25	18,41	36,00	74,00	
2	37,00	42,00	50,75	55,75	28137,97	17,32	5,20	22,51	38,00	72,00	
3	37,00	42,00	50,84	55,84	28349,18	17,45	5,23	22,68	40,00	71,00	
4	37,00	42,00	50,77	55,77	28190,74	17,35	5,21	22,56	43,00	72,00	
5	37,00	42,00	50,77	55,77	28190,74	17,35	5,21	22,56	44,00	75,00	

Çizelge 6.5 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

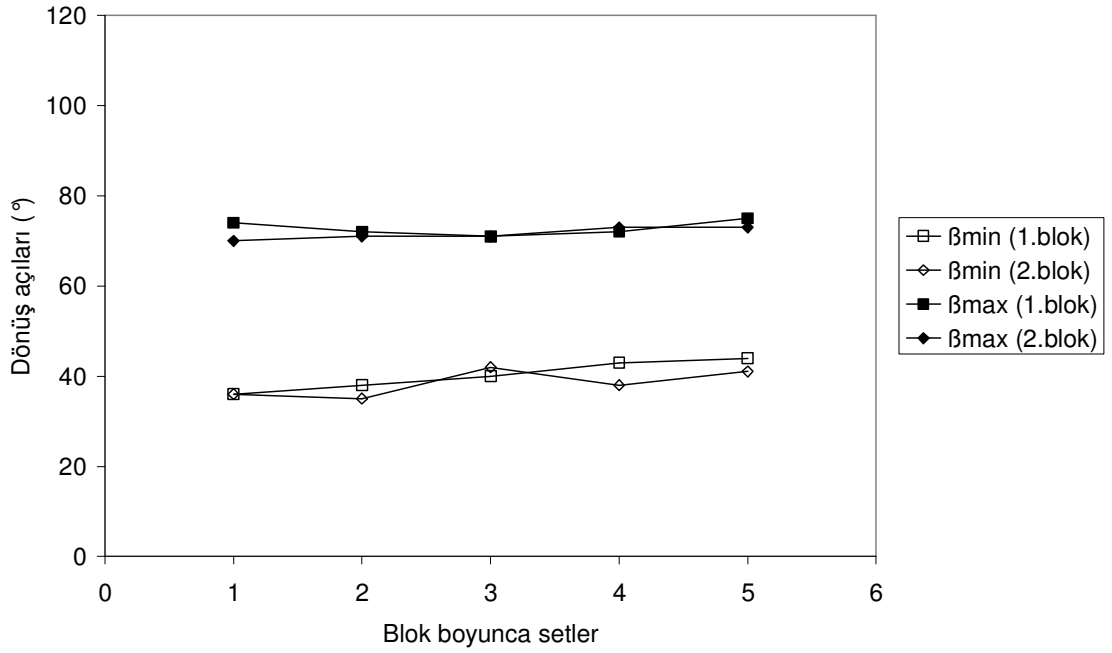
DİLİMLER	2. BLOK													
	Yerinde SET									Kabarmış SET			TOPLAM	
	Φ_0 (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	65,52	62,00	62,00	40,00	26,00	15,38	31218,31	1624,74	19,21	30,00	9365,49	5,76	24,98	40583,80
2		62,00	62,00	40,00	40,00	15,23	37758,00	1624,74	23,24	30,00	11327,40	6,97	30,21	49085,40
3		62,00	62,00	40,00	40,00	15,18	37634,00	1624,74	23,16	30,00	11290,20	6,95	30,11	48924,20
4		62,00	62,00	40,00	40,00	15,20	37696,00	1624,74	23,20	30,00	11308,80	6,96	30,16	49004,80
5		62,00	62,00	40,00	40,00	15,25	37820,00	1624,74	23,28	30,00	11346,00	6,98	30,26	49166,00

DİLİMLER	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL									KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	25,00	20,00	11,12	6,12	40,00	26,00	15,38	8061,69	4,96	1,49	6,45	59,00	59,00	
2	25,00	20,00	11,25	6,25	40,00	40,00	15,23	9192,56	5,66	1,70	7,36	64,00	64,00	
3	25,00	20,00	11,30	6,30	40,00	40,00	15,18	9178,82	5,65	1,69	7,34	62,00	62,00	
4	25,00	20,00	11,27	6,27	40,00	40,00	15,20	9185,71	5,65	1,70	7,35	61,00	61,00	
5	25,00	20,00	11,23	6,23	40,00	40,00	15,25	9199,38	5,66	1,70	7,36	62,00	62,00	

DİLİMLER	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM						KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI		
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	37,00	42,00	50,88	55,88	22800,22	14,03	4,21	18,24	36,00	70,00	
2	37,00	42,00	50,75	55,75	28137,97	17,32	5,20	22,51	35,00	71,00	
3	37,00	42,00	50,70	55,70	28032,50	17,25	5,18	22,43	42,00	71,00	
4	37,00	42,00	50,73	55,73	28085,22	17,29	5,19	22,47	38,00	73,00	
5	37,00	42,00	50,77	55,77	28190,74	17,35	5,21	22,56	41,00	73,00	



Şekil 6.19 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



Şekil 6.20 Geri çekimli kazı yöntemi ikinci benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{min} , β_{max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

6.2.3 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modellemesi

Gerçekimli örtükazı yönteminin üçüncü benzetim modellemesinde kazı panosunun, ilki başlangıç çukuru diğer ikisi üretim bloğu olmak üzere toplam üç bloktan oluşması planlanmıştır. Her blok, set boyu 50 cm (50 m) olan beş sete bölünmüştür. Böylece ilk çukur bloğunda beş set, her bir üretim bloğunda ise, aynı sette bir kanal, bir dilim ve bir bariyer olmak



a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra



b. Birinci blok kazısından sonra



c. Harman tarafı 1. tabla hazırlığı



d. Harman tarafı 1. tabla kazısından sonra



e. İkinci blok 1. Set kanal kazısından sonra



f. İkinci blok kazısından sonra



g. Harman tarafı 2. tabla hazırlığı



I. Harman tarafı 2. tabla kazısından sonra

Şekil 6.22 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modeli aşamaları

Çizelge 6.6 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modellemesi sonuçları

Setler	Başlangıç çukuru (boxcut)																		
	Yerinde BLOK									Kabarmış BLOK			Yığılda BLOK				Fark		
	Φ_0	$W_{\text{ÜST}}$	W_{ALT}	$L_{\text{SETÜ}}$	L_{SETA}	H_0	V_{BOXCUT}	V_{KUTU}	n_{KUTU}	Katsayı	V_{BOXCUT}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}} \text{ (cm}^3\text{)}$	β_{min}	β_{mak}	Hacim	Oran
	(°)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)		(%)	(cm ³)				(cm ³)			(m ³)	(%)
1	64,91	76,00	62,00	50,00	36,00	14,95	44572,67	1624,74	27,43	30,00	13371,80	8,23	35,66	57944,47	#YOK	#YOK			
2	64,98	76,00	62,00	50,00	50,00	15,00	51660,23	1624,74	31,80	30,00	15498,07	9,54	41,33	67158,30	#YOK	#YOK			
3	65,13	76,00	62,00	50,00	50,00	15,10	52005,74	1624,74	32,01	30,00	15601,72	9,60	41,61	67607,46	#YOK	#YOK			
4	65,20	76,00	62,00	50,00	50,00	15,15	52177,39	1624,74	32,11	30,00	15653,22	9,63	41,75	67830,61	#YOK	#YOK			

Çizelge 6.6 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

Setler	1. BLOK													
	Yerinde SET									Kabarmış SET			TOPLAM	
	Φ_O (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	64,35	62,00	62,00	50,00	36,00	14,58	38685,31	1624,74	23,81	30,00	11605,59	7,14	30,95	50290,90
2		62,00	62,00	50,00	50,00	14,55	45105,00	1624,74	27,76	30,00	13531,50	8,33	36,09	58636,50
3		62,00	62,00	50,00	50,00	14,65	45415,00	1624,74	27,95	30,00	13624,50	8,39	36,34	59039,50
4		62,00	62,00	50,00	50,00	14,78	45802,50	1624,74	28,19	30,00	13740,75	8,46	36,65	59543,25

Setler	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL									KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	25,00	20,00	11,00	6,00	50,00	36,00	14,58	9803,80	6,03	1,81	7,84	64,00	64,00	
2	25,00	20,00	11,03	6,03	50,00	50,00	14,55	10882,71	6,70	2,01	8,71	70,00	70,00	
3	25,00	20,00	10,93	5,93	50,00	50,00	14,65	10914,95	6,72	2,02	8,73	70,00	70,00	
4	25,00	20,00	10,81	5,81	50,00	50,00	14,78	10954,29	6,74	2,02	8,76	67,00	67,00	

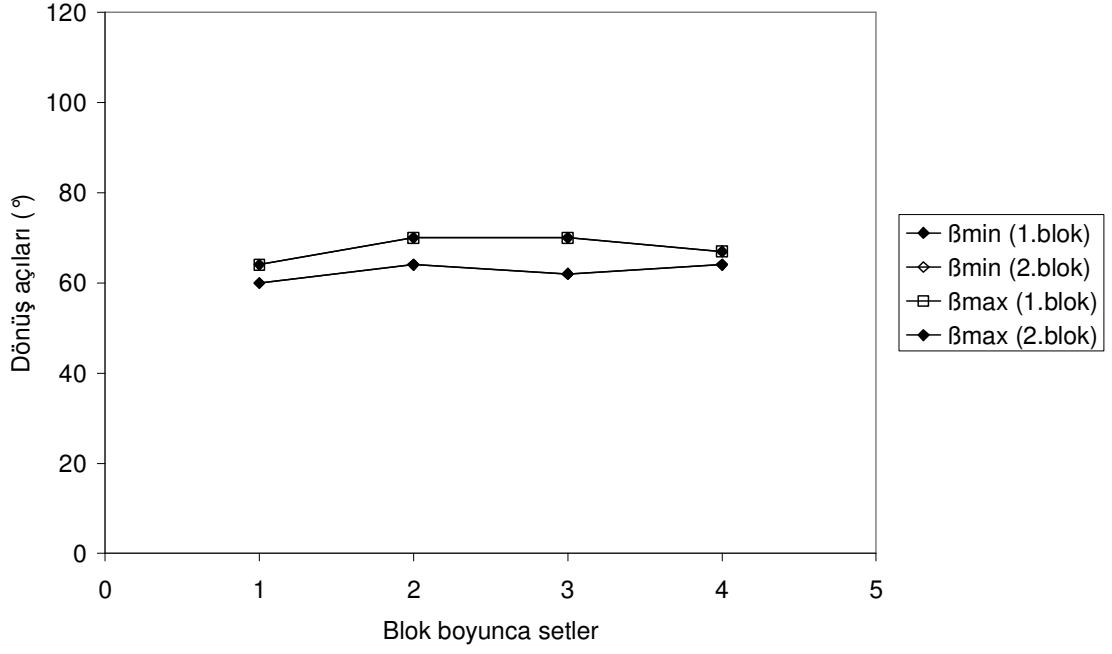
Setler	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	37,00	42,00	51,00	56,00	28428,09	17,50	5,25	22,75	41,00	73,00	
2	37,00	42,00	50,97	55,97	33691,10	20,74	6,22	26,96	42,00	72,00	
3	37,00	42,00	51,07	56,07	33956,18	20,90	6,27	27,17	47,00	74,00	
4	37,00	42,00	51,19	56,19	34288,15	21,10	6,33	27,43	40,00	70,00	

Çizelge 6.6 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim modellemesi sonuçları (devam ediyor)

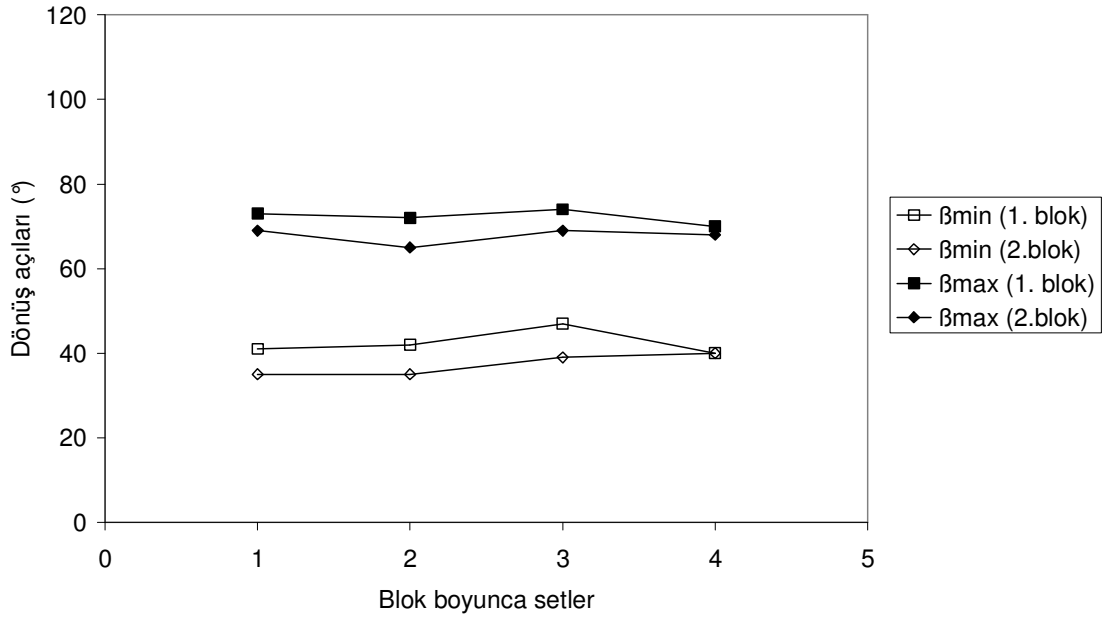
DİLİMLER	2. BLOK													
	Yerinde SET									Kabarmış SET			TOPLAM	
	Φ_O (°)	$W_{\text{ÜST}}$ (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	V_{KUTU} (cm ³)	n_{KUTU}	Katsayı (%)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	n_{KUTU}	$V_{\text{YIĞIN}}$ (cm ³)
1	64,23	62,00	62,00	50,00	36,00	14,50	38484,91	1624,74	23,69	30,00	11545,47	7,11	30,79	50030,39
2		62,00	62,00	50,00	50,00	14,48	44872,50	1624,74	27,62	30,00	13461,75	8,29	35,90	58334,25
3		62,00	62,00	50,00	50,00	14,30	44330,00	1624,74	27,28	30,00	13299,00	8,19	35,47	57629,00
4		62,00	62,00	50,00	50,00	14,43	44717,50	1624,74	27,52	30,00	13415,25	8,26	35,78	58132,75

DİLİMLER	KANAL BLOĞU													
	YERİNDE KANAL									KABARMIŞ		TOPLAM	DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$L_{\text{SETÜ}}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{KANAL} (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	25,00	20,00	11,07	6,07	50,00	36,00	14,50	9777,65	6,02	1,81	7,82	60,00	60,00	
2	25,00	20,00	11,10	6,10	50,00	50,00	14,48	10858,07	6,68	2,00	8,69	64,00	64,00	
3	25,00	20,00	11,27	6,27	50,00	50,00	14,30	10799,10	6,65	1,99	8,64	62,00	62,00	
4	25,00	20,00	11,15	6,15	50,00	50,00	14,43	10841,43	6,67	2,00	8,67	64,00	64,00	

DİLİMLER	DİLİM BLOĞU										
	YERİNDE DİLİM							KABARMIŞ		DÖNÜŞ AÇILARI	
	$W_{\text{ÜSTÖN}}$ (cm)	$W_{\text{ÜSTARKA}}$ (cm)	$W_{\text{ALTÖN}}$ (cm)	W_{ALTARKA} (cm)	$V_{\text{DİLİM}}$ (cm ³)	n_{KUTU} In-situ (HESAPLANAN)	n_{KUTU} Kabarmış (HESAPLANAN)	n_{KUTU}	β_{min}	β_{mak}	
1	37,00	42,00	50,93	55,93	28261,84	17,39	5,22	22,61	35,00	69,00	
2	37,00	42,00	50,90	55,90	33492,59	20,61	6,18	26,80	35,00	65,00	
3	37,00	42,00	50,73	55,73	33030,38	20,33	6,10	26,43	39,00	69,00	
4	37,00	42,00	50,85	55,85	33360,39	20,53	6,16	26,69	40,00	68,00	



Şekil 6.23 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{\min} , β_{\max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (kanal kazısı)



Şekil 6.24 Geri çekimli kazı yöntemi üçüncü benzetim çalışmasında en küçük ve en büyük dönüş açılarının (β_{\min} , β_{\max}) bloklar ve setler boyunca değişimi (dilim kazısı)

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu yüksek lisans tez projesinin birinci aşamasında yerüstü kömür ocaklarında çekme-kepçe pano tasarımına yönelik bir tasarım/modelleme çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- i. Bir çizim paketi kullanılarak yatımsız bir kömür damarının bulunduğu yerüstü kömür ocağında çekme-kepçe panosu tasarımlanmıştır.
- ii. Serbest döküm, başlangıç çukuru ve doğrudan döküm yöntemi modellenmiştir.
- iii. Çekme-kepçe panosu her biri 20 setten oluşan dört dilime ayrılmıştır. Böylece 80 adet setteki örtü malzemesinin kazı ve döküm benzetimi yapılmıştır.
- iv. Kazılacak ve dökülecek hacimler ile kanal ve dilim bloklarındaki dönüş açıları belirlenmiş olup bu parametrelerin dilim boyunca ve dilimler arasında değişimi izlenmiştir. Parametre değerlerindeki değişim belirli ilerlemeden sonra değişmemekte ve sabitleşmektedir. Bu durum çekme-kepçe ve dilim geometrilerinin uyumunu ve 'geometrik tutarlılık' sağlandığını göstermektedir.
- v. Serbest döküm modellemesinde en büyük hacim kullanım oranı değerine küçük taban yarıçaplı koniler ile erişilirken, birkaç yüzey tarafından kısıtlanmış durumdaki kömürü alınmış dilime döküm yapıldığında ancak büyük taban yarıçaplı koniler hacim kullanım oranını enbüyüklemektedir.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında çekme-kepçe örtükazı çalışmasının benzetimini yapabilmek amacıyla bir kum havuzu kullanılarak fiziksel modelleme yapılmıştır. Ölçekli bir model ile bilinen boyutlara sahip bir çekme-kepçenin yine bilinen boyutlardaki bir panoda planlanan kazı yöntemine göre çalışıp, çalışamayacağı belirlenebilmektedir. Doğrudan döküm yanında, enli dilim ve geri çekimli kazı yöntemleri de modellenebilmektedir. Farklı dilim geometrisi konfigürasyonlarında yapılan kazı benzetim modellemeleri sonucunda geometrik duraylılığın belirlenmesi amacıyla çekme-kepçe dönüş açılarının bloklar ve setler arasında değişimi gözlemlenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- i. Örtü malzemesi, kanal ya da dilim bloklarından kazılmasına bakılmaksızın, yığın kümesi kömür üzerine tırmanmayacak şekilde en küçük yay takip edilerek dökülmektedir. Bu nedenle en küçük dönüş açısı (β_{min}) dilimdeki ardışık setler boyunca ilerlemeden bağımsız olup, sabittir. Ayrıca bu açı, geometrik duraylılığın oluşması sonucunda, bloklar ilerledikçe küçük düşmeler göstermektedir.
- ii. Doğrudan döküm modellemesi kanal kazılarında malzeme, geniş taban çapına sahip tekil koni halinde, dilim kazılarında ise yaysal yığın konileri halinde dökülmüş ve en büyük (β_{max}) ve en küçük (β_{min}) dönüş açıları kaydedilmiştir. Dilim kazılarında dönüş açıları başlangıç setlerinde hafifçe artmakla birlikte 3. setten sonra sabitlenmiştir. Böylece yığın geometrilerinin giderek daha büyük yaysal alana gereksinim

duymadıkları ve açısız duraylılığın sağlandığı tespit edilmiştir. Enli dilimde döküm ve geri çekimli döküm denemelerinde ise duraylılık 2. setten itibaren gözlemlenmektedir.

7.2 Öneriler

Tasarım çalışmaları aşağıdaki öneriler ile sonuçlandırılmıştır:

- i. Modelleme çalışmaları bir teknik çizim paketi kullanılarak üç boyutlu olarak yapılmıştır. Böylece iki boyutta yapılan tasarımdan kaynaklanan hatalar elimine edilebilmiştir. Ancak tasarım aşamasında manüel olarak çalışıldığından modelleme işlemleri uzun ve yorucu olduğu gibi, tasarımı etkileyen boyutsal parametreler üzerinde hassasiyet analizleri yapmak da mümkün olmamaktadır. AutoLISP gibi, çizim paketi ile bütünleşik olarak çalıştırılabilen dillerde hazırlanacak rutinler aracılığıyla etkileşimli ancak otomatik modelleme yapabilen bir aşamaya geçilmesi, çalışmaları oldukça hızlandıracaktır.
- ii. Çalışmada tek kömür damarının bulunduğu bir kömür ocağında tek basamakta uygulanan çekme-kepçe örtükazı yöntemleri modellenmiştir. Ancak kömür damarı ve basamak adedinin arttığı daha karmaşık yöntemlerin de modellenmesi, gerçek uygulamalar için daha faydalı olacaktır.
- iii. Çalışmada modellenen yerüstü ocağındaki kömür damarı düz ve yatımsızdır. Ancak gerçek uygulamalarda bu durum ile çok nadiren karşılaşılmaktadır. Çalışmanın sonraki aşamalarında yatımlı ve dalgalı geometriye sahip kömür damar(lar)ının modellenmesi yararlı olacaktır.
- iv. Kanal ve dilim kazısı modellemesi, çekme-kepçe için sabit oturma konumları üzerinden yapılmıştır. Pasa bloklarının ara oturma konumlarından kazılması, daha gerçekçi modelleme ile sonuçlanabilirdi.
- v. Modelleme çalışması kapsamında sabit boyutlu bir çekme-kepçe kullanılmıştır. Tasarımın çekme-kepçe boyutları nedeniyle başarısız olduğu durumlarda gerekli boyutlara sahip daha büyük bir çekme-kepçe ile modelleme sürdürülebilirdi.

Çekme-kepçe örtükazı benzetimi çalışmasında en büyük problem, elenmiş killi topraktan kaynaklanmaktadır. Malzeme kolay akabilir olduğundan dik ayna ve şevlerin oluşturulmasına izin vermemiş ve dolayısıyla kazı bloklarının boyut ölçümlerinde büyük güçlük yaşanmıştır. Daha büyük ölçekler kullanılmadığından modellenebilen çekme-kepçe panosu boyutları da artırılmamıştır. Tez çalışmasının birinci bölümündeki benzetim modelinde oluşturulan panoda çok sayıda kazı bloğu ve her blokta en az 20 set bulunurken, 1/100 ölçekli fiziksel kazı modelinde en fazla üç blok ve yedi set kazılabilmiştir. Daha büyük ölçeklerde pano boyutları küçüldüğünden kanal ve dilim aynaları ile şevlerinin sınırları belirsizleşmiştir. Çözüm olarak, DPC'da yapıldığı üzere, yağ ile muamele edilen ve böylece kohezyonlu bir malzeme haline gelen ince kum kullanılması planlanmıştır. Ayrıca masa boyutları büyütülerek daha küçük ölçekte maden ocakları planlanması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Cook, F., and Lappi, W., 1979, "Evaluation of Current Surface Coal Mining Overburden Handling Techniques and Reclamation Practices", Final Report, Mathematica Inc., US Department of the Interior Bureau of Mines, Contract No. S0144081, Washington, USA, 318
- Erdem B., 1996, "Development of an Expert System for Dragline and Stripping Method Selection in Surface Coal Mines", Unpublished PhD Dissertation, Department of Mining Engineering, Middle East Technical University, 383
- Erdem B., Doğan T., 2007, "Bilgisayar destekli tasarım yaklaşımı ile draglayn panosu ve yığın kümesi modellenmesi", M-244 no'lu proje sonuç raporu, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı, Sivas, 110 s.
- Fluor Utah, 1977, "Economics of Large-Scale Surface Coal Mining Using Simulation Modes", Final Report, Fluor Utah, Inc. and Bonner and Moore Associates, DOE Contract No. EX-76-C-01-1520, US Department of Energy, OSTI ID: 7214467, USA
- Kaiser Engineers, 1981, "Development of Optimal Terrace-Pit Coal-Mining Systems", Phase I Report, Kaiser Engineers, DOE Contract No. AC01-79ET10023, US Department of Energy, OSTI ID: 6050665, USA
- Lubbert J.R., Mead J.S. and Wiltowski, T., 2001, "Transforming Engineering Education and Experience into Higher Productivity in Mining", International Conference on Engineering Education, Session 6B4 <http://www.ineer.org/Events/ICEE2001/Proceedings/authors/L.htm> (Son erişim tarihi: 14.09.2007)
- McDonnell Douglas Electronics. 1978. Development of operational aids for improved dragline utilization. Final Report. Vol. 1-3, McDonnell Douglas Electronics Co., DOE Contract No. ET-76-C-01-8922, US Department of Energy, OSTI ID: 6232513, USA.
- Sadri, R.J. and Lee, C.D. (1982). Optimization of single and multiple seam dragline mines through simulation, 17th International Symposium on the Application of Computer Methods in the Mineral Industries, Johnson, T.B. and Randal, J.B. (Eds), Colorado School of Mines, Golden, USA, pp. 642-654.
- Satchwell PC. 1985. Design of a dragline pit for Turkish Coal Enterprise's (TKİ) Elbistan-B Open Pit Lignite Mine (Unpublished report), 25
- Skelly and Loy, 1981, "Preliminary Feasibility Study of Tandem BWE/Dragline Mining Approach", Final Report, Skelly and Loy, DOE Contract No. AC01-79ET11268, US Department of Energy, OSTI ID: 6436052, USA, 127
- Şahin S, 2005, "Dragline yığın kümesi tasarımı ve döküm paterni modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 80 s.
- Williams M., Blair J., McGovern P., "Determining the Functionality of a Dragline Training Simulator", http://www.siaa.asn.au/library_simtect_1997.html (Son erişim tarihi: 14.09.2007)

EK

EK-A DOĞRUDAN DÖKÜM BENZETİM ÇALIŞMALARININ FOTOĞRAF DİZİLERİ

EK-B ENLİ DİLİM BENZETİM ÇALIŞMALARININ FOTOĞRAF DİZİLERİ

EK-C GERİ ÇEKİMLİ DÖKÜM BENZETİM ÇALIŞMALARININ FOTOĞRAF DİZİLERİ