



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Programı

**MADEN ÜRETİM PLANLAMASI VE ÇİZELGELEMESİ ÜZERİNE
BİR TAM SAYILI PROGRAMLAMA ÖNERİSİ: KAR MADEN
ÖRNEĞİ**

Burcu Karaöz

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, [2014]

MADEN ÜRETİM PLANLAMASI VE ÇİZELGELEMESİ ÜZERİNE BİR TAM SAYILI
PROGRAMLAMA ÖNERİSİ: KAR MADEN ÖRNEĞİ

Burcu Karaöz

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

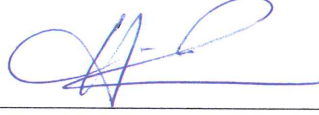
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Programı

Yüksek Lisans Tezi

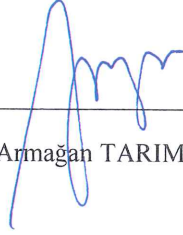
Ankara, [2014]

KABUL VE ONAY

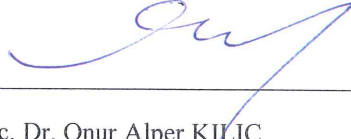
Burcu Karaöz tarafından hazırlanan "MADEN ÜRETİM PLANLAMASI VE ÇİZELGELEMESİ ÜZERİNE BİR TAM SAYILI PROGRAMLAMA ÖNERİSİ: KAR MADEN ÖRNEĞİ" başlıklı bu çalışma, 03.06.2014 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TUNÇ (Başkan)



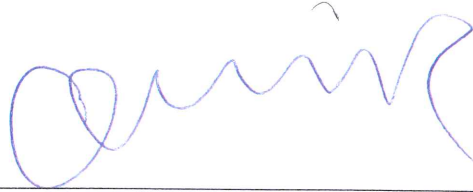
Prof. Dr. Ş. Armağan TARIM (Danışman)



Yrd. Doç. Dr. Onur Alper KILIÇ



Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇALIPINAR



Dr. Onur KOYUNCU

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yusuf ÇELİK

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun 1 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

03.06.2014



Burcu Karaöz

TEŞEKKÜRLER

Danışmanım Prof. Dr. Armağan Tarım'a 4 sene önce bu alana ilgi duymamı sağladığı ve bu tez süresince gösterdiği ilgi ve destek için,

Yar. Doç. Dr. Onur Alper Kılıç'a büyük bir sabırla her sorumu cevapladığı, tüm sorunlarımı çözüm bulduğu ve bu tezde en az benim kadar emeği olduğu için,

Başta Dr. Onur Koyuncu olmak üzere tüm İşletme Bölümü hocalarıma,

Prof. Dr. Şevkinaz Gümüšoğlu'na,

Göktürk'e tüm katkıları için,

Başak'a tüm eğitim-öğretim sürecime eşlik ettiği için,

Ağabeyim, Annem ve Babama beni her zaman destekledikleri için,

SONSUZ TEŞEKKÜRLER.

ÖZET

KARAÖZ, Burcu. *Maden Üretim Planlaması Ve Çizelgesi Üzerine Bir Tam Sayılı Programlama Önerisi: Kar Maden Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2014.

Başarılı bir üretim sistemi, firma ve toplum düzeyinde önemli boyutlarda fayda sağlar. Hammaddelerin başarılı bir şekilde çıktılara dönüşebilmesindeki önemli unsurlardan biri üretimin planlanması ve ona göre yönetilmesidir. Madencilik içinde birçok belirsizliği barındırması, sermaye yoğun bir iş olması nedeniyle uzun vadeli üretim planlamasına ihtiyaç duyan sektörlerden biridir. Açık ocak ve yeraltı madenciliği olarak ikiye ayrılan maden üretim işlemlerinde, üretim yönetiminde geliştirilen kantitatif yöntemler sayesinde, uzun vadeli plan yapılabilir. Bu tez kapsamında açık ocak madenciliği yapan orta büyüklükte bir firmanın sahip olduğu kömür ocağında yaşanan sorunların çözülebilmesi amacıyla uzun vadeli üretim planlaması ve çizelgesi yapılmıştır. Firmanın üretimsel kısıtları ve sahip olduğu cevherin özellikleri, literatürde yer alan tam sayılı üretim planlama ve çizelgeleme matematiksel modellerine uyarlanmıştır. Kurulan matematiksel model Python programlama dili kullanılarak Gurobi iyileştiricisi ile çözülmüştür. Çalışmanın sonucunda firmanın ilgili kömür ocağındaki 5 yıllık üretiminin çizelgesine ve toplamda elde edeceği kârın net bugünkü değerine ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Üretim yönetimi, planlama, maden üretim planlama, maden üretim çizelgeleme, kantitatif yöntemler, tam sayılı programlama

ABSTRACT

KARAOZ, Burcu. *A Proposal on Integer Programming For Mine Planning And Scheduling: Kar Mining Example*, Master Thesis, Ankara, 2014.

Production planning and management are essential to process raw materials in successful outputs. An effective production system avails to company and to society as a whole. All production processes need planning to improve productivity. One of those processes is mining. Mining which has two methods, as open pit mining and underground mining, is a capital intense production process and contains lots of uncertainty. Operations research methods can be used for mine planning and scheduling. In this study, mine planning and scheduling models applied to a medium sized company which faces results of their unplanned production method in coal mine, most of the times. According to firm's operational constraints and features of orebody, a mine planning and scheduling problem is designed and as solution method integer programming is used. That integer programming model is run by Python programming language and Gurobi optimizer. The optimizer showed the result of company's net present value of total profit and information about mine scheduling for five years.

Key Words

Production management, planning, mine planning and scheduling, integer programming

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
GİRİŞ	1
1. Bölüm – Üretim Kavramı Ve Yönetimi	2
1.1. Üretim Nedir?	2
1.2. Üretim Yönetimi	2
1.3. Üretim Yönetiminin Tarihsel Gelişimi	4
1.4. Üretim Sistemleri	5
1.4.1. Sınıflarına Göre Üretim Sistemleri	6
1.4.1.1. Sürekli üretim sistemi	7
1.4.1.1.1. Kütle Üretim	7
1.4.1.1.2. Akış Tipi Üretim	7
1.4.1.2. Kesikli Üretim Sistemi	8
1.4.1.2.1. Siparişe Göre Üretim	8
1.4.1.2.2. Parti Üretim	8
1.4.1.3 Proje Tipi Üretim	9
1.5. Üretim Stratejileri	9
1.6. Ürün Planlama ve Çizelgeleme	11
1.6.1. Bütünleşik Planlama	14
1.6.2. Ana Üretim Çizelgesi	14
1.6.3. Üretim Kaynakları Planlaması	15
1.6.4. Çizelgeleme	15

1.6.4.1. Çizelgeleme Yöntemleri	16
2. Bölüm – Üretim Yönetiminde Kantitatif Karar Teknikleri	17
2.1. Tanım	17
2.2. Çözüm Yöntemleri	19
2.2.1. Doğrusal Programlama	19
2.2.2. Tam Sayılı Programlama	20
2.2.2.1. Grafikselsel Çözüm Yöntemi	22
2.2.2.2. Gomory Kesme Düzlemi Yöntemi	23
2.2.2.3. Dal-Sınır Yöntemi	23
2.2.2.4. Sayma	24
2.2.3. Ağ Modelleri	25
2.2.4. Dinamik Programlama	26
2.2.5. Envanter Modelleri	26
2.2.6. Stokastik Programlama	27
2.2.7. Benzetim	27
3. Bölüm – Maden Üretim Planlama	29
3.1. Giriş	29
3.2. Maden Üretimi Planlama	29
3.3. Literatür	34
3.4. Maden Üretim Planlama ve Çizelgelemede Kullanılan Çözüm Yöntemleri Ve Örnekleri	48
3.4.1. Deterministtik Yaklaşımlar	49
3.4.1.1. Doğrusal Programlama	49
3.4.1.2. Karışık Tam Sayılı Programlama	51
3.4.1.3. Tam Sayılı Programlama	54
3.4.1.4. Dinamik Programlama	55
3.4.1.5. Sezgisel Yöntemler	56
3.4.2. Stokastik Yaklaşımlar	56
3.4.2.1. Benzetim	57
3.4.2.2. Doğrusal Programlama	57
3.4.2.3. Karışık Tam Sayılı Programlama	58
3.4.2.4. Dinamik Programlama	59

3.4.2.5. Sezgisel Yaklaşımlar	59
4. Bölüm – Uygulama	60
4.1. Giriş	60
4.2. Problem Tanımı	61
4.3. Firma Hakkında Bilgi	62
4.4. Kömür Ocağı Ve Cevher Hakkında Bilgi	63
4.4.1. Cevher Hakkında Bilgi	66
4.5. Matematiksel Modelin Kurgulanması	78
4.6. Problemin Çözümü	83
4.7. Yorum	86
SONUÇ	103
KAYNAKÇA	107
EK 1: Matematiksel Modelin Python Program Kodu	116
EK 2: Python Programı Tarafından Düzenlenen Log Dosyası	119

TABLolar DİZİNİ

1. Tablo 1: Benzetimin avantajları ve dezavantajları	28
2. Tablo 2: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Doğrusal Programlama kullanarak çözülen çalışmalar	34
3. Tablo 3: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Tam Sayılı Programlama kullanarak çözülen çalışmalar	35
4. Tablo 4: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Dinamik Programlama kullanarak çözülen çalışmalar	35
5. Tablo 5: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Sezgisel Algoritmalar kullanarak çözülen çalışmalar	36
6. Tablo 6: Stokastik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, çözülen çalışmalar	37
7. Tablo 7: Deterministik model kullanılan çalışmalardan bazıları ve özellikleri	42
8. Tablo 8: Stokastim model kullanılan çalışmalardan bazıları ve örnekler	46
9. Tablo 9: Ocağın koordinat bilgileri	63
10. Tablo 10: Personel ve maliyet tablosu	64
11. Tablo 11: Verilerin Excel'e girilmesi	79
12. Tablo 12: Yıllık planlanan üretim miktarı	102
13. Tablo 13: Çıkarılması planlanan blokların kaliteleri	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

1. Şekil 1: Üretim Sistemi	6
2. Şekil 2: Basit ağ modeli	25
3. Şekil 3: İki boyutlu blok gösterimi	57
4. Şekil 4: Sondaj bilgilerinin modellenmesi	66
5. Şekil 5: Birinci sondaj (B1) ; 28-36. metreler arasında 8 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	67
6. Şekil 6: İkinci sondaj (B2) ; 22-30. Metreler arası 8 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	68
7. Şekil 7: Üçüncü sondaj (B3) ; 21-27. Metreler arası 6 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	69
8. Şekil 8: Dördüncü sondaj (B4) ; 42-52. Metreler arası 10 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	70
9. Şekil 9: Beşinci sondaj (B5) ; 60-74. Metreler arası 14 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	71
10. Şekil 10: Altıncı sondaj (B6) ; 66-81. Metreler arası 15 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	72
11. Şekil 11: Yedinci sondaj (B7) ; 42-52. Metreler arası 10 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	73
12. Şekil 12: Sekizinci sondaj (B8) ; 60-74. Metreler arası 14 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	74
13. Şekil 13: Dokuzuncu sondaj (B9) ; 66-81. Metreler arası 15 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.	75
14. Şekil 14: Cevherin yayılımı ve tenör değerleri	76
15. Şekil 15: Bulunan En İyi Çözüm/ En İyi Çözüm Ve Zaman Grafiği	84
16. Şekil 16: Kömür ocağının genel görünümü	86
17. Şekil 17: Her z değeri için 1.yılda çıkarılacak olan blokların x, y koordinatları	87
18. Şekil 18: Her z değeri için 2.yılda çıkarılacak olan blokların x, y koordinatları	90
19. Şekil 19: Her z değeri için 3.yılda çıkarılacak olan blokların x, y koordinatları	93

20. Şekil 20: Her z değeri için 4.yılda çıkarılacak olan
blokların x, y koordinatları 96
21. Şekil 21: Her z değeri için 5.yılda çıkarılacak olan
blokların x, y koordinatları 99

GİRİŞ

İşletmenin temel fonksiyonlarından biri olan üretimin başarılı bir şekilde yönetilmesi, firma, piyasa ve ülke ekonomisi düzeyinde fayda yaratabilmektedir. Üretim yönetiminde önemli bir parçası da üretim planlaması ve çizelgelemesidir. Yapılan planlama ve çizelgeleme firmaya önünü rahatça görme ve belirsizliklere karşı hazırlıklı olma imkânı sağlamaktadır. Birçok sektör gibi madencilik sektöründe de üretimin yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle üretimin planlanması ve çizelgelenmesi için geliştirilen kantitatif karar teknikleri maden işletmelerine de uyarlanmıştır.

Bu çalışmada madencilik sektöründe faaliyet gösteren, orta ölçekli bir işletmenin yetersiz planlama kaynaklı problemlerinin çözülmesi amacıyla üretim planlaması ve çizelgelemesi yapılmıştır. Konuya temel oluşturulması adına birinci bölümde, üretim kavramı, üretim yönetimi ve üretim planlama ve çizelgeleme kavramları üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde, üretim yönetiminde kullanılan kantitatif karar teknikleri incelenmiş ve çalışmada kullanılacak olan tam sayılı programlama hakkında detaylı bir bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, maden üretim planlaması ve çizelgelemesi üzerine yapılan çalışmalara dair literatür taranmış ve çözüm yöntemlerine göre detay bir şekilde incelenmiştir. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise uygulama yapılmıştır. Literatürde yer alan maden üretim planlama ve çizelgeleme çalışmaları incelenmiş ve firmanın kısıtlarına göre uygun model olarak tam sayılı programlama seçilmiştir. Firma verilerinin uyarlandığı model, Python programı Gurobi eniyileştiricisi ile çözdürülmüş ve firmanın 5 yıllık üretim planlaması ve çizelgelemesi oluşturulmuştur.

1. Bölüm

ÜRETİM KAVRAMI VE YÖNETİMİ

1.1 Üretim Nedir?

Üretim, hammadde gibi maddi ya da bilgi ve tecrübe gibi manevi girdileri, belirli değerler yaratmak üzere çıktılara dönüştürme sürecidir. Üretim kavramı, elle tutulur bir mal üretmenin yanı sıra hizmet üretimini de kapsamaktadır. İnsanların birincil ve ikincil ihtiyaçlarını karşılamak için ihtiyaç duydukları mal ve hizmetlerin çok küçük bir kısmı doğada hazır bir şekilde bulunmaktadır. İhtiyaç duyulan diğer mal ve hizmetlerin çoğu insan emeği ve sermaye gibi faktörlerin, doğada bulunan kaynaklar ile işleme sokulması sonucunda elde edilmektedir. Üretim adı da verilen bu faaliyet veya işlemler zamanla sadece ihtiyaç karşılamaya yönelik olmaktan çıkmıştır. İnsanların ihtiyaçtan fazlasını üretip satmaya başlamasıyla iktisat, ticaret, üretici ve tüketici kavramları ortaya çıkmıştır. İnsanlığın gelişmesinde önemli yerleri olan bu kavramlar, üretim teriminin farklı açılardan değerlendirilmesine neden olmuştur. Üretim iktisatçılara göre, iktisadi mal ya da hizmet meydana getirmek ya da zamanda, şekilde, mekânda yapılan değişiklikler le fayda yaratmaktır. Üretici sınıfından mühendisler göre ise üretim; hammadde ya da yarı mamulleri işleme sokarak, o maddenin değerinin arttıracak yeni bir ürün yaratmaktır. Ticaret kavramıyla bütünleştirilebilecek olan işletmecilere göre üretim, tüketiciler için yararlı mal ve ya hizmet meydana getirmek amacıyla hammaddenin çeşitli yollarla değişiminin sağlanmasıdır. Tüm bu yaklaşımları genellemek gerekirse, girdiyi işleyerek çıktı elde etme işlemine üretim denilmektedir.

1.2 Üretim Yönetimi

İşletmenin üç ana fonksiyonu olarak kabul edilen üretim, pazarlama ve finansın birbirini tamamlayıcı özelliği vardır ve birbirilerinden net çizgilerle ayrılması mümkün değildir. Üretilecek olan ürünün seçiminde pazarlamacıların yanı sıra tesis yerleşimi ve makina faktörlerini düşünen üreticiler de söz sahibidir. Bu safhada pazarlama departmanına yardımcı olacak olan üretim yöneticileri; hammaddeye yakınlık, tesisin konumu ve

çevresel faktörler gibi birçok konuyu göz önünde bulundururlar (Krajewski ve Ritzman, 1999). Ayrıca tesis ya da makina seçimi gibi kararları yalnızca üreticiler değil finansmanı sağlayacak olan finans departmanı da etkiler. Bir işletmenin başarılı olabilmesi için bu üç ana fonksiyonunun yanı sıra insan kaynakları, muhasebe gibi destekleyici fonksiyonlarını da bütünüyle düşünüp iyi yönetebiliyor olması gerekmektedir. Üretim yönetimi kapsamında pazarın ihtiyaç ve taleplerine, işletmenin finansal kaynaklarına göre tesis, insan kaynakları ve ya makinelerde değişiklikler yapılabilir. Bu yapılan değişikliklerin ardından üretim metodu ve iş akışı belirlenir ve üretimin aksamadan ilerleyebilmesi için gerekli hammadde, yarı mamul ve yedek parça stoklarının kararları verilir. Sahip olunan hammadde, yarı mamul, makina ve insan olanaklarını etkin bir biçimde kullanarak verimliliği yüksek bir üretim planı oluşturup, bu planı başarılı bir şekilde yürütüp kontroller ile güçlendirmek üretim yönetiminin esas amaçlarındandır.

Üretim sürecinde önem arz eden dört unsur, miktar, kalite, zaman ve maliyet olarak adlandırılabilir. Birim zamanda ne kadar ürün üretileceği ve bunların kalite ve maliyetlerine karar vermek üretim yönetiminin temel konularından biridir. Hammaddenin kalitesi, stoku, üretimi gerçekleştirilecek maddenin tasarımı, imalat şekli, tezgah seçim kararı, işleme sırası, kalite kontrolü, ürünün stok yönetimi, ambalajlanması, ihtiyaç duyulan çalışan sayısı, çalışan ücret düzenlemesi gibi birçok tamamlayıcı kararlar üretim yönetimin diğer uğraşları olarak sayılabilmektedir (Saygılı, 1991). Günümüzde üretim yönetiminin önemli bir rekabet silahı olarak görülmesinin başlıca nedenleri yukarıda belirtilen bu dört unsurun başarılı bir şekilde yönetilmesinin işletmeye katkılarının oldukça fazla olmasıdır. Gümüšoğlu (2009) tarafından yapılan çalışmada; işletmenin, pazarlama departmanının satışlarını %50 arttırmasının, finans departmanının maliyetlerini %50 düşürmesinin ve üretim departmanının maliyetlerini %20 oranında düşürmesinin işletmenin genel karına etkileri incelenmiştir. Sonuçları şöyledir;

- Pazarlama departmanının satışları %50 oranında arttırması toplam karda %76 'lık bir artış sağlamıştır.
- Finans departmanının maliyetlerini %50 oranında düşürmesi toplam karda %21'lik bir artış sağlamıştır.

- Üretim departmanının maliyetlerinde %20'lik bir azalma ise toplam karı %119 oranında arttırmıştır.

Üretim yönetiminin başarılı olabilmesinde planlama, yürütme ve kontrol gibi alt birimlere ayrılıp yönetilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Alt birimlere ayrıldığında ürünün gereklilikleri, tesisin şartları, makineler ve insan gücü göz önünde bulundurularak yapılan planlamanın ardından belirlenen plana göre üretim etkinlikleri yürütülür. Kontrol ise; üretim sürecince ve sonrasında oluşan ürünün kalitesini, zaman maliyet etkinliğini inceleyerek en verimli üretim için gerekli düzenlemeleri yapar (Kumar ve Suresh, 2006).

1.3 Üretim Yönetiminin Tarihsel Gelişimi

Yaklaşık üç yüzyıldır üretim/işlemler yönetimi ülkelerin ekonomik gelişmelerinde önemli bir faktör olarak rol almaktadır. 1700lü yıllarda Adam Smith'in iş bölümü kavramıyla ekonomiye sağladığı yararlar üretimin yönetilmesinin önemini ortaya çıkarmıştır. Adam Smith üretim sürecindeki görevleri parçalara ayırarak işçileri yaptıkları işlerde uzmanlaşabilecek duruma getirilmesi gerektiğini savunmuştur. Üretim yönetiminin tarihsel sürecine önemli katkı yapanlardan birisi de 20. Yüzyılın başında Smith'in teorisini daha da geliştirerek "Bilimsel Yönetim" teorisini ortaya çıkaran F. Taylor'dır. Taylor'ın (1911) çalışmalarının bilinirliğinin artması, kullanımı yaygınlaşması üretim yönetimini 1930'dan itibaren kabul edilir bir terim haline gelmiştir. Aynı dönemlerde psikolog ve sosyologların çalışanlar ve çalışma çevreleri üzerinde yaptıkları araştırmalar ile ekonomist, matematikçi ve bilgisayar bilimcilerinin geliştirdiği teknikler ilerlemeyi devam ettirmiştir. Üretim yönetimini çalışmalarıyla ileriye götüren bilim adamlarından bazıları şunlardır;

- Çizelgeleme teknikleri – Gantt (1901)
- Envanter kontrol sistemi - Harris (1915)
- Hawthorne çalışmaları ile insan ilişkileri üzerine çalışma - Mayo (1927)
- İstatistiğin ürün kalitesinde kullanılması - Shewart (1931)
- Kalite kontrolde istatistiksel örneklem kullanma – Dodge ve Roming (1935)
- İkinci Dünya Savaşında yöneylem araştırmaları uygulamaları - Blackett. (1941)

- Dijital bilgisayarlar - Mauchlly ve Eckert (1946)
- Doğrusal programlama - Dantzig ve ark. (1947)
- Doğrusal ya da stokastik süreçlerde matematiksel programlama - Charnes, Cooper ve ark. (1950)
- Ticari dijital bilgisayarlar - Univac (1951)
- Örgütsel davranış - Cumming ve Porter (1960)
- Malzeme ihtiyaç planlaması - Orlick (1967)
- Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim - Deming ve Juran (1980).

1.4 Üretim Sistemleri

Yeryüzünü bir sistemler bütünü olarak ele aldığımızda, her olgu ayrı ayrı sistemleri oluşturmakta ve her sistemin kendine ait alt sistemleri bulunmaktadır. Genel tarifi ile sistem, belli bir amacı yerine getirebilmek amacıyla oluşturulmuş alt sistemlerin birbirileri ile bağlantılı bir şekilde yürütülmesi olarak tanımlanabilmektedir. Üretim sistemleri ise, girdileri belirli bir amaç ile işlemlere sokup çıktılar elde etmek ve bu çıktılara ait geri bildirimler ile sistemin kontrolünün sağlanmasıdır. Literatür incelendiğinde ortaya çıkan, üretim sisteminin bazı özellikleri şöyledir (Kumar ve Suresh, 2006);

- Üretim planlı bir aktivitedir ve dolayısıyla her üretim sisteminin bir amacı vardır.
- Üretim sistemleri çeşitli girdileri (insan gücü, makina, malzeme), bir araya getirerek değerli çıktılara dönüştürür.
- Üretim sistemi işletmenin diğer sistemlerinden bağımsız değildir.
- Geri bildirim alınan sistemler kapalı uçlu, geri bildirim alınmayan sistemler ise açık uçlu sistemlerdir.
- Geri bildirimler sistemin kontrolü ve geliştirilmesi için önemlidir.
- Üretim sisteminin bir alt sistemi olarak iletişim sisteminin iyi düzenlenmiş olması, oluşabilecek arıza, gecikme vb. durumlarda sistemin zarar görmemesini, önceden önlem alınmasını sağlar.

- Üretim sisteminde, girdinin özellikleri, işlemin ilerleyişi, maliyetler ve çıktının kalitesi önemli unsurlardandır.
- Üretim sistemleri, esneklik özelliği ile ürün adedi ya da çeşidinde oluşacak değişikliklerinde hızlı uyum sağlar



Şekil 1. Üretim Sistemi

Üretim sisteminde girdilerin; insan gücü, malzeme, enerji, sermaye, bilgi, yarı mamuldür. İşlem sürecinde, fabrika ya da diğer hizmet birimlerinden yararlanır. Çıktı ise mal ve hizmetleri temsil etmektedir.

1.4.1 Sınıflarına Göre Üretim Sistemleri

Üretim sistemlerinin çıktı miktarı ve üretim hacmine göre üç ana başlıkta incelenebilmektedir. Bunlar;

- Sürekli Üretim Sistemi
 - Kütle Üretim
 - Akış Tipi Üretim
- Kesikli Üretim Sistemi
 - Siparişe Göre Üretim
 - Parti Tipi Üretim
- Proje Tipi Üretim Sistemi

1.4.1.1 Sürekli Üretim Sistemi

İşletmenin elindeki makina ve ekipmanları yalnızca bir ürün elde etmek amacıyla kullandığı üretim sistemidir. Bu tarz üretim sistemlerinde standardize edilmiş ürünler üretilir ve bu amaçla özel amaçlı tezgâhlar bir uçtan hammaddenin verildiği, diğer uçtan çıktı elde edildiği özel bir hat şeklinde yerleştirilirler. Talebi yüksek olan ürünlerde sürekli üretim sistemi kullanılmaktadır (Krajewski ve Ritzman, 1999).

Özellikleri; önceden belirlenmiş tesis ve ekipman kullanılır, esneklik yoktur, otomasyon kullanılmaktadır, üretim tesisinin maliyeti yüksektir, planlaması ve çizelgelemesi rutindir ve önceden belirlenmiştir, miktar olarak çok, çeşitliliği az çıktılar elde edilir, talep düzenlidir, yüksek hammadde, yarı mamul ve mamul stoku vardır, kalifiye olmayan işgücü kullanılabilir, üretim hattındaki bir aksaklı tüm sistemi olumsuz etkiler ve bu nedenle tamir ve bakım çok önemlidir.

1.4.1.1.1 Kütle Üretim

Kütle tipi üretimde, bir veya daha çok ürünün yüksek miktarlarda üretimi yapılır. Üretim tesisinde yapılan bazı değişiklikler ile üretilen mamulün şekli değiştirilebilir. Bu değişiklikler makina, tesis yerleşimi, kalıp gibi alanlarda olabilir. Böylece akış tipi üretimden farklı olarak yalnızca bir ürün elde edilmez. Televizyon, otomobil, beyaz eşya üretim tesisleri kütle üretim sistemine örnek olarak gösterilebilir.

1.4.1.1.2 Akış Tipi Üretim

Akış tipi üretimde ise tesis tek bir cins mamul üretmek amacıyla düzenlenmiştir. Ürün, makinalar, ekipman standardize edilmiştir. Otomasyona dayalı olan bu sistemlerde sermaye yoğunudur. Petrol rafineleri, çimento, plastik, şeker üretim tesisleri akış tipi üretim sistemlerindedir.

1.4.1.2 Kesikli Üretim Sistemi

Genel amaçlı makinalar kullanarak bunlar üzerinde küçük ayarlamalar yaparak birden fazla çeşitte, az miktarda ürün meydana getirilen sistemlerdir. Üretilen ürünün farklı olması ekipmanında birden fazla iş yapabiliyor ya da yeni ürüne göre düzenlenebiliyor olmasını gerektirmektedir. Bu sistem çoğunlukla talebi düzensiz ve ürün çeşitliliği fazla olan ürünler için kullanılır (Demir ve Gümüšoğlu, 2009).

Özellikleri; stabil olmayan bir talep vardır, genel amaçlı ve ayarlanabilir ekipmanlar kullanılır, benzer fonksiyonel özelliklere sahip üretim araçları bir arada kullanılır, makinaların benzer olması ya da ayarlanabilir olması sayesinde bakım onarım süreçleri üretimi aksatmaz, ürün çeşitliliği çok üretim miktarı azdır, kalifiye işgücü kullanılır, tesis içi taşıma da sabit ve ya hareketli vinçler kullanılır, yarı mamul stoku yüksektir, hammadde ve son ürün stoku ise düşüktür, tüketici talep değişikliklerine karşı esnektir.

1.4.1.2.1 Siparişe Göre Üretim

Müşteriden gelen sipariş üzerine, üretilecek ürünün cinsi, kalitesi, miktarı ve üretim zamanı gibi konuların belirlenmesi ile yürütülen üretim sistemidir. Çeşitli ürünler üretebilmeye olanak sağlayan sistem sayesinde siparişe göre üretim planı oluşturulur. Bir restoran için sipariş edilen masa ve sandalye üretimi, bir otel için üretilen kapı üretimi gibi miktarını ve cinsini alıcının belirlediği ürünler sistemin örnekleridir.

1.4.1.2.2 Parti Üretim

Sürekli olan bir talebi karşılamak ya da sipariş üzerine belirli ürünlerin belirli miktarlar ile parça veya gruplar halinde üretildiği sistemlerdir. Eğer sipariş üzerineyse üretim miktarı bellidir fakat talep tahminlerine dayanıyor ise belirsizdir. Parti üretim sistemlerinde sipariş üretim sistemine göre daha az ürün çeşitliliği vardır ve tekrarlamalı bir süreç vardır. Esnekliğin oldukça yüksek olduğu bu sistemde bir işlem bitmeden başka bir işleme başlanamaz. Parti tipi üretime ev eşyaları, hazır giyim ve gıda üretim sistemleri örnek olarak verilebilmektedir.

1.4.1.3 Proje Tipi Üretim

Tek parça ve büyük ölçekli ürün oluşturmaya yönelik sistemlerdir (Krajewski ve Ritzman,1999). Mamul özel bir isteğe bağlı olarak belirlenir ve üretilmeye başlanır, gerekmesi durumunda üretim faktörleri üretim alanına taşınabilir.

Özellikleri; ürün müşterinin ihtiyacına göre belirlenir, detaylı planlama gerektirir, mamul sabit konumdadır ve çalışanlar ve gerekli ekipmanlar mamul içinde hareket ederler. Kalifiye işgücü kullanılır. Birbirinden bağımsız birden çok proje yürütülebilir. Proje tipi üretim sistemlerinin örneklerinden bazıları köprü, yol, barajdır.

1.5 Üretim Stratejileri

Strateji kelimesi Yunanca da “strategos” denilen “orduyu yönetmek” anlamına gelen kelimedenden türemiştir. Ordu yönetimi ile benzer özelliklere sahip olan işletme yönetimine dair strateji tanımları şu şekildedir;

- Temel amaçlar belirlemek ve bunlar doğrultusunda işletmeyi yönetmek.
- Bu amaçlara ulaşılmasını sağlayacak yolu planlamak.
- Kısa vadeli amaçlardan ziyade uzun vadeli amaçlar belirlemeye yönelmek.
- Bireysel aktivitelere takılmadan bütün resmi görmeye çalışmak.
- Günlük sorunlardan ya da karmaşalardan etkilenmemek.

Strateji, organizasyonun uzun dönemli varlığını etkileyen kararlar bütünüdür. Üretim stratejisi ise, üretimin rolünü, üretim kararlarını ve aktivitelerini etkileyen spesifik kararlar ve olaylar bütünüdür. İşletmeler geliştirdikleri üretim stratejileri ile üretim performanslarını geliştirmeyi amaçlarlar ve bu stratejinin rekabet avantajı sağlaması beklenir (Demir ve Gümüsoğlu, 2009).

İşletme stratejilerinin üç ana evresi; uygulama, destekleme ve yürütmedir. Uygulama evresinde elle tutulur bir şey olmayan stratejinin denenerek işletmeye uygunluğu gözlemlenir ve buna göre gerekli değişiklikler ve ya düzenlemeler yapılabilir. Destekleme evresi, işletmeye yenilikler kazandırarak, işletmenin stratejik amaçlarını

gerçekleştirmesi ve geliştirmesi sağlar. Yürütme evresinde ise uzun vadeli amaçlara ulaşabilmek için stratejinin düzgünce uygulanıp devamlılığı sağlanır.

Literatürde üretim stratejilerine dair birçok yaklaşım bulunmaktadır. Slack ve Lewis'in (2002) yaptıkları çalışmada bu yaklaşımları dört ana başlıkta toplamıştır. Bunlar;

- Yukarıdan aşağıda yaklaşımı
- Aşağıdan yukarıya yaklaşımı
- Piyasa ihtiyaçları yaklaşımı
- Üretim kaynakları yaklaşımı

Yukarıdan aşağıya yaklaşımı; işletmenin ne yapmak istediğine karar vermesi ve sonrasında diğer fonksiyonların işleyişini bu karar doğrultusunda belirlendiği strateji belirleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın uygulandığı organizasyonlarda üretim stratejisi şu sırayla belirlenir; öncelikle işletme stratejisi, daha sonra fonksiyonel stratejiler, son olarak da üretim stratejisi.

Aşağıdan yukarıya yaklaşımında ise; organizasyon her bir işletme fonksiyonun kendine has kısıt ve yeteneklerini göz önünde bulundurarak öncelikle bu seviyelerdeki stratejileri belirler. Bunlara bağlı olarak da işletme stratejisi belirlenir.

Piyasa ihtiyaçları yaklaşımına göre; üretim fonksiyonun uzun vadede ayakta kalabilmesi için piyasanın sesi dinlemeli ve müşteri ihtiyaçlarına göre üretim stratejileri belirlenmelidir. Üretimde tatmin edilmesi gereken müşterinin ihtiyaçları başında gelen ve üretim performans hedeflerini belirleyen beş ana ihtiyaç; düşük fiyat, yüksek kalite, hızlı teslimat, güvenilir teslimat, ürün çeşitliliği zaman ve miktar konularında esnekliktir. Bu ihtiyaçlara bağlı olarak ortaya çıkan üretim performans hedefleri ise, maliyet, kalite, hız, güvenilirlik ve esnekliktir. İşletmeler üretim stratejilerini oluştururlarken hangi müşteri ihtiyacına ne oranda önem vereceklerini ve bunun sonucunda hangi üretim performans hedefine ne kadar ağırlık vereceklerini belirlerler. Yukarıda belirtilen müşteri ihtiyaçları diğer bir deyişle rekabet faktörlerini, üstünlük sağlayıcı nitelikleri ve yeterli- asgari nitelikleri olarak iki sınıfa ayırabilmektedir. Üstünlük sağlayıcı nitelikler, müşterilerin, işletmenin ürününü rakiplerinden üstün görüp, seçmesini sağlayan niteliklerdir (Krajewski ve Ritzman, 1999). Yeterli- asgari nitelikler ise ürünün, müşterilerin satın alma fikirlerindeki asgari şartları sağlamasıdır.

Örneğin Rynair adlı havayolu firması insanların ucuza seyahat etme ihtiyaçlarını görmüş ve bunun doğrultusunda stratejisinde maliyetlerini düşük tutmayı hedeflemiş ve dünyanın düşük fiyat sunan havayolu firmalarının en önemlilerinden olmayı başarmıştır.

Üretim kaynakları yaklaşımında üretim stratejisini belirlemek için kaynak kısıtlarının ve bu kaynağa bağlı olarak yapılabileceklerin anlaşılması gerekmektedir. Üretim stratejisi belirlenmeden önce “Neye sahibiz?” ve “Ne yapabiliriz?” soruları yanıtlanmalıdır. Bu yanıtlar sonucunda kısıtlar ve yapılabilecekler belirlenir. Fakat üretim stratejisini belirlerken göz ardı edilmemesi gereken diğer bir unsur da görünmez kaynaklardır. Bu görünmez kaynaklar; tedarikçiler ile ilişkiler, müşteri üzerindeki itibar, üretim süreç teknolojilerine hâkimiyet, çalışanların yeni bir ürün üzerinde çalışabilirlikleri gibi üretimi etkileyen faktörlerdir (Kumar ve Suresh, 2006). Bu yaklaşım göre üretim stratejisini belirlerken yapısal ve altyapısal stratejik kararların belirlenmesi gerekir. Yapısal stratejik kararlar, üretilecek ürün ya da hizmetin tasarımı, tedarik ağı tasarımı ve süreç teknoloji seçimidir. Altyapısal stratejik kararlar ise, iş tasarımı, planlama ve kontrol, envanter kararları, tedarikçi seçim kararları ve geliştirmeye yönelik kararlardır.

Bir üretim stratejisi, önce formüle edilir, sonra bu strateji uygulamaya konulur, daha sonra stratejinin işleyişi izlenir ve son olarak da kontrolü yapılır. Strateji formüle edilirken yukarıda belirtilen yaklaşımlardan hangisinin kullanılacağına karar verilir ve stratejinin kapsamlı, tutarlı, amaçlara uygun ve kritik konuları belirli olması gerekmektedir. Uygulama aşamasında, stratejinin açık bir şekilde anlaşılabilir olması, iyi liderlik ve proje yönetim stratejinin başarılı olmasını sağlar. Stratejinin izlenmesi ve kontrol aşamalarında ise stratejinin kurulma ve uygulama evrelerindeki eksik ve güçlü yönleri gözlemlenmekte ve buna göre düzenlemeler yapılmaktadır.

1.6 Üretim Planlama Ve Çizelgeleme

Üretim planlama ve çizelgeleme; üretimi yapılacak olan ürünün programlandığı biçimde tamamlanabilmesi için gereken tüm girdi ve faaliyetlerin koordine edilmesidir. İşletmenin diğer fonksiyonlarıyla birlikte “neyin”, “ne kadar” üretileceğinin kararının verilmesinin ardından, üretimin planlanması gerekmektedir. Talep miktarı bu aşamada

önem arz eden bir unsurdur. Piyasa araştırmaları ya da geçmişe dönük talep verileri incelenerek öngörülen gelecek dönemin talebi ya da belirsiz talep durumlarına göre üretim planlamacılarının göz önünde bulundurması gereken dört ana faktör, sahip olunan ya da olunabilecek malzemeler, makinalar, işgücü ve üretim esnasında kullanılacak yöntemlerdir. Planlama ve çizelgeleme sürecinde etkinlik ve verimlilik önemli iki özelliktir. Üretim faktörlerini maksimum verimlilik ve etkinlik ile istenilen üretim kapasitesine ulaşabilmek amacıyla uygun planlama yapılması gerekmektedir (Chambers, Johnston ve Slack, 2004).

Üretim planları uzun, orta ve kısa vadeli olmak üzere üç şekilde hazırlanmaktadır. Uzun vadeli planlar genellikle 5 yıl ve daha fazlası için kapasite, yerleşim ya da üretim hattı gibi kendisinden kısa planları etkileyecek olan kararları verirken kullanılmaktadır. Üretime başlayabilmek için gereken iş gücü, malzeme, ekipman, üretim tipi, tezgah yerleşimleri gibi temel unsurların planlandığı dönemdir. Orta vadeli planlarda ise bir üretim tesisinin 1 ile 5 yıl arasındaki üretim ve ihtiyaç miktarları planlanır. Bu dönemde çıktının miktarı kadar girdiyi etkileyen faktörler de planlamada önem arz etmektedir. Stok düzeyi, çalışma saatleri, işçi alımları ya da çıkarılması gibi kararlarla maliyeti düşürmeye, üretimi arttırmaya yönelik planlamalar yapılır. Kısa vadeli üretim planları bir yıldan kısa süreli planlamaları kapsamaktadır. Üretim programları da denilen bu planlama türünde uzun ve orta vadede ulaşılması istenen hedefler için kısa süreli plan ve programlar yapılır.

Üretimin planlanmasıyla beraber çizelgelenmesi de gerekmektedir. Çizelgeleme üretim projesine ait her türlü detayı içermektedir. İşletmenin amaç ve stratejilerine uygun planlamaların yapılabilmesi için kullanılabilecek birçok çizelgeleme yöntemi bulunmaktadır. Gant şeması, doğrusal, dinamik, tam sayılı ve doğrusal olmayan programla, CPM/PERT, oyun teorisi, benzetim, karar ağaçları gibi birçok yöneylem araştırması teknikleri üretim planlamalarında kullanılabilmektedir.

Detaylı planlamalar yapılsa bile gerçek üretim koşullarında aksamalar olabilmektedir. Öngörülemeyen bazı sebeplerden ötürü planlanandan sapmalar gerçekleşebilmektedir. Materyal eksiklikleri, makina ekipman arızaları, talep ya da siparişlerdeki değişiklikler, çalışan eksiklikleri ya da fonksiyonlar arası eksik iletişim gibi faktörler yapılan planların aksamasına neden olabilmektedir. Bu durumlarda üretim kontrol sistemlerine

ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim kontrolünün başlıca amaçlarından biri planlanan ile uygulanan üretimin uyuşmasını sağlamaktır. Üretim kontrol iş sürecini izler ve planlanan üretim aşamalarının uygulanabilmesi için önlemler alır. Kontrol sürecinde, üretimin işleyişi izlenir, sonrasında da raporlama ve geri bildirimle ile üretim planlamaları düzenlenir. Üretimin incelenmesi ile elde edilen veriler sayesinde süreçte eksik olan ya da geliştirilmesi gerekenler belirlenir. Kontrol sürecinin diğer bir önemli unsuru ise düzenleyici faaliyetlerdir. Çizelgelemede esneklik ya da değişiklik yapma, kapasitede değişiklik, ön planlamalar yapma gibi örnekleri olan düzenleyici faaliyetler, beklenmeyen olaylara karşı hazırlıklı olmayı sağlar.

Üretim planlama ve çizelgeleme sürecinde etkili olan birçok parametre vardır. Bunlardan bazıları; materyaller, makina ve ekipmanlar, kullanılan yöntemler, süreç planlama, tahminleme, çizelgeleme, dağıtım, hızlandırma, denetleme ve değerlendirmedir. Envanter yönetimi üretim planlamasında büyük öneme sahiptir. Envanter; bir organizasyonun saklanmış müşteri, materyal ve bilgi birikimleridir. Fiziksel envanter ki stok da denilebilen kavram hammadde, yarı mamul ya da son ürün birikimleridir. Envanterden maliyet, alan ve kalite gibi faktörleri etkilemesinden dolayı genellikle kaçınılmak istenir. Örneğin fiziksel envanter, sermayenin o envantere bağlanmasına, yüksek yönetsel maliyetlere ve stok alanına ihtiyaç duyulmasına sebep olabilir. Bu nedenle üretim yöneticileri envanterlerin sağladığı avantajların dezavantajlarını geçtiği durumlarda envanter tutulmasına izin verirler (Demir ve Gümüsoğlu, 2009). Envanter tutmanın yararları;

- Talep ya da arz belirsizlikleri ile başa çıkabilir : Tampon envanter.
- Bir üretim tesisinde aynı anda bütün mamullerin üretilmemesi eksikliği ile başa çıkabilir: Döngüsel stok.
- Farklı imal evrelerinde, farklı hızlarda ve programlara üretim yapılabilmesini sağlar: Ayrıklaştırma stoğu.
- Planlanan talep ve arz dalgalanmaları ile başa çıkabilir: Öngörü stoğu.
- Tedarik zincirindeki taşıma gecikmeleri ile başa çıkabilir: Nakliyat envanteri.

Envanter tutma sağladığı bu avantajlar ve dezavantajlar yüzünden yönetilmesi gereken önemli bir faktördür. Ne zaman sipariş verileceği ve ne kadar sipariş verileceği kararlarının alınması envanter yönetiminin cevaplamaya çalıştığı iki temel sorudur. Elde

tutma maliyeti ile yeniden sipariş verme maliyetleri envanter yönetimindeki önem arz eden maliyetlerdir.

1.6.1 Bütünleşik Planlama

Bütünleşik planlama, genellikle 3 ile 18 aylık süre zarfında bir üretim işleminin nicelik ve zaman açılarından planlanmasıyla ilgilenmektedir. Yönetici, üretim hızı, işgücü düzeyi, fazla mesai ve diğer kontrol edilebilir değişkenleri ayarlayarak öngörölmüş talebin en iyi biçimde nasıl karşılanacağını saptaya çalışır. Bütünleyici plan, uygun kaynakların genel kavramlarını ifade etmektedir. Bu çerçevede bütünleyici planların iki amacı olduğundan bahsedilebilmektedir (Demir ve Gümüšoğlu, 2013);

- Olurluluk; belirli bir zaman aralığında kapasite üretim ihtiyacı, üretim sisteminin yeterliliğine uygun olmasıdır.
- Optimalite: kapasite ihtiyaçlarının karşılanmasında en az maliyetin belirlenebilmesidir.

Bütünleşik planlamada kullanılan tekniklerden bazıları; inisiyatif yaklaşımı, çizelgeleme, ve matematiksel yöntemlerdir.

1.6.2 Ana Üretim Çizelgesi

Ana üretim çizelgesi (MPS, *Master Production Schedule*) kaç tane üretileceği ve üretilenlerin ne zaman tamamlanacağını gösteren planlama neyden ilişkileri ile ilgilidir (Demir ve Gümüšoğlu, 2013). Ana üretim çizelgesinin geliştirilebilmesi için yönetici pazar verilerini, sipariş bilgilerini, envanter düzeylerini sıklıkla kontrol etmelidir. Bu çizelgenin amaçlarından bazıları, son mamullerin hızla ve zamanında tamamlanması ve üretim tesisinin fazla ve ya az yükle çalıştırılmasının önlenmesi, böylece etkin tesis kullanımı ile maliyetlerin düşürülmesidir. Ana üretim çizelgesine bağlı olarak firmalar kaynaklarının planlanabilmesi için “Materyal İhtiyaç Planlaması (MRP)” ve “Kapasite İhtiyaç Planlaması (CRP)” kullanabilmektedir.

1.6.3 Üretim Kaynakları Planlaması

Üretim kaynakları planlaması neyin, ne şekilde üretileceği, firmanın mevcut olanakları ve ihtiyaç duydukları nelerdir sorularının cevabını bulmayı amaçlamaktadır. Bu planlamanın amaçlarından biri; üretim, pazarlama, finansman ve mühendislik gibi imalat kaynaklarını bütünüyle planlamak ve izlemek, diğer bir amacı ise üretim sistemlerini simüle etmek ve çeşitli modülleri ilişkilendirmektir (Demir ve Gümüšoğlu, 2013) Üretim kaynakları planlamasının geliştirilmiş ve zamanla yerini almış hali Kurumsal Kaynak Planlamasıdır. Kurumsal Kaynak Planlaması, işletmelerin iş süreçlerinin tamamının yazılım desteği ile yürütülmesidir (Netsis, 2014)

1.6.4 Çizelgeleme

Çizelgeleme, operasyonların, belli bir hedef kritere göre kısıtlar göz önünde bulundurularak kaynaklar üzerinde sıralanması ve atanan operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi olarak tanımlanabilmektedir (Krajewski ve Ritzman, 1999). Başka bir ifade ile çizelgeleme, üretim planının karşılanabilmesi, siparişlerin zamanında yetiştirilebilmesi için işlerin hangi kaynaklar ile hangi sırayla yapılması gerektiğini belirten bir göstergedir. Kaynak olarak bahsedilen unsurlar makine, işçi ve malzeme gibi üretim sistemine kısıt oluşturan birçok şey olabilmektedir. Çizelgeleme basit ifadesiyle sıralama problemi gibi gözükse de, çizelgeleme problemlerinin ardında sıralama probleminin çok ötesinde sistem verimliliğini artırıcı amaç fonksiyonları vardır. Genel olarak, çizelgeleme yapılırken 3 temel amaç göz önünde bulundurulur. Bunlardan ilki, zamanlamadır. Hedeflenen amaç çizelge oluşturulduktan sonra sistemde hiç geç kalmış işin bulunmamasıdır. İkinci hedef ise, bir işin üretim sistemi içerisinde harcadığı süreyi en aza indirmektir. Üçüncü temel amaç ise, kaynak kullanımının en üst düzeye çıkarılmasıdır. Bir sıralama probleminin ötesinde üretim sisteminin ihtiyacı göz önüne alınarak belirlenen performans kriterlerine göre oluşturulan iyi bir çizelgeleme sistemi ile pek çok şirket, ara stok ve envanter seviyelerinde düşüşleri, verimlilikte ve teslimat performanslarında artışı sağlayabilmektedir. Mantıklarına göre incelendiğinde iki çeşit çizelgeleme vardır; iş tabanlı çizelgeleme ve operasyon tabanlı çizelgelemedir.

İş tabanlı çizelgelemede o işe ait bütün işlemler aynı anda incelenir, operasyon tabanlı çizelgelemede ise işlemler teker teker değerlendirilir.

1.6.4.1 Çizelgeleme Yöntemleri

Çizelgeleme ile planlama arasında tanım olarak farklılık olsa da bu iki kavram birbirilerini tamamlamaktadır. Bu bağlamda çizelgeleme yöntemlerinden bazıları Gant şeması, network tabanlı modeller, benzetim tabanlı modeller ve matematiksel modellerdir.

Gant şeması, hangi operasyonun ne zaman hangi kaynaklar ile yapılacağını ve operasyonun başlangıç ve bitiş zamanlarının bilgisini verir. Network tabanlı modeller ise sistem içindeki tüm siparişlerin bütünsel olarak izlenmesini sağlayarak, çakışmaların önüne geçilmesi ve performans kriterlerinin bütünsel olarak iyileştirilmesine yoğunlaşmaktadır. Benzetim tabanlı modeller ise üretim sistemine bütünsel olarak bakmak yerine spesifik hedeflerin gerçekleştirilmesi için belirli noktalara yoğunlaşmaktadır. Matematiksel modeller “optimum sonuç” vermeyi hedeflemektedir. Bu modelleme yaygın olarak üretim sistemi stabil olan sistemlerinde kullanılmaktadır.

2. Bölüm

ÜRETİM YÖNETİMİNDE KULLANILAN KANTİTATİF KARAR TEKNİKLERİ

2.1 Tanım

Üretim yönetiminde kantitatif karar verme tekniklerinin başında “Yöneylem Araştırmaları”, diğer bir adıyla “Yönetim Bilimi” gelmektedir. Yöneylem araştırmaları, bir sistemin belirli koşullar altında en iyi şekilde dizayn edilmesi ve yönetilmesi amacıyla geliştirilen bilimsel bir karar verme yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. İkinci Dünya Savaşı döneminde radarların yerleştirilmesi ve konvoy, denizaltı savar ve kazı işlemlerinin yönetimi gibi askeri problemlerin çözümü, analizi için bilim insanlarından yararlanılmıştır. Bu dönemdeki çalışmalar Yöneylem Araştırmalarının ilk çalışmaları sayılabilmektedir. Bilimsel yaklaşım ile karar vermek için bir ya da daha fazla matematiksel modele ihtiyaç vardır. Matematiksel model ise iyileştirilmesi istenen var olan durumun daha iyi anlaşılabilmesi için oluşturulan matematiksel ifadesidir.

Dantzig (2002) bu bilimin adımlarını; öncelikle gerçek dünyadaki problemleri detaylı matematiksel ifadelerle formülize etmek (model kurmak), bu modelleri geliştirilen çözüm teknikleri ile çözmek (algoritmalar ile çözüm) ve bu algoritmaların adımlarını makinalar(bilgisayar ve yazılımlar) ile yürütmek olarak ifade etmiştir.

Matematiksel olarak ifade edilen bu modellerin en yaygın olarak kullanılanı “Optimizasyon Modelleri”dir. Optimizasyon modeli, bir organizasyonun amacına en iyi şekilde ulaşabilmesi için gerekli davranışları öngörür. Bu modelin bileşenleri ise;

- Amaç fonksiyonu
- Karar değişkenleri
- Kısıtlardır.

Kısacası bir optimizasyon modeli, belirtilen kısıtlar doğrultusundan amaç fonksiyonunu optimize edebilecek en iyi karar değişkeni değerlerini vermeyi hedeflemektedir. (Winston ve Goldberg, 1994)

Amaç fonksiyonu; var olan durumda optimize edilmesi hedeflenen verilerin matematiksel ifadesi olarak tanımlanabilir. Amaç fonksiyonlarında 2 çeşit optimize etme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler amacın maksimize edilmesi ve ya minimize edilmesidir. Örneğin bir maden ocağındaki yıllık üretim miktarı ve sırası için oluşturulan optimizasyon modelinde, yıllık kârını maksimize etmek bu modelin amaç fonksiyonudur.

Karar değişkenleri; sistemin performansından etkilenen ve bizim kontrolümüz altında olan optimizasyon sonunda hakkında bilgi edinilmek istenenlerdir. Yukarıdaki örnekte karar değişkenleri, çıkarılacak maden bloklarıdır.

Kısıtlar; amaç fonksiyonunu optimize ederken çözücüğü kısıtlayan faktörlerdir. Maden ocağı üretim optimizasyonunda işçi ve ekipman gibi faktörler modelin kısıtlarını oluşturmaktadır.

Optimizasyon modelleri problemlerin yapılarına göre birçok alt başlığa ayrılmaktadır. Bunlar;

- Statik ve ya Dinamik Modeller
- Doğrusal ve ya Doğrusal Olmayan Modeller
- Tam Sayılı ve ya Tam Sayılı Olmayan Modeller
- Deterministik ve ya Stokastik Modeller

Modeller problemin zaman çerçevesine bağlı olarak **statik** ve **dinamik** olarak ayrıştırılabilmektedir (Winston ve Goldberg, 1994). Statik modellerde verilen kararlar dizi halinde çoklu periyodlar için kullanılamamaktadır. Dinamik modeller ise verilen kararlar çoklu periyodlar için kullanılabilen kararlar dizisini içermektedir.

Amaç fonksiyonunda ve kısıtlarında, karar değişkenlerinin daima sabit bir sayı ile çarpıldığı modeller **doğrusal** modeller olarak adlandırılmaktadır. İki ve ya daha çok bilinmeyenin birbiri ile çarpıldığı amaç fonksiyonu ya da kısıtlara sahip olan modeller ise **doğrusal olmayan** modellerdir (Winston ve Goldberg, 1994).

Karar değişkenlerinin bir ya da daha fazlasının tam sayılı olması şartı bulunan modeller **tam sayılı** modellerdir. Bu şekilde bir şartın aranmadı karar değişkenlerinin herhangi

bir sayısal değer alabildiği modeller ise **tam sayılı olmayan** modeller olarak adlandırılmaktadır.

Optimize edilecek problemde tüm karar değişkenleri ya da kısıt ve amaç fonksiyonun değerler kesin olarak belirli ise bu bir **deterministik** modeldir (Winston ve Goldberg, 1994). Fakat bunun tersi söz konusu olduğunda, yani bir kısıt ya da amaç fonksiyonundaki değerlerden bir ya da daha fazlasının kesin olarak bilinmediğinde bu modele, **stokastik** model denmektedir.

Winston'a göre bir organizasyonun problemini çözmeye yönelik oluşturulacak bir model yedi adımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; problemin formülize edilmesi, sistemin gözlenmesi ve gerekli verilerin toplanması, problemin matematiksel modelinin oluşturulması, modelin uygulanması, modelin verdiği alternatiflerden organizasyona en uygun olanının seçilmesi, organizasyona çalışmanın detaylarının ve sonuçlarının sunulması ve son adım olarak da çalışmanın değerlendirmesi ve modelin iyileştirilmesidir.

2.2 Çözüm Yöntemleri

1947 yılında Dantzig'in "Doğrusal Programlama" üzerine yaptığı çalışmanın ardından, birçok karar bilimci tarafından makaleler, kitaplar yazılmış ve genel adıyla "Matematiksel Programlama" denilen birçok çözüm yöntemi gün yüzüne çıkmıştır. Doğrusal programlama, tam sayılı programlama, karışık tam sayılı programlama, doğrusal olmayan programlama, ağ modelleri, envanter modelleri, dinamik programlama ve benzetim bu yöntemlerin başlıcalarıdır.

2.2.1 Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama (LP, *Linear Programming*), optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir araçtır. Dantzig 1947 yılındaki öncül sayılabilecek olan, askeriyenin planlama aktivitelerindeki bağlantı üzerine yaptığı, çalışma ile doğrusal programlama kullanılmaya başlanmıştır. Dantzig (2002) kendisinden önce bu alanda çalışmalar yapmış ama teknolojik ya da ideolojik nedenlerden ötürü tam manasıyla

sonuca ulaşamamış araştırmacıları; Monge (1781), Fourier (1823), Poussin (1911), Kantorovich (1939) ve Hitchcock (1941) olarak belirtmiştir.

Doğrusal programlama problemlerinde karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu yani amaç fonksiyonu maksimize veya minimize edilmeye çalışılır. Karar değişkenlerin problem içinde tanımlanmış kısıtları sağlaması hedeflenirken her bir kısıt doğrusal eşitlik ya da doğrusal eşitsizlik olarak ifade edilir. Bu programlama yönteminde karar değişkenleri ya pozitif değer alabilirler ya da sınırsız varsayılabilirler. Genel bir doğrusal programlama modeli örneği şöyledir;

$$Z_{\text{enb/enk}} = \sum_n^t c_n * x_n$$

Kısıtlar,

$$\sum_n^t a_n * x_n \leq M$$

$$\sum_n^t b_n * x_n \geq K$$

.....

$$x_n \geq 0$$

x_n karar değişkenlerini, c_n n değişkenin amaç fonksiyonu katsayısını, a_n ise ilgili kaynağın n değişkeni katsayısını ifade etmektedir.

2.2.2 Tam Sayılı Programlama

Doğrusal programlama ile çözülebilmese rağmen tam sayılı sonuç istenen problemlerde kullanılan yöntem tam sayılı programlama denilmektedir. Tüm karar değişkenlerinin tam sayılı olması istenen durumlarda saf tam sayılı programlama, tam sayılı karar değişkenlerinin yanı sıra bir grup karar değişkenlerinin herhangi bir değer alması mümkün olan durumlarda ise karışık tam sayılı programlama yöntemi kullanılmaktadır. 1958 yılında R. E Gomory, gezen satıcı problemleri üzerine yapılan geçmiş çalışmaların aksine sistematik olarak kesen düzlemler ortaya çıkararak Tam Sayılı Programlamanın öncülerinden olmuştur. Bu kesenler, optimizasyon probleminde

tam sayılı bir sonuç istenildiğinde, eşitsizlik sistemine eklenerek oldukça gerekli bir unsur olarak kullanılmıştır. Tam sayılı programların bir başka çeşidi olan 0-1 ya da diğer bir adıyla ikili tam sayılı programlama, Egon Balas ve birçok araştırmacının çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Dal ve sınır yöntemi ise pratikliği sayesinde oldukça sık kullanılan bir tam sayılı programlama tekniğidir. Dantzig'e (2002) göre kesen düzlemler ve dal ve sınır yöntemlerinin kombinasyonu ile geliştirilen teknikler tam sayılı programlamadaki en etkin çözüm yöntemleridir.

Tam sayılı programlamada modele ek olarak karar değişkenlerinin tam sayı değeri olması kısıtı da bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan tam sayılı programlama biçimi 0-1 tam sayılı programlama olarak bilinen, karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerlerini aldığı yöntemidir.

$$Z_{\text{enb/enk}} = \sum_n^t c_n * x_n$$

Kısıtlar,

$$\sum_n^t a_n * x_n \leq M$$

$$\sum_n^t b_n * x_n \geq K$$

.....

$$\geq 0$$

- a) Saf tam sayılı programlamada;
 $x_n \geq 0$ ve tam sayı
- b) Karışık tam sayılı programlamada;
 $x_n \geq 0$ ve X_1, X_2 tam sayı
- c) 0-1 tam sayılı programlamada;
 x_n 0 veya 1

2.2.2.1 Grafiksel Çözüm Yöntemi

Grafik ile çözüm yöntemi maksimum üç değişkene sahip problemlerde kullanılabilir. Kısıtlardan oluşturulan denklemlerin doğrularının çizilmesiyle ve bu doğruların arasında kalan uygun çözüm alanındaki tam sayılardan oluşan değerler bu tam sayılı programlama problemi için çözüm kümesini oluşturmaktadırlar. Bu değerler içindeki en optimal nokta deneme yanılma yöntemi ile bulunabilmektedir. Bu yöntemle ilişkin örnek çözümü aşağıda verilmektedir.

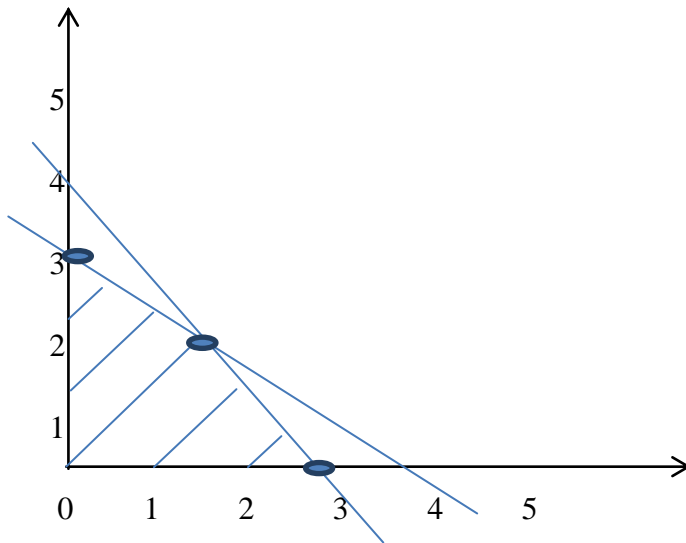
$$\text{Maksimizasyon } Z = 7X_1 + 8X_2$$

Kısıtlar;

$$2X_1 + 1,5X_2 \leq 6$$

$$3X_1 + 4X_2 \leq 12$$

$X_1, X_2 \geq 0$ ve tam sayı



Probleme değişkenlerin tam sayılı olma kısıtı olmamış olsaydı, yani doğrusal programlama şeklinde çözülsüydi optimal çözüm $X_1 = 1,7143$, $X_2 = 1,7143$ ve $Z = 25,71$ şeklinde olacaktı. Tam sayılı programlama şeklinde olduğunda ise $X_1 = 0$, $X_2 = 3$ ve $Z = 24$ optimal çözümü elde edilmektedir (Tütek ve Gümüşoğlu, 1994).

2.2.2.2 Gomory Kesme Düzlemi Yöntemi

1958 yılında Gomory tarafından geliştirilen kesme düzlemi yönteminde amaç, denklemin tanımlanan muhtemel tam sayılı çözümleri en üstten terk ettiği çözümün bulunmasıdır. İlgili yöntem değişken sayısı ikiden fazla olan tüm saf tam sayılı programlama ve karışık tam sayılı programlama problemlerinde kullanılabilir.

Kesme düzlemi yönteminin aşamalarını inceleyecek olursak;

- Birinci aşamada; ilgili problem için optimal çözüm tablosu bulunur ve eğer çözüm değerleri tam sayı ise yineleme durdurulur, değil ise bir sonraki aşamaya geçilir.
- İkinci aşamada; kesmenin bulunması amacıyla optimal çözüm tablosundaki tamsayı olmayan, temel değişkenin kesirli parçası seçilir ve bu temel değişkeni kapsayan $\sum_{j=1}^n (-f)_i * X_j + S_i = -f$ formülü oluşturulur. Bu aşamada kesirli değeri olan temel değişken seçimi isteğe bağlıdır. Fakat partik amaçlar için çoğunlukla en büyük kesirli kısma sahip olan değişkenin seçimi daha hızlı sonuca ulaştırmaktadır (Tütek ve Gümüšoğlu, 1994).
- Üçüncü aşamada; yeni kısıt için genişletilen problemin yeni optimal çözümü bulunur ve aşama ikiye dönlür. Yöntem bir önceki aşamada giren boşluk değışkeni S_i 'nin optimal temel çözüme alınmasını ve önceki çözümde modele dahil edilen S_k 'nin çözümden çıkarılmasını içermektedir.

2.2.2.3 Dal-Sınır Yöntemi

Tam sayılı programlama problemlerinin çözümü için geliştirilen bir diğer yöntemi de Land ve. Doig (1960) tarafından geliştirilen “Dal-Sınır” yöntemidir. Bu yöntem sistematik olarak olurlu çözümlerin sayılmasıyla en iyi tam sayılı çözümün bulunmasını hedefleyen bir Doğrusal Programlama tabanlı ağaç arama yöntemidir. Bu arama yöntemi çözüm alanını dallandırma noktaları adı verilen küçük alt setlere böler. Bahsi geçen alt setlerin hepsi daha fazla araştırma gerekip gerekmediği belirlenmek üzere değerlendirilir. Bu değerlendirme amaç fonksiyonunun değerlerini sınırlarla karşılaştırarak gerçekleştirilir (Tütek ve Gümüšoğlu, 1994).

Bu yöntemin aşamaları şöyledir;

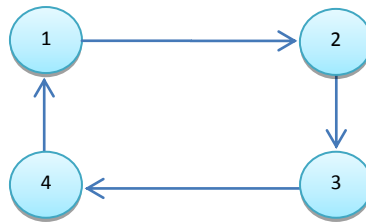
- Birinci aşamada; problem tam sayılı olma kısıtı göz ardı edilerek doğrusal programlama gibi çözülür. Bu çözüm tam sayılı programlama sorununun amacı için bir alt sınır oluşturur ve çözüm alanı doğrusal programlama sorununun olurlu çözüm alanı içindeki tüm tam sayı değerlerinden oluşur.
- İkinci aşamada; tam sayılı olmayan dallandırma değişkeni adı verilen bir X_i değişkeni seçilir ve ana problem iki alt probleme bölünür. Bu yeni problemlerden birine ana modele ek $X_i \leq L_i$, diğerine ise $X_i \geq L_i + 1$ kısıtı eklenir. L_i sabit sayısı ana problemin çözümünde karar değişkenlerinin aldığı tam sayılı olmayan değeri aşmayacak en büyük tam sayı değeridir.
- Oluşturulan yeni doğrusal programlama problemleri de çözülür ve dallandırma işlemine devam edilir. Minimizasyon problemlerinde dallandırma en iyi(en küçük) alt sınıra sahip alt problemde gerçekleştirilirken, maksimizasyon problemlerinde en büyük üst sınıra sahip alt problemde gerçekleştirilir. Yani minimizasyon problemlerinde z değeri en küçük olan için, maksimizasyon problemlerinde ise z değeri en büyük olan için ikinci aşama tekrarlanır. Tam sayılı z optimal değerleri bulunana kadar bu işlemler yinelenir. Alt problemlerde bulunan ilk tam sayılı çözüm ana problem için alt ya da üst sınırı belirler.

2.2.2.4 Sayma

Tam sayılı programlama çözüm yöntemlerinden bir diğeri de sayma yöntemidir. Doğrusal programlamadan farklı olarak Tam sayılı programlama problemlerinde her değişken sadece sonlu sayıda tam sayı değeri alabilmektedir. Tüm olası çözüm değerleri için amaç fonksiyonu değerinin hesaplanması ve bu olurlu çözümlerin içerisinde en iyisini seçme, sayma (enumerate) adı verilen bir çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Winston ve Goldberg, 1994). Örneğin 3 değişkenli bir tam sayılı programlama probleminde değişkenlerin 0 ve ya 1 değeri alması kısıtı var ise bu problem için $2^3=8$ adet çözüm söz konusudur. Her bir ihtimal için amaç fonksiyonu hesaplandığında en iyi Z değeri bize bu tam sayılı programlama problemi için sonucu verir. Sayma yöntemi küçük çaplı problemler için ideal bir çözüm yöntemi iken problemin boyutu büyüdükçe çözüm zorlaşmaktadır.

2.2.3 Ağ Modelleri

Bazı optimizasyon problemlerinin en iyi şekilde analiz edilebilmesi için grafik ile göstermek gerekmektedir. Başlıcaları en kısa yol problemleri, maksimum akış problemleri ve CPM (Critical Path Method)- PERT (Project Evaluation And Review Technique) proje çizelgeleme problemleri olan bu problemlerin çözümünde ağ modellerinden yararlanılmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır. Flood (1954), Ford ve Fulkerson (1962) çalışmalarında optimizasyonu grafik teorisi ile birleştirmişlerdir. Ağ modelleri genel itibari ile köşeler ve oklardan oluşmaktadır. Köşeler aktiviteleri ifade ederken oklar aktivitelerin yönünü belirtmektedirler. Şekil 2'de de görüldüğü üzere aktiviteler ve yönlerinin ifade edildiği bu şekle ağ yolu adı verilmektedir.



Şekil 2: Basit ağ modeli

En kısa yol problemlerinde; ağdaki her ok bir uzunluğu temsil eder ve başlangıçtan bitişe kadar olan yollardan en kısa olanı hesaplanır ve en optimal yol olarak o seçilir.

Maksimum akış problemlerinde ise amaç; kaynaktan varışa kadar ağdaki maksimum akışı bulmaktır. Ford-Fulkerson yöntemi de denilen bu yöntemde her bir ok kapasiteyi ifade etmektedir.

Kritik yol metodu (CPM), aktivitelerin sürelerinin bilindiği varsayılan durumlarda kullanılan toplam proje zamanını tahminlemeyi hedefleyen bir çözüm yöntemidir. PERT yöntemi ise projeye ait aktivitelerin kesin olarak bilinmediği durumlarda projenin belirli bir zamanda bitmesinin olasılığını hesaplar (Winston ve Goldberg, 1994). PERT yönteminin kullanılabilmesi için aktivitelerin tahmin edilen en iyi bitirme, en kötü bitirme ve olası bitirme zamanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler ışığında her aktivite için tahmini bitirme süresi ve varyansları hesaplanır.

2.2.4 Dinamik Programlama

Büyük ve çok sayıda karar değişkeni içeren problemlerin, birbiri ardına çözülen küçük problemler haline getirerek çözümlenmesine dinamik programlama denilmektedir. Bu çözüm yönteminin dinamik adını almasının başlıca sebebi problemdeki zaman değişkenini açık olarak ele almasıdır. 1954 yılında Richard Bellman tarafından yapılan çalışma, dinamik programlama yönteminin literatüre girmesini sağlayan çalışmalardandır.

Dinamik programlama da problem baştan sona doğru ya da sondan başa doğru olmak üzere iki şekilde çözülebilir. Her iki çözümde de her adımın optimum çözümü bir sonraki adıma taşınarak sonuca ulaşmak hedeflenir. Bu yöntemin kullanıldığı problemlerden bazıları şöyledir (Tütek ve Gümüsoğlu, 1994);

- Yeniden sipariş problemleri,
- Değişken talep altında üretim planlama problemleri,
- Kıymetli bir kaynağın bulunup işlenmesi problemleri,
- Yeni alanlara kaynak dağıtımını yapan sermaye bütçelemesi problemleri.

2.2.5 Envanter Modelleri

Envanter problemlerinde amaç, maliyetleri minimize ederken müşteri talebini karşılayacak envanter kararlarını belirleyebilmektir. Bu nedenle, iki temel soru bulunmaktadır; Ne zaman sipariş verilmeli? Ne kadar sipariş verilmeli? Birinci soru iki şekilde cevap bulabilir; a) Envanter için belirlenen yeniden sipariş seviyesine eşit veya altında olduğunda sipariş verilir. b) Sipariş her t zamanda bir verilir. İkinci soru ise a) her sipariş döneminde aynı olmak üzere Q miktarı kadar sipariş verilir. b) envanter durumunu s seviyesine getirecek olan miktar kadar sipariş verilir. (Tarım, 1996)

Envanter problemlerindeki başlıca maliyetler şunlardır;

- Sipariş ve başlangıç maliyeti
- Birim satın alma maliyeti
- Elde tutma ve ya taşıma maliyeti

- Stokun tükenmesi ya da eksik stok maliyeti

Envanter problemlerinde talep her zaman belirli olmayabilir. Bu nedenle talebin belirli olduğu durumlarda deterministik envanter modelleri, belirsiz olduğu durumlarda is stokastik envanter modelleri kullanılmaktadır. Literatürde sıklıkla bahsedilen envanter modellerinin başlıcaları; “Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli”, “Wagner- Within Yöntemi”, “Silver-Meal Sezgisel Yöntemi”, “En Düşük Birim Maliyet Yöntemi”, “En Düşük Toplam Maliyet Yöntemi”, “Parçalı Dönem Dengesi Yönetimi”dir (Winston ve Goldberg, 1994).

2.2.6 Stokastik Programlama

Belirsizlik içeren problemlerin çözümünde kullanılan stokastik programlama yöntemi, 1955 yılında Dantzig’in “Linear Programming Under Uncertainty” ve aynı yıl E. M. L. Beale’in çalışmasıyla literatürde yer almaya başlamıştır. Charnes ve Cooper’ın (1959) şans kısıtını ekledikleri çalışma bu alana yapılan güçlü katkılardan biridir.

Stokastik programlama, amaç fonksiyonun ve kısıtların rastgele değişkenlere bağlı olduğu durumları incelemektedir. $f_i(x,w)$ olarak gösterilebilen kısıt ve amaç fonksiyonları karar değişkeni olan x ve rastgele değişken olan w ye bağlı fonksiyonlardır. w , değişim ve belirsizlik parametresidir ve değeri bilinmezken dağılımı bilinmektedir. Stokastik programlamada amaç; kısıtları ortalama ya da yüksek olasılıklı düzeyde sağlayan x değerini seçmektir.

2.2.7 Benzetim

Süreçlerin modellerinin geliştirilmesi, bu modeller üzerinde deneme yanılma yöntemleri uygulanması ve bu uygulamalar sonucunda sürecin zaman içindeki değişimlerini ve gelecek zamanlar için öngörü yapılmasını sağlayan tasarım aracına benzetim, diğer bir adıyla benzetim denilmektedir. Benzetim, modeli geliştirilen sürecin izlenmesi ve geliştirilmesi bakımından yararlı ve önemli bir araçtır.

Diğer optimizasyon yöntemleri ile modelin kurulamadığı ya da doğrudan çözüme ulaşılamayan durumlarda kullanılan benzetim, gerçek sürecin belirli değişimlere nasıl

tepki vereceğini gözlemlemeye yardımcı olur. Literatürde benzetimin avantajları ve dezavantajları Tablo 1 de açıklanmıştır (Law ve Kelton, 1991).

Tablo 1: Benzetimin avantajları ve dezavantajları

<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Esnek bir çözüm yöntemidir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesin sonuç ortaya koymayabilir.
<ul style="list-style-type: none"> • Belirsizlik ve çok ihtimalli durumlarda çözüm imkânı sunar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çok masraflı olabilir.
<ul style="list-style-type: none"> • Birden çok faktörün etkisi ve birbirileri arasındaki ilişki incelenebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Belirsizlik ve rastlantısal bir öge içermeyen modellerde kullanılamaz.
<ul style="list-style-type: none"> • Analist benzetim üzerinde tam yetkiye sahiptir. 	

3. Bölüm

MADEN ÜRETİM PLANLAMA

3.1 Giriş

Madencilik, maden yatağının bulunması, madenin değerinin araştırılması, yasal prosedürler ve maden örtüsünün hafriyatı, madenin çıkarılması, maden sahasının düzeltilmesi olarak beş süreçten oluşmaktadır (Newman, Rubio, Caro, Weintraub, Eureka, 2010). Madencilik sektöründe kazancı etkileyen önemli faktörlerden biri olan, madenin değerinin anlaşılması safhasında öğrenilen cevherin kalitesi, üreticinin belirleyebileceği bir unsur değildir. Jeolojik yapıya bağlı olarak cevherin dağıldığı yer ve kalitesi değişiklik gösterebilir. Madenin yeraltındaki yapısını öğrenmek için maden arama çalışmaları yapılır. Maden arama çalışmalarında temel amaçlardan bazıları maden rezervi, madenin kalitesini ve yayılımını belirlemektir. Madenin değerinin anlaşılması için ilk aşamada genellikle jeolojik, paleocoğrafya, metalojenik haritalardan ve jeofizik uygulamalardan yararlanılmaktadır. Yeraltının haritasının çıkarılmasında bu çalışmalardan elde edilen bilgiler kullanılarak maden tahminleme yöntemleri uygulanmakta ve sonucunda yaklaşık bilgilerin olduğu bir maden haritası elde edilmektedir. Daha sonra sondaj vb. çalışmalarla maden sahasının belli bölgeleri için madenin kalitesi ve varlığına dair verilere ulaşılmaktadır. Sondaj çalışması yapılmayan orta bölgeler için ise elde edilen bilgiler ışığında tahminlemeler yapılır ve bunun sonucu yeraltı haritaları oluşturulmaktadır. Pratikte yeraltının varsayılan görünümü ile üretimi yapacak olan firma sahip olduğu sermaye, ekipman, çevrenin yapısı gibi unsurları göz önünde bulundurarak üretim planı yapmaktadır. Maden üretimi planlama konusu elli yılı aşkın bir süreden bu yana bilim dünyasına konu olmuş ve daha sistematik planların üretildiği çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

3.2 Maden Üretimi Planlama

Madencilikte üretim planlama, maden bloklarının net bugünkü değerlerinin (NBD) maksimize edilecek şekilde; ürün çeşitliliği, maden sınıflarının harmanlanması ve ocak

eğimi kısıtlarına göre; madenden çıkartılma sırasının belirtilmesi olarak, tanımlanmaktadır (Ramazan, 2007). Üretim kalitesinin ve maliyetinin belirlenmesini sağlayan yıllık üretim planlaması, açık ocak madenciliği için büyük önem arz etmektedir. Bir cevher kütlesinin çıkarılmasında izlenen iki yol vardır, bunlara bağlı olarak da iki tip madencilik ortaya çıkmıştır. Bunlar açık ocak madenciliği ve yeraltı madenciliğidir. Bu iki yöntem üretim planlaması açısından temelde aynı problemlerle ilgilenmektedirler.

Açık ocak madencilik yüzeysel bir madencilik operasyonudur. Bu operasyonda maden cevheri ve atıklar arazinin yüzeyinden kazılarak çıkartılmaktadır. Yüzeyin kazınması süreci boyunca sürekli daha derin bir maden ocağı oluşmaktadır. Bu durumda, genellikle, maden operasyonlarına başlanmadan önce; maden ocağının nihai durumunun belirlenmesi amacıyla planlama yapılması daha uygundur (Amankwah, 2011). Açık maden ocaklarının büyüklüğü ve şekilleri bazı etmenlere bağlıdır. Bunlar maden operasyonunun planlanması için iyi anlaşılmalıdır. Bu etmenlerden bazıları: Basamak yüksekliği, cevherin geri kazanımı, bölgenin jeolojik yapısı, cevherin sınıfı ve ocak içerisindeki yerleşimi, hafriyat tabakasının kapladığı alan, maden arazisinin sınırları, üretim oranı, maden çıkarımının maliyeti, madenin işleme maliyeti, kesim sınırı tenörü ve ocak eğimidir. Örneğin, maden ocağının her bir yatay seviyesi arasındaki dikey mesafe diğer bir deyişle basamak yüksekliği üretilmek istenen ürünün türü ve büyüklüğüne uygun şekilde, mümkün olduğu kadar yüksek olarak ayarlanmalıdır. Madenciliğin herhangi bir seviyesinde, maden işletmecisi bir sonraki adımda hangi madenin çıkartılıp ıkartılmayacağına karar vermelidir. Maden bloklarının buldukları seviyeler genellikle karar vermek için kullanılan ölçü durumundadır. Maden ocağının eğimi de cevhere ulaşılması için çıkartılması gereken atık maddenin miktarının belirlenmesini etkileyen ana etmenlerden biridir (Hustrulid ve Kuchta, 2006).

Maden ocağının limitleri planlama aşamasında belirlenmelidir. Bu limit, çıkartılacak cevher miktarını, metal içeriği ve operasyon boyunca çıkartılması gereken atık miktarını belirlemektedir (Amankwah, 2011). Bu anlamda azami ocak limitlerinin ve karın bulunması için yapılan çalışmalardan edinilen bilgiler tüm açık maden operasyonları için büyük önem taşımaktadır. Optimal bir maden ocağı tasarlamak için bütün maden

cevheri belli ölçülerde bloklara ayrılır. Sondaj sonucu elde edilen jeolojik bilgiler kullanılarak, her bir maden bloğunun değeri tahmin edilir.

Bunlara ek olarak, çıkartılacak her bir maden bloğunun maden işletmecisine maliyetleri belirlenir. Daha sonra, maden bloklarından elde edilecek kar tespit edilir. Dolayısıyla, açık ocak madenin tasarım probleminin amacı kazının getireceği maliyet kısıtlarına uygun olarak cevher yatağından çıkartılacak maden bloğu miktarının belirlenmesidir.

Uygulanabilir kabul edilen bir maden ocağı taslağının günümüz değerinin hesaplanabileceği bir nakit değeri bulunmalıdır. Bu değer hesaplanabilmesi için, cevherin çıkartılması sırasının belirlenmesi gerekmektedir, bu doğrultuda cevherden elde edilecek gelir ve operasyonun maliyetleri birikerek, maden çalışmaları sürdürülmektedir (Whittle, 1990). Maden bloklarının değerindeki artışlar, optimal maden ocağının büyüklüğünü arttırırken, maden ocağının eğiminin artması da ocağın daha derin olmasını sağlar. Bu anlamda blok değerlerinin mümkün olduğunca kesin olarak hesaplanması gerekmektedir. Çünkü yanlış hesaplamalar ocak limitlerinin yanlış belirlenmesine yol açacaktır. Optimizasyonun amacına uygun olarak uygulaması için, maden bloklarının değerleri hesaplanırken uyulması gereken iki temel kural bulunmaktadır. Öncelikli olarak, blokların değerinin madenden çıkartılmış olarak hesaplanması gerekir. İkincisi ise maden çıkartma işlemleriyle birlikte devam eden maliyetlerin (operasyonlar durdurulduğunda duran maliyetler) modele dâhil edilmesidir (Whittle, 1990).

Özetle açık ocak madenciliğinde planlamanın amacı optimal mineralin çıkartılması sırasının, projenin nakit akışlarının toplam şimdiki değerini maksimize edecek şekilde, operasyonel ve fiziksel kısıtlara göre belirlenmesidir (Amankwah, 2011). Madencilik operasyonlarında, mineralize olan bölge öncelikli olarak sondaj, haritalama ve coğrafi yorumlamayı içeren bir araştırma sonrasında tanımlanır. Daha sonra maden yatağının sayısal olarak gösterilmesi için maden alanı temsili 3 boyutlu dikdörtgen biçimli bloklara ayrılarak, bir “cevher kütlesi” modeli oluşturulur. Her bir blok, sondaj örneklerinin incelenmesiyle elde edilen bilgilerin kullanılmasıyla tahmin edilen, maden yatağının özelliklerini göstermektedir. Bu özellikler blokların içerdikleri madenlerin satılmasıyla elde edilen gelirden, maliyetlerin çıkartılmasıyla oluşacak ekonomik değerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Akabinde, maden yatağının özelliklerini

yansıtan cevher kütlesi modeli ve beklenen ekonomik değer, maden kuyusunun limitlerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu limitler, maden yatağından ekonomik olarak maden çıkartılması için bilinmesi gereken kısıtları belirtmektedir.

Üretim planlaması, karar vermeyi sağlamak için, tipik olarak 3 zaman aralığını kapsamaktadır: uzun vade, orta vade ve kısa vade. Uzun vadede yapılan planlamalar duruma bağlı olarak 20-30 yıl zaman aralığında olabilmektedir. Bu 20-30 yıllık periyodlar 1-5 yıllık daha kısa zaman aralıklarına ayrılmıştır. 1-5 yıllık zaman aralıklarında yapılan planlama ise orta vadeli planlama olarak adlandırılmaktadır. Orta vadede yapılan planlar, cevherin çıkartılması için bulunduğu yere dair spesifik bilgiler ya da gerekli malzeme ve makinenin tedarik edilmesine dair detaylı bilgi vermektedir. Bu 1-5 yıllık periyodlar da daha detaylı planlama için 1-6 aylık kısa vadeli zaman periyodlarına ayrılmaktadır. Benzer şekilde kısa vadeli periyod da günlük ve aylık olarak alt periyodlara ayrılarak planlanmaktadır (Krajewski ve Ritzman, 1999). Bu çalışma, açık maden ocaklarında, uzun vadeli üretim planlamasına odaklanmaktadır. Uzun vadeli üretim planlaması bir madenin işlendiği süre boyunca nakit akışlarını ve projenin fizibilitesini belirlemesi dışında; orta ve kısa vadeli planların uygulanmasında gerekli olan unsurların önceden belirlenmesi için oldukça önemlidir. Uzun vadeli üretim planlaması probleminin çözülmesi için 2 farklı yaklaşım bulunmaktadır: Belirleyici (deterministik) ve belirsizlik (stokastik) yaklaşımları. Belirleyici yaklaşım bütün girdilerin gerçek, sabit değerlere sahip olduğunu varsayarken; belirsizlik yaklaşımı ise bazı bilgilerin (Örnek; cevher niteliği, ürün için gelecek talep, fiyatlandırmalar vb.) değişebileceğini göz önünde bulundurmaktadır.

Yıllık üretim planlaması, projenin toplam şimdiki değerini maksimize edecek şekilde; hangi maden bloklarının, maden kuyusunun belirlenen optimum sınırları içerisinde ve belirlenmiş kısıtlara göre, ne zaman çıkartılacağını belirleyen karar problemidir. Burada sorun bu maden bloklarının çıkartılırken net şimdiki değerlerinin maksimize edilecek şekilde kümelenmesidir (Ramazan, 2007). Açık ocak madenciliğindeki operasyonel ve fiziksel olmak üzere iki temel kısıt bulunmaktadır. Fiziksel kısıtların en önemlilerinden biri eğimdir. İstenen maden bloğunun üstündeki engelleyici bütün bloklar çıkartılmalıdır. Açık ocak madenciliğinde üretim planlama problemlerinde yer alan diğer kısıtlarından bazıları ise; maden çıkarma ve işleme kapasitesi kısıtları, tenör

kısıtı, depolama alanı kısıtı, atık mal kısıtıdır. Firmanın sahip olduğu imkanlara bağlı olarak belirlenen maden çıkarma ve işleme miktarlarına göre modelin vereceği sonuçlar kısıtlanır. Çıkarılan blokların sahip olmaları istenen maksimum ve minimum tenör miktarlarına göre de tenör kısıtlar oluşturulur.

Ramazan (2001) çalışmasında eğim kısıtı ile ilgili olarak 8 adet kare şeklinde blok içeren bir cevher kütlesi modelinin 2 boyutlu kesitsel görüntüsünü göstermektedir. Blok numaraları sol üst köşede ve beklenen ekonomik değerleri karelerin ortasında yazılmıştır. Eğer güvenli eğim açıları 45° derece olarak kabul edilirse, 1, 2 ve 3. Bloklar 7. Blok çıkartılmadan önce kazılmalı ya da çıkartılmak zorundadır. Gerçek maden operasyonlarında, istenen maden bloğundan önce çıkartılması gereken maden blokları, kenar açıları gerekli eğim açısına eşit olan, koni şeklinde kalıplar kullanılarak tespit edilir.

Karışı tam sayılı ve doğrusal programlama modelleri, açık ocak maden üretim planlama ve çizelgeleme optimizasyonu için ideal model olarak kabul edilmektedirler (Newman, ve ark., 2010). Bu modellerde hedef toplam indirgenmiş karın en üst düzeye çıkartılmasıdır. Ancak, bu tarz Karışık Tam Sayılı Programlama (KTP) formülleri çok fazla 0-1 değişkeni içermektedir ve bu durum problemin çözülmesini zorlaştırmaktadır. Örneğin, 3 yıl için çıkartılması planlanacak 10.000 adet maden bloğu olduğunu varsayarsak, 30.000 adet iki bileşenli değişkenin KTP formülüne uyarlanması gerekecektir. Bu durum KTP modeli ile çözülmesini oldukça zorlaştıracaktır. Bu noktada problemin büyüklüğünü azaltmak için kullanılan yaygın bir uygulama olan materyalin optimum maden kuyusu limitleri içerisinde “geri-itme” adı verilen daha küçük parçalara ayrılmasıdır.

Maden dizaynı seçim süreci; teknik olarak gerçekleştirilmesi mümkün, muhtemel tüm seçeneklerin net bu günkü değerlerinin tahmin edilerek en fazla değer yaratan seçeneğin seçilmesi; temeline dayanmaktadır (Osanloo ve Ataei, 2003). Pratikte, maden planlamacıları yeraltındaki nicel ve nitel cevher özelliklerini kesin olarak bilememektedir. Bu durum jeolojik belirsizlik olarak adlandırılır ve oldukça riskli bir iş alanı olan madencilğin temel risk kaynağını oluşturmaktadır. Öte yandan başka belirsizlikler yaratan farklı risk kaynakları da bulunmaktadır. Metal fiyatlarının gelecekte piyasalarda hangi fiyatlarla işlem göreceğinin kesin olarak bilinmesi de

imkânsızdır, dolayısıyla bu durum da madenciliğin karlılık oranlarını açıkça etkileyen risk kaynaklarından birisidir. Bu belirsizliklerin mevcudiyeti, yüksek karlılık beklenen maden projeleri boyunca oluşturulması beklenen nakit akışlarının planlanandan farklı olmasını sağlayabilmektedir. Bir optimizasyon modeli; riski minimize ederken, beklenen getiriye maksimize ederek ve cevher bloklarının belirlenen zamanlarda çıkartılması açısından daha iyi kararlar verilmesini sağlayarak; madencilik sektörü için büyük önem arz etmektedir.

3.3 Literatür

Maden üretim planlama ve çizelgeleme üzerine yapılan literatür taramasının genel görünümü aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 2: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Doğrusal Programlama kullanarak çözülen çalışmalar

Problem Yapısı	Çözümü Yöntemi	Makale
Deterministik	Doğrusal Programlama	Johnson (1969)
	Doğrusal Programlama	Klingman ve Philips (1988)
	Doğrusal Ve Dinamik Programlama	Tan ve Ramani (1992)
	Simulasyon Ve Doğrusal Programlama	Fytas ve ark. (1993)
	Doğrusal Programlama Ve Sezgisel Yöntemler	Ramazan (2007)

Tablo 3: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Tam Sayılı Programlama kullanarak çözülen çalışmalar

Problem Yapısı	Çözümü Yöntemi	Makale
Deterministik	Tam Sayılı Programlama	Lerchs ve Grossman (1960)
	Karışık Tam Sayılı Programlama	Hoerger (1999)
	Tam Sayılı Programlama	Caccetta ve Hill (2003)
	Karışık Tam Sayılı Programlama	Kumral (2010)

Tablo 4: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Dinamik Programlama kullanarak çözülen çalışmalar

Problem Yapısı	Çözümü Yöntemi	Makale
Deterministik	Dinamik Programlama	Wright (1980)
	Dinamik Programlama	Gershon ve Murphy (1989)
	Dinamik Programlama	Dowd ve Onur (1993)
	Dinamik Programlama Ve Yerel Arama Algoritmaları	Elevli (1955)
	Dinamik Programlama Ve Sezgisel Çözüm	Sevim ve Lei (1998)
	Dinamik Programlama	Sun (2001)
	Dinamik Programlama	Erarslan ve Çelebi (2001)
	Dinamik Programlama	Bley ve ark. (2010)

Tablo 5: Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, Sezgisel Algoritmalar kullanarak çözülen çalışmalar

Problem Yapısı	Çözümü Yöntemi	Makale
Deterministik	Yerel Arama Algoritmaları(Sezgisel)	Busnach Ve ark. (1985)
	Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi(Sezgisel)	Dağdelen ve Johnson (1986)
	Sezgisel Algoritmalar	Clement ve Vagenas (1994)
	Sezgisel Algoritmalar	Denby ve Schofield (1994)
	Grafik Yöntemi	Underwood ve Tolwinski (1998)
	Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi(Sezgisel)	Akaike ve Dağdelen (1999)
	Gevşetilmiş Lagranj Yöntemi(Sezgisel)	Cai (2001)
	Sezgisel Algoritmalar	Darwen (2001)
	Sezgisel Algoritmalar	Ataei ve Osanloo (2003)
	Genetik Algoritma	Samanta ve ark. (2005)
	Monte Carlo Benzetimi	Halatchev (2005)
	Gevşetilmiş Lagranj Yöntemi(Sezgisel)	Kawahata (2006)
	Genetik Algoritma	Zhang (2006)
	Gevşetilmiş Lagranj Yöntemi(Sezgisel)	Gleixner (2008)
Yerel Arama Algoritmaları (Sezgisel)	Amaya ve ark. (2009)	

	Gevşetilmiş Doğrusal Programlama	Bienstock ve Zukerberg (2010)
	Sezgisel Ve Karışık Tam sayı Programlama	Kumral (2013)
	Grafik Yöntemi	Hochbaum ve Chen (2000)

Tablo 6: Stokastik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerini, çözülen çalışmalar

Problem Yapısı	Çözümü Yöntemi	Makale
Stokastik	Benzetim	Dimitrakopoulos (1998)
	Doğrusal Programlama Ve Stokastik Programlama	Sundar ve Acharya (1995)
	Sinir Ağları Algoritması(Sezgisel)	Frimpong ve ark (2002)
	Stokastik Benzetim	Dimitrakopoulos ve ark. (2004)
	Markov Zinciri	Jalali ve ark. (2006)
	Stokastik Benzetim	Leite ve Dimitrakopoulos (2007)
	Stokastik Tam sayı Programlama	Dimitrakopoulos ve Ramazan (2008)
	Stokastik Programlama	Dimitrakopoulos ve Consuegra (2010)
	Stokastik Tam Sayı Programlama	Kumral (2010)
	Stokastik Tam Sayı Programlama Ve Stokastik Benzetim	Dimitrakopoulos (2011)

	Grafik Yöntemi	Asad ve Dimitrakopoulos (2012)
	Tabu Arama Yöntemi(Sezgisel)	Lamghari ve Dimitrakopoulos (2012)
	Stokastik Tam Sayı Programlama Ve Karışık Tam Sayı Programlama	Ramazan ve Dimitrakopoulos (2012)

Yöneylem araştırmalarının optimizasyon sürecindeki güçlü yönlerini fark eden Johnson (1969) doğrusal programlama (LP) ile bir planlama modeli geliştirmiştir. Johnson (1969), modelin çözülmesi için Dantzig ve Wolfe (1960) alt gruplara ayırma prensiplerinden faydalanmıştır problemi daha küçük alt modellere ayırmış ve bu modelleri kendi geliştirdiği azami nakit akışı algoritmasıyla çözmüştür. Johnson (1969) çalışmasında kısıt olarak; ekipmanların kullanılabilme sürelerini, atık ürün tutma kapasitesini, stok alanı kapasitesini, üretim alanının kapasitesini, yasal zorunluluklara göre azami ve asgari üretim sınırlarını göz önünde bulundurmıştır. Ancak bu LP yaklaşımı lineer değişkenler kullanmakta ve sonuç olarak küçük maden bloklarının çıkartılmasına yönlendirmektedir. Dağdelen (1985) ve Dağdelen ve Johnson (1986) büyük ölçülerdeki KTP probleminin çözümü ve alt gruplara ayrışması için lagranjlı ayırıştırma yöntemini kullanmıştır. Bu yöntemin eksikliği; lagranj çarpanlarının uygulanabilir sonuçlanmaması durumunda; modelin her zaman optimum sonucu vermemesidir. Gershon (1983), maden planlamasının optimizasyonu için; kendisinde önce gelen blokları çıkartılmış olması şartıyla, blokların kısmi parçalarının çıkartılmasını sağlayan KTP modelleriyle beraber ele alınan bir LP modeli sunmuştur. Yazar çalışmasında, açık ocak madenciliğinde üretim planlamanın optimizasyonu için kurulan modellerin çok fazla iki bileşenli değişken gerektiğinden çözümlerinin mümkün olmadığını düşünmektedir.

Ramazan (1996), Seymour (1995) ve Whittle (1988)'in çalışmalarında değişken sayısını azaltmak amacıyla geri-itme metodunu kullanmışlardır. Bu geri-itmeler yıllık üretim planlamasında maden ömrünün belirlenmesi için bir rehber olarak kullanılmaktadır.

Onur ve Dowd (1993) açık ocak madenciliği üretim planlama problemleri için dinamik programlama kullandıkları bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımları ile alışlagelmemiş bir şekilde büyük ölçekli problemleri dinamik programlama yöntemi yardımıyla çözmüşlerdir. Tolwinski ve Underwood (1996) dinamik programlama ile sezgisel yöntemi birleştirerek uygulanabilir bir çözüm elde etmişlerdir. Tolwinski (1998)'de tasarlanan model aynı sıradaki “atomlar” olarak adlandırılan blokları kombine etmekte ve Lerchs ve Grossmann (1965)'de yer alan Lerchs ve Grossmann (LG) metodunu uygulamaktadır. Bu yaklaşım üretim planlamada dinamik programlamanın kullanılmasına imkan vermektedir. Ancak, blokların atomlar biçiminde sıralanması; daha önce belirtilmemiş atomların büyüklüklerine bağlı olarak; optimal çözümün bulunması ihtimalini ciddi ölçüde düşürmektedir. Hochbaum ve Chen (2000) maden kuyusu limitlerinin maksimize edilmesi için ağırlıklı olarak kullanılan yöntemlerin detaylı bir çalışmasını sunmaktadır.

Whittle (2000) Milgawa Algoritması ile Warton (2000) ise maden bloklarının teker teker tanımlanması yerine, yüksek değer bölgelerinin tanımlanmasını “step and stride” adı verilen algoritma ile çalışmalar yapmışlardır. Bu tip sezgisel modellenmiş yaklaşımlar, optimal sonucu garanti etmediği gözlenmiştir. Caccetta ve Hill (2003) nihai ocak sınırı probleminin çözümünde dal ve sınır yöntemi kullanmışlardır. Uzun dönemli üretim planlaması için gerekli iki bileşenli değişkenlerin sayısını azaltan, alternatif verimli metotlar Ramazan ve Dimitrakopoulos (2004)'da sunulmaktadır. Tasarlanan modellerle iki bileşenli değişkenlerin sayısını azami ölçüde düşürerek, cevher bloklarının sayısına ya da pozitif ekonomik blok değerlerine getirilmiştir. Ancak, bu indirgeme bazı açık maden ocakları için yeterli olamama ihtimali taşımaktadır. Godoy ve Dimitrakopoulos (2004), tavlama benzetimi optimizasyon modelini, oldukça büyük bir altın madeninin üretim planlaması için uygulamaktadır. Alınan sonuçların başarılı olduğu görülse dahi, model tenör karışımı kısıtını, açık bir şekilde dâhil etmemektedir. Dimitrakopoulos ve Ramazan (2004), tenör harmanlanmasındaki değişim ihtimalini maksimize etme ihtiyacını ve maden bloklarına erişebilmek için malzeme sağlayan, maden operasyonlarının uygulanabilirliğini, göz önünde bulunduran bir LP modeli geliştirmişlerdir. Bu LP modeli, derinliği fazla olan ya da çeşitli dikey maden bloklarını içeren açık maden ocaklarında, çeşitli kısıtları karşılanabilmesi açısından daha fazla test edilmeye ihtiyaç duymaktadır. Boland ve ark. (2010) ve Fricke (2006) kesme düzlemi

yöntemi kullanmışlardır, Gaupp (2008) ise lagranj yöntemini öncesinde bir bloğun olası en erken ve en geç çıkarılma zamanlarını hesaplayarak kullanmıştır. Boland ve ark. (2009) blokları kümeleştirilen birimler şeklinde gruplandırmış ve “bin” adının verildiği bu gruplar arasında öncülük ilişkisi kurmuşlardır. “BIN-PIT” de denilen bu yöntem sayesinde incelenmesi gereken bloklar arası öncülük ilişkisi sayısı ciddi oranda azalmış ve bunların yerine bloklar için çoklu işlem noktalarını formüle katılmıştır.

Bir maden yatağındaki blokların içerdiği mineral ya da tenör değerlerinin belirlenmesi amacıyla yer altından sondaj yöntemiyle elde edilen örneklerin mineral değerlerinin farklı olması yer altındaki belirsizliği göstermektedir. Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinde bu belirsizliği ortadan kaldırabilmek için; örneklerin tahlil edilmesi ile ulaşılan değerlerin ağırlıklı ortalaması kullanılmıştır. Deterministik maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinin başlıca dezavantajlarından birisi cevherlerin doğasında olan belirsizlik nedeniyle örneklerin cevher kütesinin bütünü temsil edememesidir. Bu yönüme alternatif olarak mineral ya da tenör yapısındaki belirsizliğin göz ardı edilmediği stokastik maden üretim planlama ve çizelgeleme yöntemleri de geliştirilmiştir.

Ravenscroft (1992) ve Dowd (1994) geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olasılıklı cevher kütesi modellerinin ardışık kullanımı ile bu alandaki ilk çalışmaları yapmışlardır. Dowd (1994) bu çalışmada Monte Carlo tekniğini uygulamıştır. Denby ve Schofield (1994) açık ocak dizaynı ve üretim planlaması için tenör değişkenliğini göz önünde bulundurduğu bir algoritma geliştirmişlerdir. 2004 yılında Dimitrakopoulos ve Ramazan uzun vadeli olasılıksal üretim planlaması yöntemi ve “Jeolojik Risk İskontosu (GRD)” adı verilen konseptini geliştirmişlerdir. Fakat ardışık süreçler ve olasılıksal yaklaşım verimsiz gibi gözlemlenmiştir ve optimal bir plan üretememişlerdir. Dimitrakopoulos ve Ramazan (2004) diğer bir çalışmalarında stokastik programlama ile optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ümit verici bir sonuca ulaşmışlardır fakat uyguladıkları örnek olayda küçük ölçekli iki boyutlu kuramsal veri seti kullanmış olmaları, reel sektörde büyük ölçekli maden yataklarında aynı sonucu garanti edememektedir. Golamnejad ve ark. (2006) stokastik maden üretim planlama da tenör belirsizliğini hesaplayabilmek için raslantısal kısıtlı formülleri kullanmışlardır. Fakat bu formüller ciddi ve gerçeği yansıtmayan

yaklaşımlar yapılmasına neden olmuştur. Grieco ve Dimitrakopoulos (2007) bir yer altı maden ocağında yıllık üretim planlaması optimizasyonu için olasılıksal karışık tam sayılı programlama yöntemi kullanmışlardır. Boland ve ark. (2008) gerçek dışı maden yaklaşımlarını uygulanabilir hale de getirebildikleri, çok aşamalı stokastik programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Dimitrakopoulos ve Ramazan (2008) tenör belirsizliğini gidermek için, stokastik tam sayılı programlama yöntemini uyguladıkları çalışmalarında tenörlerin ortalamasını almak yerine aynı derecede muhtemel olan simüle edilmiş cevher kütlesi modellerini kullanmışlardır. Yazarlar bu çalışmalarını ile geleneksel olarak kullanılan bir tane tahmin edilmiş cevher kütlesi modeli ile uygulanan yöntemlerden daha iyi bir sonuç elde etmişlerdir. Kumral (2010) girdilerdeki değişimden etkilenmeyen bir sonuç için sağlam stokastik optimizasyon (RSO) yaklaşımını kullanmıştır. Birden fazla cevher kütlelerinin gerçek maden yatağının eşit olasılıklı gösterimleri olarak kullanıldığı, stokastik üç boyutlu simulasyon yöntemi ise 2009 yılında Boucher ve Dimitrakopoulos ile Scheidt ve Caers tarafından 2010 yılında ise Mustapha ve Dimitrakopoulos tarafından kullanılmıştır. Dimitrakopoulos (2011) belirsizlik altında stratejik maden planlama üzerine yaptığı çalışmasında stokastik benzetim ve stokastik optimizasyon yöntemlerini birlikte kullanarak geliştirilmiş bir matematiksel çalışma alanı yaratmıştır.

Tablo 7 da deterministik yöntemler, Tablo 8 de ise stokastik yöntemler kullanan yazarlardan bazılarının çalışmaları kullandıkları model, çözüm yöntemi, avantajları ve dezavantajları bakımından incelenmiştir.

Tablo 7: Deterministik model kullanılan çalışmalardan bazıları ve özellikleri

Model	Yazar	Yıl	Çözüm Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Doğrusal Programlama	Johnson	1969	Dantzig-Wolf ayrıştırma metodu	*Dinamik sınır tenörleri ile ilgilenir. *Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanabilir.	*Optimal sonucu vermez. *Çok sayıda kısıt içerir. (Her blok için 9 kısıt)
Karışık Tam Sayılı Programlama	Gershon	1983		*Johnson'ın yöntemine göre daha pratik. *Her blok için bir eğim kısıtına ihtiyaç duyar.	*Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanamaz. *Dinamik sınır tenörlerine ulaşamayabilir.
Tam Sayılı Programlama	Dağdelen ve Johnson	1986	Gevşetilmiş lagranj	*Fraksiyonel blok çıkartmasına neden olmaz.	*Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanamaz.
	Akaike ve Dağdelen	1999	4D gevşetilmiş ağ	*Dinamik sınır tenörleri ile ilgilenir.	*Var olan aralık problemi. *Büyük ölçekli

				*Stok tutma opsiyonuna sahiptir.	maden yataklarında uygulanamaz.
	Ramazan ve ark.	2005	Temel ağaç oluşumu	*İkili değişken sayısını düşürür. *Aralık problemine çözüm getirir.	*Planlamadan önce geri itme oluşumuna ihtiyaç duyar. *Temel ağaç oluşumunda birden fazla yinelemeye gerek duyulur.
	Caccetta ve Hill	2003	Dal ve sınır yöntemi	*Her türlü operasyonel kısıtı içerir. *Orta ölçekli maden yataklarında iyi bir sonuç verir.	*Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanamaz. *Dinamik sınır tenörlerine ulaşamayabilir.
Dinamik Programlama	Roman	1974	Tümünü numarala-ma	*Blok sıralamasını ve ocak sınırımı aynı anda optimize eder.	*Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanamaz.
	Dowd ve Onur	1992	LP	*Her türlü operasyonel	*Büyük ölçekli maden yataklarında

				kısıtı içerir.	uygulanamaz. *Dinamik sınır tenörlerine ulaşamayabilir.
	Tolwinski ve Underwood	1992	LP ve Yapay Zeka ve sezgisel yöntemler	*Her türlü operasyonel kısıtı içerir. *Pratik bir sonuç verir.	*Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanamaz. *Dinamik sınır tenörlerine ulaşamayabilir. *Optimal sonuç vermez.
	Elevli	1995	LP ve Yapay Zeka ve sezgisel yöntemler	*Üretim planını ve ocak sınırını aynı anda optimize eder. *Her türlü operasyonel kısıtı içerir.	*Ocak hacminin birim maliyete etkisi göz ardı edilmiştir. *Dinamik sınır tenörlerine ulaşamayabilir.
	Tolwinski	1998	LP	*Her türlü operasyonel kısıtı içerir. *Pratik bir sonuç verir.	*Dinamik sınır tenörlerine ulaşamayabilir. *Optimal sonuç vermez.

	Erarslan ve Çelebi	2001	Benzetil-miş optimizas-yon yaklaşımı ve segisel kurallar	<p>*Üretim planını ve ocak sınırını aynı anda optimize eder.</p> <p>*Ocak hacminin birim maliyete etkisi göz ardı edilmemiştir.</p> <p>*Her türlü operasyonel kısıtı içerir.</p>	<p>*Büyük ölçekli maden yataklarında uygulanamaz.</p> <p>*Optimal sonuç vermez.</p>
Sezgi Ötesi Yöntemler	Denby ve Schofield	1994	Genetik algoritma-lar	<p>*Üretim planını ve ocak sınırını aynı anda optimize eder.</p> <p>*Kabul edilebilir bir zaman diliminde iyi bir sonuç verir.</p>	<p>*Sonuç her adımda değişebilir.</p> <p>*Esnek bir yöntemdir.</p> <p>*Ocak hacminin birim maliyete etkisi göz ardı edilmiştir.</p>

Tablo 8: Stokastik model kullanılan çalışmalardan bazıları ve özellikleri

Model	Yazar	Yıl	Çözüm Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Deterministik Algoritmalarla Risk Analizi	Ravenscroft	1992	Koşullu benzetim ve deterministik çözüm algoritmaları	*Uzun vadeli üretim planlama problemlerinde tenör belirsizliğinin etkisini göstermiştir.	*Projenin riski ölçülememiştir. *Mevcut tenör belirsizliği ile optimal sonuca ulaşamamıştır.
Dinamik Programlama İle Risk Analizi	Dowd	1994	Koşullu benzetim ve Dinamik Programlama	*Projenin riskinin ölçülebilmesini sağlamıştır.	*Riskin kabulü ya da reddi konusunda bir kriter içermemektedir. *Tekrar eden benzetimleri kullanmak kullanışsız bulunmuştur.
Doğrusal Programlama	Dimitrakopoulos ve Ramazan	2003	Doğrusal amaç programlama	*Üretim evresinin başları için riski azaltıcı bir çizelge oluşturur. *Üretim	*Bazı blokları kısmen çizelgelemiştir. *Mevcut tenör belirsizliği ile maksimum net bugünkü değeri

				planlamada ekipman hareketliliğini ve bloğa ulaşılabilirliği incelemiştir.	oluşturamamıştır.
Karışık Tam Sayılı Programlama	Ramazan ve Dimitrakopoulos	2004	Doğrusal amaç programlama	*Net bugünkü değeri ekipman hareketliliği ve blok ulaşılabilirliği kapsamında maksimize etmiştir.	*Simüle edilmiş birçok çizelge modeli oluşturmak zaman alıcı ve maliyetlidir. *Büyük ölçekli alanlara uygulanması zordur.
Sezgi Ötesi Yöntemler	Denby ve Schofield	1995a,b	Genetik algoritmaları	*Riskli blokların sonlarda çıkarıldığı bir çizelge oluşturur. *Algoritma oldukça hızlı bir şekilde optimala yakın sonuç verir.	*Cevabın optimallığı garanti edilemez. *Algoritma tüm kazma ve işleme kısıtlarının sağlanacağını garanti edemez.

	Gody ve Dimitra- kopoulos	2003	Durum simülasyo- nu ve benzetilmiş tavlama	*Cevher kütlesindeki belirsizlik, atık yönetimi ve ekonomik ve madensel gereklilikleri bir arada incelemiştir. *Mevcut belirsizlikler altında bir tane üretim planlaması ortaya koyar	*Methodun uygulaması karmaşıktır. *çözümün optimalliği garanti edilemez. *Ekipman hareketliliği göz ardı edilmiştir.
--	---------------------------------	------	--	---	---

3.4 Maden Üretim Planlama ve Çizelgelemede Kullanılan Çözüm Yöntemleri ve Örnekleri

Açık ocak madenciliği üretim planlamasında deterministik ve ya stokastik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Deterministik ya da stokastik yaklaşımlar ile oluşturulan problemler karışık tam sayılı programlama, doğrusal programlama, sezgisel yöntemler gibi çeşit algoritmalar ile çözülmektedir. Bu bölümde literatürde yer alan çalışmaların bazılarında alınan deterministik ve stokastik yaklaşımla oluşturulan problemlerin çözümünde kullanılan çeşitli algoritmalarının örnekleri incelenmiştir.

3.4.1 Deterministik Yaklaşım

Deterministik yaklaşım ile yapılan maden üretim planlama ve çizelgeleri genellikle doğrusal programlama, karışık tam sayılı programlama ve dinamik programlama yöntemleri ile çözülmektedir. Genel itibariyle amaç fonksiyonları belirli bir süre için net bugünkü değeri maksimize ederken, kısıt olarak maden çıkarma kısıtı, cevher işleme kısıtı, eğim kısıtı (çıkarılış sırası kısıtı), geçerli tenör aralığı kısıtları bulunmaktadır.

3.4.1.1 Doğrusal Programlama

Johnson'ın (1969) çalışması maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinin çözümünde doğrusal programlama kullanılan ilk çalışma olduğu varsayılmaktadır. Bu çalışmada, maden ocağının T yıllık kârının net bugünkü değeri maksimize edilmiştir. Modelin ilk kısıtı, sağlanması istenen tenör aralıklarını göstermektedir, ikinci kısıt firmanın yıllık işleyebileceği cevher miktarını içermektedir, üçüncü kısıt firmanın yıllık yapabileceği üretim miktarı ile ilgilidir, dördüncü kısıt her bloğun yalnızca bir kere çıkabileceğini gösteren kısıttır ve son kısıt blokların çıkarılabilmesi için gereken eğim kısıttır. Bu çalışmada ve buna benzer maden üretim planlamada deterministik yaklaşımlı problemlerin çözümünde kullanılan doğrusal programlama modeli şu şekildedir;

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Maksimizasyon } Z = \sum_t^T \sum_m^M \sum_i^N c_i^{tm} * TB_i * x_i^{tm}$$

Kısıtlar;

$$G_{min}^{tm} \leq \sum_i^N g_i * TB_i * x_i^{tm} / \sum_i^N TB_i * x_i^{tm} \leq G_{max}^{tm}$$

$$PC_{max}^{tm} \leq \sum_i^N TB_i * x_i^{tm} \leq PC_{max}^{tm}$$

$$MC_{max}^{tm} \leq \sum_i^N TB_i * x_i^{tm} \leq MC_{max}^{tm}$$

$$\sum_t^T \sum_m^M x_i^{tm} = 1$$

$$\sum_m^M x_b^{tm} - \sum_r^t \sum_m^M x_i^{rm} \leq 0$$

$$0 \leq x_i^{tm} \leq 1$$

T = periyod sayısı

N = toplam blok sayısı

i = blok sayısı

C_i^{tm} = i bloğunun, t periyoddaki Net Bugünkü Değeri, m süreç tipiyle

x_i^{tm} = çıkarılacak i bloğunun ebatı, t periyodda, m süreç tipiyle

g_i = blok i 'nin ortalama tenörü

TB_i = blok i 'nin toplam tonu

G_{\max}^{tm} = m tip materyalin, t periyodunda maksimum ortalama tenör değeri

G_{\min}^{tm} = m tip materyalin, t periyodunda minimum ortalama tenör değeri

PC_{\max}^{tm} = m tip materyalin, maksimum işleme kapasite değeri

PC_{\min}^{tm} = m tip materyalin, minimum işleme kapasite değeri

MC_{\max}^t = maksimum maden çıkarma kapasitesi

MC_{\min}^t = minimum maden çıkarma kapasitesi

b = t periyodunda çıkarılacak bloğun indeksi

m = materyal ya da süreç tipi (atık=1, cevher=2, =M)

$l = l \in \Gamma_b$ için bir sayaç

Γ_b = b bloğunun çıkarılabilmesi için çıkması gereken blok grubu

Johnson(1969) çalışmasında optimal değil optimale yaklaşık bir planlama yapabilmış ve blokların bütün halinde çıkarılması durumlarına metodun olumsuz sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

3.4.1.2 Karışık Tam Sayılı Programlama

Gershon (1983) Karışık Tam Sayılı Programlama yöntemini kullanarak geliştirdiği çalışmasında öncül blokların tamamının çıkması durumunda blokların parçalı halde çıkmalarına izin verilmiştir. Bu çalışmadan Johnson'ın çalışması temel alınmıştır, farklılık olarak ise blokların çıkarılma oranları belirten 4 farklı karar değişkeni eklenmiştir.

$B_{ijk}(t)$ =eğer öncül bloklar t periyodunda tamamlanmamışsa 0, tamamlanmışsa 1

$X_{ijk}(t)$ = t periyodunda çıkarılan ijk bloğunun yüzdesi

$C_{ijk}(t)$ =t periyoduna başlarken bloğun kalanının yüzdesi

$D_{ijk}(t)$ = t periyoduna başlarken çıkarılan öncül blokların yüzdesi

Bu bilgiler ışığında aşağıdaki eğim kısıtlarını eklenmiştir;

$$B_{ijk}(t) + C_{ijk}(t) - C_{ijk}(t+1) - X_{ijk}(t) \geq 0$$

$$D_{ijk}(t) + \sum_{l=i-1}^{i+1} X_{l,m,k-1}(t) - D_{ijk}(t+1) - 9 * B_{ijk}(t) \geq 0$$

Apex-IV yazılımı ile çözülen bu model, LP yöntemiyle kıyaslandığında sağladığı avantaj, kısmi çıkarım olanağının var olması iken dezavantajı büyük ölçekli problemlerde kullanıma elverişli olmamasıdır.

Karışık tam sayılı programla yöntemi kullanılarak daha az değişkenle, optimal sonuca ulaşabilmek için birçok araştırmacı lagranj, kümeleme vb. metotları ile problemi esneterek yeni çalışmalar yapmışlardır.

Ramazan ve ark. (2005) kümeleme yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çalışmada yeni bir algoritma olan ve ‘‘Fundamental Tree Algorithm’’ olarak adlandırılan algoritmayla, KTP modeli istenen iki bileşenli değişken sayısını ve açık maden ocaklarının yıllık üretim planlamasında kullanılan kısıtların sayısının azaltılması amaçlanmaktadır. Algoritma yeni geliştirilen, doğrusal programlama modeli içermektedir. Kombine edilmiş blok grupları ‘‘Fundamental Tree’’ olarak adlandırılmıştır. Eğer kombine edilmiş bloklar: (i) eğim kısıtına uygun şekilde çıkartılmaktaysa, (ii) toplam ekonomik değerleri

pozitifse (iii) herhangi bir “Fundamental Tree (FT)” (i) ve (ii)’inci kısıtları ihlal etmeden daha küçük karar ağaçlarına ayrılışamıyorsa; optimizasyonda yer alan bütün “geri-itme” içerisindeki blokların “Fundamental Tree”ye ait oldukları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada LP modellerinin neden belirlenen nitelikler doğrultusunda Fundamental Trees (FTs) oluşturduğunu göstermektedir. Verilen maden yatağı için FTs oluşturulduktan sonra, yıllık maden üretim planlamasının uygulanabilmesi için; geleneksel olarak bilinen KTP modellerinden oluşturulan yeni bir KTP modeli kullanılmaktadır.

Ramazan ve Dimitrakopoulos’un (2004) çalışmalarında geleneksel karışık tam sayılı programlama modeli olarak belirttikleri model şu şekildedir;

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Maksimizasyon } Z = \sum_t^p \sum_i^n c_i^t * x_i^t$$

Kısıtlar;

$$mx_k^t - \sum_l \sum_{r=1}^t x_l^r \leq 0$$

$$\sum_{t=1}^p x_i^t = 1$$

$$\sum_{i=1}^n (g_i - G_{max}) * O_i * x_i^t \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^n (g_i - G_{min}) * O_i * x_i^t \geq 0$$

$$\sum_i^n O_i * x_i^t \leq PC_{max}$$

$$\sum_i^n O_i * x_i^t \geq PC_{min}$$

$$\sum_i^n (O_i + W_i) * x_i^t \leq MC_{max}$$

$$\sum_i^n (O_i + W_i) * x_i^t \geq MC_{min}$$

p = periyod sayısı

n = toplam blok sayısı

i = blok sayısı

c_i^t = i bloğunun, t periyoddaki Net Bugünkü Değeri, m süreç tipiyle

x_i^t = i bloğu t periyodunda çıkmışsa 1 çıkmamışsa 0 değerini alan karar değişkeni

g_i = blok i 'nin ortalama tenörü

O_i = blok i'nin toplam tonu

G_{max} = maksimum ortalama tenör değeri

G_{min} = minimum ortalama tenör değeri

PC_{max} = m tip materyalin, maksimum işleme kapasite değeri

PC_{min} = m tip materyalin, minimum işleme kapasite değeri

MC_{max} = maksimum maden çıkarma kapasitesi

MC_{min}^t = minimum maden çıkarma kapasitesi

k = t periyodunda çıkarılacak bloğun indeksi

m = k bloğunun üzerindeki toplam blok sayısı

l = m sayıdaki örten bloklar için sayaç

3.4.1.3 Tam Sayılı Programlama

Açık ocak madenciliği üretim planlamasında literatürde birçok araştırmacının tam sayılı programlama tekniğini kullandığı görülmektedir (Lerchs ve Grossman, 1960, Caccetta ve Hill, 2003). Genel hatlarıyla model şu şekildedir;

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Maksimizasyon } Z = \sum_i^T C_i * X_i$$

Kısıtlar;

Çıkarma ve öğütme kısıtı;

$$\sum_i^T A_i * X_i \leq B_i$$

Sıra kısıtı;

$$EX_1 \leq 0$$

$$EX_1 + EX_2 \leq 0$$

$$EX_1 + EX_2 \dots \dots EX_i \leq 0$$

Rezerv kısıtı;

$$\sum_{i=1}^t x_i^t = 1 \forall i$$

Ve

$$X_i^t = \{0,1\} \forall i, \forall t$$

Bu tip iki bileşenli TP formülleri çok sayıda 0-1 değişkeni içermektedir. Bu nedenle birçok araştırmacı lagranj ile esnetilmiş, kümeleme, dal ve kesim gibi yaklaşımlarla yeni çözümler geliştirmişlerdir.

T = periyod sayısı

N = toplam blok sayısı

K = bir periyoddaki çıkarma ve öğütme kısıtları sayısı

R = örten blok sayısı

X_t = N değişkenli x_i^t nin sütun vektörü

C_t = Net bugünkü değer

A_t = t periyodundaki çıkarma ve öğütme kısıtlarının katsayılarının $K*N$ 'lik matrisi

b_t = çıkarma ve öğütme kısıtlarının eşitsizliklerinin sağ tarafındaki değerler

E = sıra kısıtları için $-1,0,1$ değerlerini alan (N, R) değerleri

3.4.1.4 Dinamik Programlama

Bu çözüm tekniğinde temel problem optimal sonuç bulunması mümkün olan küçük problemlere ayrılır. 1957 yılında ilk olarak Bellman tarafından geliştirilen bu yöntemde, temel amaç tüm olasılıkları araştırıp optimal olanını seçmektir.

Tolwinski (1998) ve Tolwinski ve Golosinski (1995) dinamik programlamanın derinliği arama tekniğini temel alarak bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde öncelikle nihai ocak sınırı Lerchs-Grossman algoritması ile belirlenir. Lerchs-Grossman algoritması ile belirlenen iç içe geçmiş ocaklar sıralanır, nihai sınırlar içindeki her blok için geri-izleme değeri hesaplanır, optimal maden çıkarma sırası belirlenir, operasyonel kısıtlarla uyuşan geri itmeler belirlenir ve atom adı verilen parçalar elde edilir. Optimizasyon amacı ve kısıtları hedef değişkenler olarak tanımlanan blok tonajı, cevher tonajı, tenör gibi değerleri içeren blok simgelerinin fonksiyonudur. Hedef değişkenleri aşağıdaki biçimde gösterilebilmektedir.

$$TV = \frac{\sum_i^n c_i * a_i}{\sum_i^n d_i * a_i} \text{ or } TV = \sum_i^n c_i * a_i$$

n = Blok simge sayısı

a_1, a_2, \dots, a_n = Simge değişkenleri

$c_1, c_2, \dots, c_n, d_1, d_2, \dots, d_n$ = Kullanıcı tarafından belirlenen katsayılar.

Simgelerin çıktılarının oranları doğrultusunda oluşan zaman akışı da şu şekildedir;

$$t = \sum_i^n (k_i * a_i) / o_i$$

o_1, o_2, \dots, o_n = Kullanıcı tarafından belirlenen çıktı oranları

k_1, k_2, \dots, k_n = Kullanıcı tarafından belirlenen 0 ya da 1 değerlerini alan katsayılar.

Bu yöntemin sağladığı avantajlardan bazıları, yüksek oranda uygulanabilirliğinin olması ve yöntemde geçen atom ve geri itme sayılarının kontrol edilebilirliği büyük ölçekli alanlarda kullanılabilirliğidir.

3.4.1.5 Sezgisel Yöntemler

Denby ve Schofield (1994) ve Denby ve ark. (1998) çalışmalarında açık ocak maden üretimi planlama problemlerini genetik algoritmalarla çözmüşlerdir. Osanloo (2008) çalışmasında Denby'nin kullandığı genetik algoritmaların adımlarını şu şekilde özetlemiştir.

- Popülasyon büyüklüğü 20-50 arası olan rastgele ocak kuşakları oluşturulur.
- Sonuç üretmeye uygun olan fonksiyonu belirlenir.
- Olasılıksal teknikler kullanılarak ocak popülasyonunu yeniden üretilir.
- Ocakları atlatma, %40-%60 arası olan çizelgeler atlatılır.
- Olasılığı %1 ile 5 arasında olan ocaklar dönüştürülür.
- Çıkarım kısıtlarının ihlal edilmediğinden emin olmak için ocaklar düzenlenir.
- Bireysel çizelgelerin uyumluluğunu arttırmak için ocakların lokal optimizasyonu yapılır.
- Kuşaklarda daha iyi bir sonuç elde edilmeye başlandığında süreç durdurulur

3.4.2 Stokastik Yaklaşımlar

Maden üretim planlama ve çizelgeleme problemleri bir ya da daha fazla belirsiz değişken içerdiğinde stokastik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu tarz problemlerin

çözüm yöntemi olarak yaygın olarak doğrusal programlama, dinamik programlama, karışık tam sayılı programlama ve sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

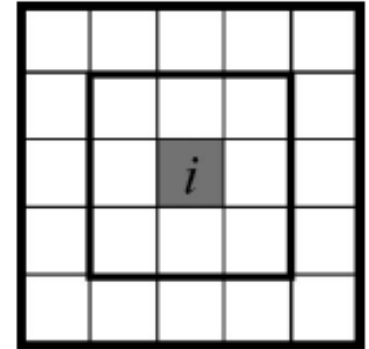
3.4.2.1 Benzetim

Maden üretimi planlamada tenör belirsizliğine ilk dikkat çekenlerden biri Ravenscroft'tır. 1992 yılında yaptığı çalışmasında yazar jeostatistiksel bir teknik olan koşullu benzetim yöntemini temel almıştır. Bu benzetim tekniğinin amacı, cevher kütlesinin durumu hakkında alternatif senaryolar üretmektir.

Esasında maden üretimi planlama problemlerinde belirsizliklerin göz önünde bulundurulduğu çözüm yöntemlerinde benzetim sıklıkla kullanılmıştır. Birçok yazar doğrusal, karışık tam sayılı ya da dinamik programlama yöntemlerini kullanırlarken simüle edilmiş cevher kütlelerinden yararlanarak belirsizliği dikkate almışlardır.

3.4.2.2 Doğrusal Programlama

2003 yılında Dimitrakopoulos ve Ramazan tarafından yapılan çalışmada tenör belirsizliği ve ekipman hareketliliği kısıt olarak formüle edilmiştir. Çalışmada simüle edilmiş cevher kütleleri için blokların beklenen tenör değerleri ve farklı tenör elemanları için olasılıklar hesaplanmıştır. Beklenen blok tenörleri ve olasılıklar ekipman kısıtı ile birleştirilmiştir. Bu sayede çıkarılması daha müsait olanlara öncelik verilmesinin olanağı sağlanmıştır.



Şekil 3: İki boyutlu blok gösterimi

Çalışmada bloklar iç içe geçirilmiş pencereler halinde incelenmiştir. Eğer iç penceredeki tüm bloklar çıkarılmazsa, çıkarılamayan blok tonaj derivasyon yüzdesi olarak tanımlanmış ve Y_{2i}^t olarak, buna bağlı maliyet ise C_2 olarak sembolize edilmiştir. Dış penceredeki çıkarılacak bloklar ise Y_{3i}^t olarak, buna bağlı maliyet ise C_3 olarak

belirtilmiştir. Bu sayede i bloğu çıkarılacaksa ondan sonra iç penceredekilerin çıkarılması cazip hale getirilmiştir.

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Maksimizasyon } Z = \sum_{t=1}^T [C_1^t * Y_1^t + (\sum_{i=1}^N C_2 * Y_{2i}^t + C_3 * Y_{3i}^t)]$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^N (P_i - 100.0) * OT_i^t + Y_1^t * (1/TO) = 0$$

$$- \sum_{i=1}^{Nb1} K1_i * OT_i^t + K2_i * OT_i^t - Y2_i^t \leq 0$$

$$- \sum_{i=1}^{Nb2} K1_i * OT_i^t + K2_i * OT_i^t - Y3_i^t \leq 0$$

Model standart doğrusal programlama kısıtlarına ek olarak, aşağıdaki kısıtları içermektedir.

3.4.2.3 Karışık Tam Sayılı Programlama

Dimitrakopoulos ve Ramazan (2004) tenör belirsizliği barındıran çalışmalarında, simülize edilmiş cevher kütleleri için geleneksel “Karışık Tam Sayılı Programlama” yöntemini uygulamıştır. Geleneksel yönteme ek olarak amaç fonksiyonuna düzgünleştirilmiş blok değişkenleri eklenmiştir.

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Maksimize } Z = \sum_{t=1}^T [\sum_{n=1}^N (v_n^t * p_n^t * x_n^t) - \sum_{m=1}^M w * d_m^t]$$

Kısıtlar;

Maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinde geleneksel olarak kullanılan karışık tam sayılı programlama kısıtları ile aynıdır.

T = periyod sayısı

N = toplam blok sayısı

v_n^t = n bloğunun i periyoddaki Net Bugünkü Değeri

p_n^t = n bloğunun i periyodunda çıkarılma olasılığı

x_n^t = eğer n bloğu i periyodunda çıkarılırsa 1, çıkarılmazsa 0 değerini alan karar değişkeni

w = düzgünleştirilmiş plan yapısı oluşumu ile ilgili birim sapma maliyeti

d_m^t = m bloğu çıkarılırken düzgünleştirilmiş plan yapısından sapma

M = düzgünleştirilmiş toplam blok sayısı

3.4.2.4 Dinamik Programlama

Dowd (1994) yılında açık ocak madenciliğinde risk faktörünü içeren bir çalışma ile stokastik literatüre katkıda bulunmuştur. Bu çalışma da satış fiyatı, çıkarma maliyeti, işleme maliyeti, cevherin tenörü, tonajı gibi bazı değişkenler, önceden belirlenmiş dağılımdan yararlanılarak, stokastik olarak belirlenmiştir. M tane simüle edilmiş cevher kütlesi ve N tane stokastik olarak belirlenen değişkenlerin oluşturduğu kombinasyon, kullanılarak her bir model için nihai ocak sınır belirlenir ve bu optimal ocak sınırları dinamik programlama ile planlanır.

3.4.2.5 Sezgisel Yöntemler

Busnach ve ark. (1985), bir fosfat madeni için üretim planlama üzerine yaptıkları çalışmalarında uygunlaştırılmış yerel arama sezgisel yaklaşımını kullanmışlar ve sayısal bir örneklerle geçerliliğini göstermişlerdir. Model, her bir alt tabakanın derin ya da sığ kazılarla çıkarılmasını sağlayarak, net bugünkü değeri maksimize etmeyi amaçlar. Modelde bir periyotta bir alt tabakanın çıkarılması esas alınmıştır.

4. Bölüm

UYGULAMA

4.1 Giriş

Türkiye maden zenginlikleri bakımından dünyanın önde gelen ülkelerinden birisidir. Buna rağmen, eksik yer altı bilgisi ya da başarısız üretim planlamaları gibi nedenler yüzünden birçok maden rezervi beklenen getiriye sağlayamadığı için işletilmesi durdurulmakta ya da zarar edildiği için son verilmektedir. Bu duruma özellikle sektördeki küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde rastlanılmaktadır. Yeterli yeraltı çalışmaları yapılmadığı ve genellikle üretim planlaması yerine tecrübeli addedilen kişinin direktifleri doğrultusunda üretim işlemi gerçekleştirildiği için başarısızlığa uğramış birçok işletme bulunmaktadır. Orta düzey bir maden işletmesinde, maden rezervinin var olduğu düşünülen alanla ilgili yasal gerekliliklerin yerine getirilip, maden ruhsatına sahip olunur. Ardından, üretimin açık ocak işletmeciliği şeklinde mi yeraltı işletmesi şeklinde mi yapılacağına kararını vermek ve madenin rezerv, kalite ve yayılım bilgilerine ulaşmak amacıyla; öncelikle mostra denilen yüzeyde görünen maden incelenir ve bu alanda yarma işlemi denilen numune çıkarma yapılır. Buradan elde edilen bilgiler ile topografik ve jeolojik haritalar incelenir ve yüzeysel prospeksiyon yapılarak madenin oluşmuş olabileceği alanlar belirlenir. Sonrasında gravimetrik ya da manyetik analizler veya jeofizik çalışmaları yapılır. Yaygın olarak yapılan jeofizik çalışmada yeraltına elektrik akımı verilerek kayaçların öz dirençleri belirlenir ve bu öz dirençlere göre kayacın cinsi ortaya çıkarılır. Haritalar ve küçük araştırmalar sonucu madenin varlığına inanılan yere karot sondajı yapılır ve kesitler halinde madenler çıkartılan madenler analiz edilerek cevherin kalitesi (tenörü) öğrenilir ve yayılımına ait harita bazı teknik tahminlemeler yapılarak oluşturulur. Maden rezervi ve örtü toprağın kalınlığı bilgileri ile firmanın imkânları doğrultusunda işletmenin açık ocakçılık mı yeraltı madenciliği mi olacağına karar verilir. Ardından yeraltındaki cevhere ait gerekli bilgilerin sağlanmasının ardından madenin ömrünü belirleyip, kazı işlemine nereden başlayıp ne yöne doğru devam edileceği ve nerede bitirileceğine dair üretim planlama işleminin yapılması gerekmektedir.

Pratikte birçok işletme bu tarz uzun vadeli bir planlama yerine daha kısa vadeli üretim planlaması yapmaktadır. Genellikle işletmeler kısa vadeli üretim planlarını iki faktöre göre yapmaktadırlar; cevherin yüzeye yakınlığı ya da cevherin kalitesinin yüksekliği. Bu faktörlere göre yapılan planlamalarda ya üretime cevher kütlesinin yüzeye daha yakın olduğu varsayılan kısımdan ya da cevher kütlesinde en yüksek tenör değerine sahip olduğu varsayılan kısımdan başlanılmaktadır. Fakat bu şekilde yapılan kısa vadeli üretim planları firmalarda verimsizliğe yol açtığı düşünülmektedir..

4.2 Problem Tanımı

Açık ocak madenciliği, yaygın olarak kullanılan bir maden üretim yöntemidir. Kısaca tanımlamak gerekirse, açık ocak madenciliği, maden rezervini üzerindeki örtü tabakasını alarak çıkarma işlemidir. Açık ocak madenciliğinin avantajları ve dezavantajları sıralamak gerekirse;

- Başlıca avantajları; üretim esnasında düşük cevher kaybı ve hızlı üretim sağlamaktadır, yeraltı madenciliği ile kıyaslandığında vardiya ve adam başına üretim oranı daha yüksektir, çalışma koşulları daha iyidir.
- Başlıca dezavantajları ise; fazla miktarda örtü tabakası olabilir, yüksek ilk yatırım maliyeti içerebilir ve iklim şartlarından etkilenmektedir.

Açık ocak madenciliği yapacak olan bir işletmenin, ilgili yönetmeliklerde belirtilen, sahip olması gereken altyapı kıstasları vardır. Bunlardan bazıları; madencilik faaliyetleri için zorunlu ve temdit dâhil ruhsat süresi ile sınırlı olan yol, su, haberleşme, maden stok alanı, pasa döküm alanıdır (Resmi Gazate, 27715.sayı). Ana hatlarıyla bir açık ocak madenciliğindeki işlemler; örtü toprağının kazılıp pasa döküm alanına boşaltılması, maden cevherinin kazılıp çıkartılıp maden stok sahasına istiflenmesi ve bu stok sahasından işlenmek üzere tesise gönderilmesi ya da direk olarak o alandan satışa sunulmasıdır.

Kısa vadeli üretim planlaması yapan işletmelerin en çok karşılaştığı sorunlardan biri, pasa döküm alanının kısa vadeli plana göre seçilmesi ve ileride döküm sahası olarak kullanılan alanın altındaki madenin çıkarılabileceği ihtimalinin göz ardı edilmesi. Kısa vadeli üretim planlaması yapan birçok firma bu sorunla karşılaşmaktadır. Bu da pasa

döküm sahasının altındaki madenin çıkarılabilmesi için ekstra enerji, zaman vb. harcanmasına neden olmaktadır. İşletmenin bu tarz bir verimsizlikle karşı karşıya kalmaması için uzun vadeli üretim planlamasına ihtiyacı vardır. Bu sayede optimal rezerv sınırları içinde ne zaman nereye kazacağını bilir ve ona göre pasa döküm alanı belirler.

Kısa vadeli üretim planlarının meydana getirdiği bir diğer verimsizlik ise standart bir üretim miktarı belirlenememesidir. Başlanılan yerde cevherin miktarının az olması, örtü toprağının fazla olması gibi durumlar yüzünden her yıl istenilen/belirlenen üretim miktarına ulaşamayabilir.

Atık problemi ve üretimde standardın olmaması, kısa vadeli üretim planlarının neden olduğu sorunlardan sadece bazılarıdır. Bu ve daha birçok sorundan kaçınmak için firmalar uzun vadeli üretim planlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Başarılı bir uzun vadeli üretim planlaması firmalar için arzu edilen süre için -olağandışı durumlar hariç- yol haritası çizmektedir. Bu da firmaya daha başarılı bir geleceğe sahip olma imkânı sağlamaktadır.

Bir maden ocağı için biçilen ömür kapsamında üretime nereden başlanıp ne yöne devam edeceği ve bu doğrultuda elde edilecek yaklaşık karı bilmek firmaya önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu sayede pasa döküm alanını değiştirmek zorunda kalmayan, her yıl yaklaşık olarak ne kadar üretim yapacağını ve ne kadar kar elde edeceğini bilen daha verimli çalışan bir işletme ortaya çıkmaktadır.

4.3 Firma Hakkında Bilgi

Bu tez çalışmasında kömür madenine sahip, üretim planlamalarını 1-2 aylık gibi kısa vadeli olarak yapan bir firmanın, ilgili maden ocağına ait uzun vadeli üretim planlaması yapılması planlanmıştır. Bu sayede firmanın yıllardır yaptığı düzensiz ve verimsiz üretim sisteminden kurtulup başarılı bir üretim planlaması ile çalışması hedeflenmiştir.

Uygulama için seçilen firma, Kar Maden, 1985 yılından bu yana madencilik faaliyetlerinde bulunmaktadır. Kurucusu olan Mehmet Ali Karaöz, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümünden 1984 yılında mezun olmuş ve

memleketi olan Muğla'ya dönerek burada madencilik hayatına atılmıştır. Firma misyon olarak, “Muğla yöresinin yeraltı zenginliklerini yöre halkına en faydalı olacak şekilde ve azami ölçüde çevre hassasiyeti gözeterek işletmeyi” benimsemiştir. Geçmişten bugüne kadar kömür, feldspat, kuvars, mermer gibi birçok madencilik faaliyetleri yürütmüş olan Kar Maden, günümüzde tamamıyla kendine ait sahalarda Muğla Beyazı Mermer Ocak ve Fabrika üretimi, Kömür Ocağı, Manganez Cevheri üretimi ve Demir Cevheri işletmeciliği gerçekleştirmektedir. Değişken piyasa talepleri ve yoğun rekabet şartları ile mücadelede Arama ve Geliştirme kilit bir rol oynadığına inanan firma, mevcut işletmelerini en verimli şekilde işletmek için ve yeni rezervler geliştirmede, son teknolojiyi tecrübe ile harmanlamış bir Ar-Ge ekibine sahiptir.

20 yılı aşkın zamandır madencilik sektöründe faaliyetlerini sürdüren firma, Muğla ili, Merkez ilçesi, Akçaova köyü merdivenli mevkiinde sahip oldukları kömür rezervini açık ocak madenciliği ile üretilen kalitesine göre ev ve ya sanayi yakıtı olarak kullanmaktadırlar. Fakat kısa vadeli planlarla ya da plansız üretimi benimsediği için yukarıda da belirtilen, sektördeki birçok orta ölçekli maden işletmesinin karşılaştığı, sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu kömür ocağına uygulanan tez çalışması ile mevcut kısa vadeli üretim planları ve bunun getirdiği verimsizliği engellemek adına, başarılı bir uzun vadeli üretim planı hazırlanması öngörülmüştür.

4.4 Kömür Ocağı ve Cevher Hakkında Bilgi

Uygulama için gereken, firma ve maden yatağı ile ilgili bilgiler firmanın hazırlamış olduğu “İşletme Raporu”nda yer almaktadır. Çalışma için gereken maliyetler, satış fiyatı, ekipman gibi veriler rapordan alınmıştır.

- **Koordinatları;**

Tablo 9: Ocağın koordinat bilgileri

	1.Nokta	2.Nokta	3.Nokta	4.Nokta	5.Nokta	6.Nokta
Sağa(Y)	0611000	0612000	0614000	0614000	0612000	0611000
Yukarı(X)	4124000	4124000	4124000	4122541	4123225	4123567

Toplam Alan : 283.80-Hektar

- **Alt Yapı Durumu;** Ruhsat sahasına ulaşım yaz-kış ulaşımına açık devlet karayolundan sağlanmaktadır. Ocakta ENH ve trafo tesisi mevcuttur. İşletmede içme kullanma suyu köy içme suyu şebekesinden karşılanmaktadır. Sahada yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı bir iklim sürmektedir. Civardan kalifiye ocak işçisi temin etmek mümkündür. Ocakta alt yapı bakımından her hangi bir sorun bulunmamaktadır.
- **İstihdam Durumu;** İşletme döneminde ocakta çalıştırılacak personel durumu Tablo 10 de çıkarılmıştır.

Tablo 10: Personel ve maliyet tablosu

Unvan	Adet	Çalışma Süresi(Ay)	Aylık Brüt Ücret (TL)	Yıllık Tutar (TL)
Tek.Nez.(Mad.Müh)	1	12	600,00	7200,00
Eksk. Operatörü	2	8	1000,00	16000,00
Şoför	2	4	1000,00	8000,00
Ocak İşçisi	4	8	800,00	25600,00
Bekçi	1	12	600,00	7200,00
Toplam	10			64000,00

- **Arazi Mülkiyeti, Araziden Faydalanma Durumu;** Proje konusu saha 13 yıllık İR-Ruhsatlı çalışan saha olup açık işletme yapılacak arazini bir kısmı ormana ait diğer kısımlarında tapulu arazilerdir. Ormanlık alanlardan orman izni alınarak tapulu alanlar ise satın alınmak suretiyle çalışma yapılacaktır.
- **Üretim İçin Alınacak İzinler;** Saha İR Ruhsatlı olup halen işletme faaliyeti devam etmektedir. İşletme için gerekli izinler önceki zamanlarda alınmış bulunmaktadır.
- **Üretimde Kullanılan İş Makineleri ve Kapasiteleri;**
Paletli Beko Tipi Hidrolik Ekskavator;
Adedi : 1

Kepçe Hacmi	: 1,5 m ³
Çalışma Ağırlığı	: 30 Ton
Motor Gücü	: 200 Hp
Yükleme Kapasitesi	: 100 m ³ / h

Paletli Yükleyici;

Adedi	: 1
Kepçe Hacmi	: 3 m ³
Çalışma Ağırlığı	: 25 Ton
Motor Gücü	: 200 Hp
Yükleme Kapasitesi	: 100 m ³ / h

Delik Makinesi;

Adedi	: 1
Delik Çapı	: 10 cm
Delme Kapasitesi	: 10 m/h

Kaya Damperli Kamyon;

Adedi	: 3
Taşıma Kapasitesi	: 8 m ³

- **Ocakta Kurulacak Tesisler;** Ocakta halen kriblaj tesisi, torbalama tesisi, trafo, kantar, ocak yazıhanesi, işçi yatakhane bulunmaktadı.

- Ocak yazıhanesi (50-m²)
- İşçi yemekhanesi ve banyo tesisi
- ENH ve trafo tesisi
- Kantar

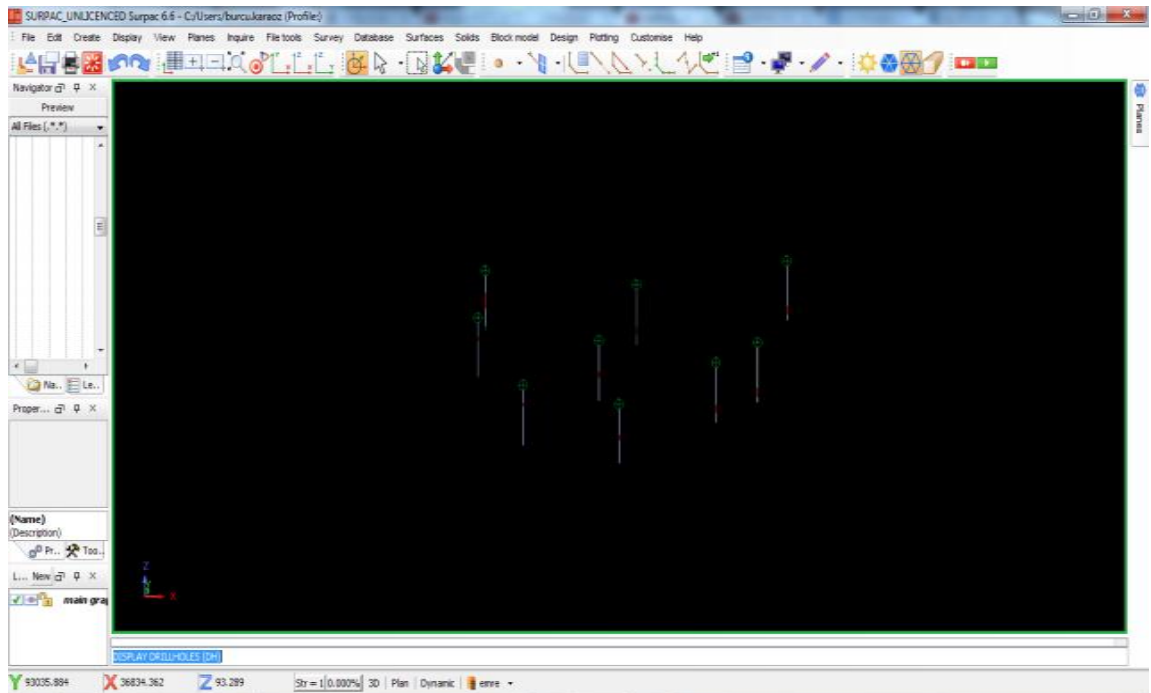
Ocakta kömür yıkama tesisi de düşünülmektedir. Ancak bu projeye dahil edilmemiştir.

- **Tesislerle İlgili Bilgiler;** Ocakta bulunan tesisler;
 - Kömür kırma, eleme, torbalama tesisi (10-Ton/Saat)
 - Kantar (40-Tonluk)
 - Ocak yazıhanesi
 - İşçi Koğuşu

- Trafo tesisi
- Tamir Bakım Atölyesi
- **Çevre ile Uyum Planı;** Ocak içinde kömürü alınan kısımlar iç döküm yapılmak suretiyle doldurulacaktır. Doldurma ve düzeltme işlemi biten alanlar ağaçlandırılacaktır. Bu şekilde bu alanlar çevre ile uyumlu hale getirilecektir.
- **İşletmenin Giderleri;** patlayıcı madde, akaryakıt ve yağ, elektrik, yedek parça, bakım onarım, amortisman, personel ve işçilik, genel yönetim, beklenmeyen giderler işletmenin başlıca giderleridir.

4.4.1 Cevher Hakkında Bilgi

İşletme, cevherin var olduğu varsayılan koordinatlara uygun bir şekilde ruhsatını ve yasal izinlerini almıştır. Sonrasında maden rezervinin ve kalitesinin anlaşılabilmesi için sondaj yapılmıştır. Sondaj, kayaları parçalamak ya da delikte kesikler açmak gibi belirli prensiplerle yürütülen sondalama işlemidir. Bu delme işlemi sırasında delinen alanla ilgili numuneler toplanır ve buna göre yerin altındaki oluşumlar hakkında bilgi sahibi olunur. İşletme her biri 100 metrelik kesitler halinde 9 adet sondaj yapmış ve kalınlıkları 6 ile 15 metre arasında değişen cevher kesitlerine ulaşmıştır.




Şekil 4: Sondaj bilgilerinin modellenmesi

Üst Sistem		Sistem		Seri		Simge		Kalınlık(m)		Açıklamalar	
SENOZOYİK	Tersiyer	Kuvartner	Pleyistosen-Holosen	Qal	2		Güncel alüvyal çökeller				
				Qkm	8		Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltaşı(Akarsu), Çakıltaşı ve Kumtaşı				
	Plkçt	6	Tatlı su karbonat kayaları								
	Plk	9	Tavan kil ve mamı								
		3	1 metre kömür ile karışık killi toprak								
	Plg	8	Kömür								
	Plm	30	Balçık Silt- Marn Ardalanması								
		33	Kireç taşı								

Şekil 5: Birinci sondaj (B1) ; 28-36. metreler arasında 8 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

SENZOYİK		Üst Sistem		Açıklamalar	
Tersiyer		Kuvartner			
Pliyosen		Pleyistosen-Holosen			
Plm	Plg	Plkçt	Qkm	Qal	Simge
29	8	4	8	2	Kalınlık(m)
28					
					Güncel alüvyal çökeller
					Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltaşı(Akarsu), Çakıltaşı ve Kumtaşı
					Tatlı su karbonat kayaları
					Tavan kil ve mamı
					1 metre kömür ile karışık lilli toprak
					Kömür
					Balçık Silt- Marn Ardalanması
					Kireç taşı

Şekil 6: İkinci sondaj (B2) ; 22-30. Metreler arası 8 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

Üst Sistem		Sistem		Seri		Simgesi		Kalınlık(m)		Açıklamalar	
SENOZOYİK	Tersiyer	Kuvaterner		Pleyistosen-Holosen		Qal	2			Güncel alüvyal çökeller	
		Pliyosen		Qkm	8	Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltası(Akarsu), Çakıltası ve Kumtaşı					
			Plkçt	4	Tatlı su karbonat kayaları						
			Plk	5	Tavan kil ve mamı						
				2	1 metre kömür ile karışık killi toprak						
			Plg	6	Kömür						
			Plm	30	Balçık Silt- Marn Ardalanması						
				33	Kireç taşı						

Şekil 7 : Üçüncü sondaj (B3) ; 21-27. Metreler arası 6 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

SENZOYİK		Üst Sistem		Açıklamalar	
Tersiyer		Kuvartner		Sistem	
Pliyosen		Pleyiestosen-Holosen		Seri	
Plm		Qkm		Simge	
16		15		Kalınlık(m)	
Plg		Qal			
14		8			
5					
Plkçt					
14					
Plk					
18					
				Güncel alüvyal çökeller	
				Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltaşı(Akarsu), Çakıltaşı ve Kumtaşı	
				Tatlı su karbonat kayaları	
				Tavan kil ve mamı	
				1 metre kömür ile karışık killi toprak	
				Kömür	
				Balçık Silt- Marn Ar dalanması	
				Kireç taşı	


Şekil 9: Beşinci sondaj (B5) ; 60-74. Metreler arası 14 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

SENOZOYİK		Üst Sistem		Açıklamalar	
Tersiyer		Kuvartner		Sistem	
Pliyosen		Pleyistosen-Holosen		Seri	
Plm		Qkm		Simge	
Plg		Plkçt		Kalınlık(m)	
Plk		Qal			
16	22	10	10	7	Güncel alüvyal çökeller
					Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltaşı(Akarsu), Çakıltaşı ve Kumtaşı
					Tatlı su karbonat kayaları
					Tavan kil ve mamı
					1 metre kömür ile karışık killi toprak
					Kömür
					Balçık Silt- Marn Ar dalanması
					Kireç taşı

Şekil 11: Yedinci sondaj (B7) ; 42-52. Metreler arası 10 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

SENOZOYİK		Üst Sistem			Açıklamalar
Tersiyer	Kuvarterner	Sistem	Seri	Simge	
		Pleyiestosen-Holosen	Qal	8	Güncel alüvyal çökeller
			Qkm	14	Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltaşı(Akarsu), Çakıltaşı ve Kumtaşı
		Pliyosen	Plkçt	13	Tatlı su karbonat kayaları
			Plk	20	Tavan kil ve mamı
				5	1 metre kömür ile karışık killi toprak
			Plg	14	Kömür
			Plm	16	Balçık Silt- Marn Ardalanması
					Kireç taşı

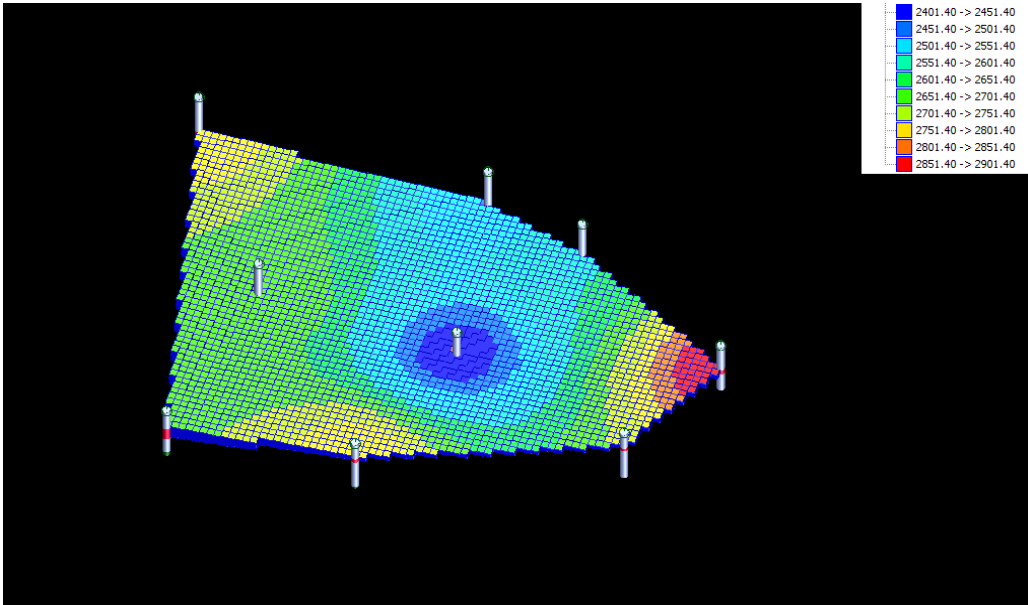
Şekil 12: Sekizinci sondaj (B8) ; 60-74. Metreler arası 14 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

Üst Sistem		Sistem		Seri		Simge		Kalınlık(m)		Açıklamalar	
SENOZOYİK	Tersiyer	Kuvarterner	Pleyiestosen-Holosen		Qal	9		Güncel alüvyal çökeller		Eski akarsu çökelleri; Konglomeratik yelpaze çökelleri, Kumtaşı ve çakıltaşı(Akarsu), Çakıltaşı ve Kumtaşı	
			Pliyosen	Qkm	12	Tatlı su karbonat kayaları					
	Plkçt	18		Tavan kil ve mamı							
	Plk	23		1 metre kömür ile karışık killi toprak							
	Plg	4		Kömür							
	Plm	15		Balçık Silt- Marn Ardalanması							
	9			Kireç taşı							

Şekil 13: Dokuzuncu sondaj (B9) ; 66-81. Metreler arası 15 metrelik kömür cevherine rastlanmıştır.

Sondaj çalışması sonucunda bölgedeki cevherin yayılımı ve kalınlığı belirlenebilir hala gelmiştir. Çıkan kömür numuneleri analizlerinin yapılması için laboratuvarlara gönderilmiş ve sonucunda ocaktaki kömürün kalori değeri aralığı 2400kcal ile 2900kcal

arasında çıkmıştır. Elde edilen kömür kalınlıkları ve tenör bilgileri, Surpac programı ile modellenmiş ve cevherin üç boyutlu haritası çizilmiştir. Sondaj noktaları arasında kalan cevherin yayılımının ve tenör değerinin tahminlenmesi amacıyla –ters uzaklık- yöntemi adı verilen kestirim yöntemi kullanılmıştır. Şekil 14’de cevherin yayılımı ve kalitesi ile ilgili bilgiler görülebilmektedir.



Şekil 14: Cevherin yayılımı ve tenör değerleri

İlgili kömür rezervi için her biri 10m*10m*10m değerinde olan 20503 bloktan oluşan bir model oluşturulmuştur. Bu harita da her blok için tahminlenen kömür kalori değeri gösterilmektedir. Haritadaki mavi bölgeler 2400kcal ile 2550kcal arası değerleri temsil ederken, yeşil bölgeler 2550kcal ile 2750kcal arası değerleri, sarı bölgeler 2750kcal ile 2800kcal arası değerleri, turuncu bölgeler 2800kcal ile 2850kcal arası değerleri ve kırmızı bölgeler 2850kcal ile 2900kcal arası değerleri temsil etmektedir. İşletme sahip olduğu kömür kalori değerlerini gruplandırıp, piyasaya üç farklı kalite kömür sunmaktadır. Bunlar;

- 1.Kalite - 2900kcal – 2701kcal arası
- 2.Kalite – 2700kcal – 2501kcal arası
- 3.Kalite – 2500kcal – 2400kcal arası

Modelde 16252 adet dekapaj bloğu, 720 adet 1.kalite kömür bloğu, 2213 adet 2.kalite kömür bloğu ve 1318 adet 3.kalite kömür bloğu bulunmaktadır.

Ocakta rezerv hesaplama yöntemi olarak aşağıdaki hesaplama yöntemi uygulanmıştır. (Formülde ortalama kalınlık miktarı kabul edilmiştir.)

<u>Rezerv Alanı</u>		<u>Kalınlık</u>		<u>Öz.Ağır</u>		<u>Jeolojik Emsal</u>		<u>Rezerv Miktarı</u>
295000m ²	*	12m	*	1,2 t/m ³	*	0,9	=	3823000 ton

<u>Görünür Rezerv Miktarı</u>		<u>İşletme Zayıt Emsali</u>		<u>Üretilebilir Gön.Rez.Mik</u>
3823000 ton	*	0,85	=	3250000 ton

İşletme yukarıda yer alan sondaj logları ile örtü kazı toprağını 15812000m³ olarak belirlemiş ve kömür madeninin çok derinde olmadığı ve dekupaj miktarının katlanılabilir olduğu bilgisini almıştır. Açık ocak madenciliğinde kabul edilen maksimum örtü kazı oranı 1/7'dir. Bunun anlamı; 1ton cevher elde edebilmek için 7m³ örtü kazısı yapmak makuldür. Bu ocak için ortalama örtü kazı oranı 1/5'dir. Bu nedenle ocakta açık işletme yöntemi uygulanacaktır. Uygulanacak açık işletmede dekupajda oluşturulacak basamak yüksekliği on metre basamak şev açısı 700, ocak genel şev açısı 400 olacaktır. Kömürün üzerindeki dekupaj toprağı (Örtü kazı) gerektiğinde patlatılarak gevşetildikten sonra ekskavatörler ile damperli kamyonlara yüklenip 500-700 metre mesafedeki pasa döküm sahasına dökülecektir. Kömür üretimi ise şhwool kepçe ile kazılıp işçiler tarafından ara kesmelerden ayıklandıktan sonra elek tesisine taşınmak suretiyle yapılacaktır. Elekte boyutlandırılan kömürler torbalanarak satışa sunulacaktır. Toz kömürler ise sanayi tesislerine pazarlanacaktır.

Üretim yöntemine karar verilmesinin ardından gereken ekipman, işçi sayısı, yıllık üretim miktarı, maliyetler, stok alanı, dekupaj ve cevher taşıma yöntemi gibi unsurların belirlenmelidir.

Firma, bir önceki bölümde belirtildiği gibi her bir kalite grubu için ayrı satış fiyatı uygulanmaktadır. Kömürlerin ocak başı ortalama satış fiyatı 1. Kalite kömür için 350TL/Ton + KDV, 2. Kalite kömür için 300TL/Ton + KDV, 3. Kalite kömür için 200TL/Ton + KDV olarak belirlenmiştir.

Patlayıcı madde, akaryakıt ve yağ, elektrik, yedek parça, bakım onarım, amortisman, personel ve işçilik, genel yönetim, beklenmeyen giderler işletmenin üretim amacıyla

katlandığı maliyetler olarak belirtilmiştir. Üretim esnasında iki ana eylem bulunmaktadır; biri örtü kazı işlemi diğeri ise cevher çıkarma işlemi. Yukarıda bahsettiğimiz tüm maliyetlere her iki eylem esnasında da katlanılmaktadır. Fakat akaryakıt ve yağ giderleri örtü kazı işlemi yapılırken ve cevher çıkartılırken farklılık göstermektedir. Firma geçmiş yıllarda yapılan istatistiklere göre, örtü kazı işlemi esnasında 1,6 lt/m³, kömür üretiminde ise 2,5 lt/ton motorin sarf edildiğini tespit etmiştir. Bu nedenle örtü kazı işlemi için ayrı, kömür üretimi için ayrı maliyetler oluşmuştur. Firma verilerine göre;

- örtü kazı işleminde birim maliyeti yaklaşık 45 TL/ m³,
- kömür üretiminde birim maliyet yaklaşık 50 TL/ ton 'dur.

4.5 Matematiksel Modelin Kurgulanması

Bu tez kapsamında, önceki bölümlerde hakkında bilgi verilen işletmenin sahip olduğu kömür cevherinin 5 yılda sağlayacağı karın maksimizasyonu ve çıkarılacak blokların sırasının belirlenmesi amacıyla planlama yapılmıştır. Firmadan edinilen haritalardan cevherin rezervi, kalitesi, öncelik ilişkisi, işletme raporundan da satış fiyatı, maliyetler, ekipman, kapasite gibi konular hakkında bilgi alınmıştır. Bu bilgiler ışığında, literatürde yer alan açık ocak madenciliği üretim planlama ve çizelgeleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan “Tam Sayılı Programlama” yöntemi, kömür ocağına uyarlanmıştır.

Tam sayılı programlama yöntemiyle yapılan maden üretimi planlarında olduğu gibi bu çalışmada da amaç fonksiyonu kârı maksimize etmek için oluşturulmuş ve rezerv, eğitim, üretim kapasitesi ve işleme kapasitesi kısıtları ile matematiksel model oluşturulmuştur.

Üretimde 45° 'lik eğim esas alındığı için bir cevher bloğunun çıkabilmesi için üzerindeki 9 adet dekupaj toprak bloğunun çıkarılmış olması gerekmektedir. İlgili kömür ocağına ait kısıtlar şöyledir;

- Üretimin ömrü 5 yıl
- Maksimum kalori değeri 2900kcal
- Minimum kalori değeri 2400kcal
- Bir yılda yapılabilecek maksimum üretim miktarı 5000000 m³

- Bir yılda yapılabilecek minimum üretim miktarı 500000 m³
- Bir yılda işlenebilecek cevher 750000 ton
- Bir yılda işlenebilecek cevher 100000 ton ‘dur.

Şekil 14’de yer alan blok modeli temel alınarak, bloklara koordinatlarına göre x,y,z değerleri atanmıştır. Derinliği temsil eden z değeri azaldıkça yeraltında daha derine gidildiği arttıkça yeryüzüne çıkıldığı varsayılmıştır. Bu sayede her bir bloğun adresi belirlenmiştir. Ardından her kömür bloğunun kalori değeri, içerdiği cevher miktarı, örtü toprak miktarı tanımlanmış ve dolayısıyla ekonomik değerlerine ulaşılmıştır. Buna göre kömür ocağında 10*10*10m³ boyutunda, 20503 adet kömür ve dekapaj bloğu olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bloklar içerdikleri cevher ve örtü kazı toprağı oranına göre ekonomik değerler almıştır. Bu xyz bloklarının cevher mi örtü kazı toprağı mı olduğunu tenör ve cevher sütunlarında ayrıştırılmaktadır. Örtü kazı bloklarının tenör ve cevher değerleri 0 iken cevher blokları için bu iki değer sıfırdan büyük değerler almaktadırlar. Blokların adreslerinin ve özelliklerinin belirlendiği bu ön çalışma için Excel programından yararlanılmış ve Tablo 11’de küçük bir örneğine yer verilen çalışma sayfası oluşturulmuştur.

Tablo 11: Verilerin Excel’e girilmesi

x	y	z	tenör[x,y,z]	cevher[x,y,z](m ³)	örtükazı[x,y,z](m ³)	EkonomikDeğer
11	0	4	0	0	1	-45000
11	0	5	0	0	1	-45000
11	0	6	0	0	1	-45000
11	0	7	0	0	0,6	-27000
12	0	4	0	0	1	-45000
12	0	5	0	0	1	-45000
12	0	6	0	0	1	-45000
12	0	7	0	0	0,6	-27000
13	0	4	0	0	1	-45000
13	0	5	0	0	1	-45000
13	0	6	0	0	1	-45000
13	0	7	0	0	0,6	-27000
14	0	4	0	0	1	-45000
14	0	5	0	0	1	-45000

14	0	6	0	0	1	-45000
14	0	7	0	0	0,6	-27000
15	0	4	0	0	1	-45000
15	0	5	0	0	1	-45000
11	1	4	0	0	1	-45000
11	1	5	0	0	1	-45000
11	1	6	0	0	1	-45000
11	1	7	0	0	0,6	-27000
12	1	4	2700	0,8	0,2	191000
12	1	5	0	0	1	-45000
12	1	6	0	0	1	-45000
12	1	7	0	0	0,6	-27000
13	1	4	2700	0,8	0,2	191000
13	1	5	0	0	1	-45000
13	1	6	0	0	1	-45000
13	1	7	0	0	0,6	-27000
14	1	4	2700	0,8	0,2	191000
14	1	5	0	0	1	-45000
14	1	6	0	0	1	-45000
14	1	7	0	0	0,6	-27000
15	1	4	2700	0,8	0,2	191000
15	1	5	0	0	1	-45000

.....

Bu yapılan ön çalışma ile veriler modellenabilir hale getirilmiş ve matematiksel modelin hazırlanmıştır.

Çalışmanın Matematiksel Modeli;

$$\text{Maksimizasyon } Z = \sum_n^t \sum_{xyz}^s ED_{xyz} / 1,1^n * b_{xyzn}$$

Kısıtlar;**Eğim kısıtı;**

n değişken için

$$m * b_{xyzn} - \sum_{rtku}^9 b_{rtku} \leq 0$$

Tenör kısıtları;

t periyod için

$$\sum_{xyz}^s (g_{xyz} - G_{min}) * o_{xyz} * b_{xyzn} \geq 0$$

$$\sum_{xyz}^s (g_{xyz} - G_{max}) * o_{xyz} * b_{xyzn} \leq 0$$

İşleme kısıtları;

t periyod için

$$\sum_{xyz}^s o_{xyz} * b_{xyzn} \geq pcmin$$

$$\sum_{xyz}^s o_{xyz} * b_{xyzn} \leq pcmax$$

Rezerv kısıtı;

n değişken için

$$\sum_n^t b_{xyzn} \leq 1$$

Üretim kısıtı;

t periyod için

$$\sum_{xyz}^s o_{xyz} * w_{xyz} * b_{xyzn} \leq mcmax$$

$$\sum_{xyz}^S o_{xyz} * w_{xyz} * b_{xyzn} \geq mcmin$$

Değerler;

S = toplam cevher bloğu sayısı

T = toplam periyod sayısı

xyz = cevher bloğu indisi

n = periyod indisi

rtk = öncül kümesi indisi

ED = blokların net bugünkü değerleri

b = karar değişkeni, 0 veya 1 değeri alır

g = ilgili bloğun tenör değerini gösterir

w = ilgili bloğun içerdiği örtü kazı toprak miktarını gösterir

o = ilgili bloğun içerdiği cevher miktarını gösterir

m = ilgili bloğun çıkması için çıkmış olması gereken blok sayısı

pcmax = maksimum üretim kapasitesi

pcmin = minimum üretim kapasitesi

mcmax = maksimum işleme kapasitesi

mcmin = minimum işleme kapasitesi

Matematiksel modelde faiz oranı %10 olarak kabul edilmiştir ve bu nedenle amaç fonksiyonunda blokların ekonomik değerleri $1,1^n$ ile çarpılmaktadır. b karar değişkeni her bir xyz bloğu için n yılında 0 ya da 1 değerini almaktadır, eğer bu değişken ne yılında 1 değerini almışsa o yıl çıkarılacağı 0 değerini aldıysa çıkarılmayacağı anlamına gelmektedir.

Eğim kısıtı daha önce de bahsedildiği gibi xyz bloğunun çıkabilmesi için çıkmış olması gereken bloklar ile ilgilidir. Buna göre xyz bloğunun n yılında çıkabilmesi için n yılında ya da daha öncesinde $(x-1,y-1-z+1)$, $(x-1,y,z+1)$, $(x-1,y+1,z+1)$, $(x,y-1-z+1)$, $(x,y,z+1)$, $(x,y+1,z+1)$, $(x+1,y-1-z+1)$, $(x+1,y,z+1)$, $(x+1,y+1,z+1)$ bloklarının çıkarılmış yani 1 değerini almış olması gerekmektedir.

Tenör kısıtında, her xyz bloğunun sahip olduğu tenrn istenilen maksimum ve minimum aralıklarında olup olmadığının kontrolü yapılmaktadır. Modele girecek olan xyz bloklarının 2400kcal ile 2900kcal kalori değerleri arasında olmasını sağlamaktadır.

İşleme kısıtı sadece cevher bloklarını içermektedir. Yıllık maden işleme kapasitesine bağlı olarak üretim yapılmasını sağlar. Buna bağlı olarak kömür ocağında bir yılda $750000m^3$ ‘den fazla $100000m^3$ den az üretim yapmamalıdır.

Üretim kısıtında ise, tümüyle kazı yapabilme kapasitesiyle ilgili olunduğu için cevher ve örtü kazı blokları beraber değerlendirilmişlerdir. Yıllık yapılabilecek üretim miktarı göz önünde bulundurularak üretim yapılmasını sağlamaktadır. Buna göre kömür ocağında maksimum üretim miktarı $5000000m^3$, minimum üretim miktarı ise $500000m^3$ dr.

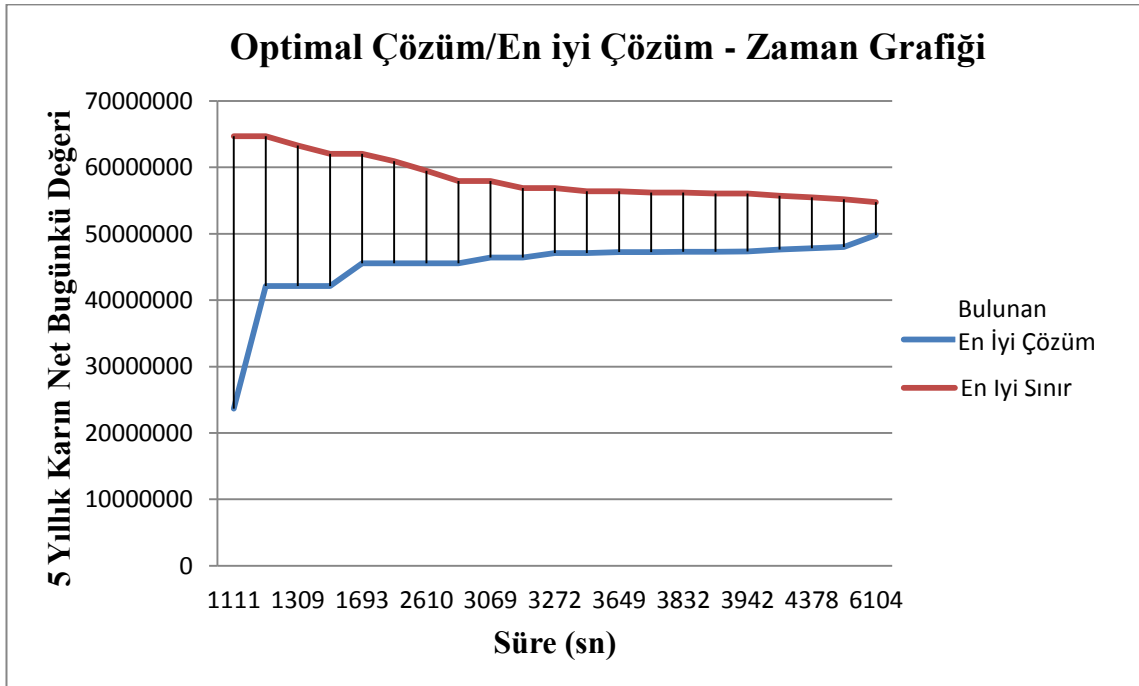
Rezerv kısıtı ile her xyz bloğunun t tane yıl içinde mutlaka bir kere 1 değerini almış olması sağlanmaktadır. Bunun anlamı xyz bloklarının tamamı belirlenen t yılda çıkarılmış olacaktır.

4.6 Problemin zm

Kömür ocağı üretim planlama problemi için tam sayılı programlama yöntemi ile oluşturulan matematiksel model Python programıyla üzülmüştür. Python, Guido Van Rossum adlı Hollandalı bir programcı tarafından yazılmış bir programlama dilidir. Rossum’um 1990’lı yıllarda geliştirilmeye başladığı bu dil, diğer programlama dillerine kıyasla yeni bir olmasına rağmen, kolay anlaşılır, hızlı ve ayrı bir derleyici programa ihtiyaç duymaması gibi nedenlerden dolayı hızla yayılmıştır. Bu alışma kapsamında yukarıda bir kısmının örnek olarak verildiği Excel’de düzenlenen blok değerleri Python’da tanımlanmış ve optimizasyonun gerçekleştirilebilmesi için Gurobi İyileştiricisinden yararlanılmıştır. Gurobi, birçok matematiksel modelin uygulanabildiği

bir optimizasyon çözücüsüdür. Bu doğrultuda problemin çözdürülmesi için Python 2.7 ile Gurobi 5.6.2 versiyonları yüklenmiştir. Gurboi çözücüsünün özelliklerinden yararlanılarak, Python'a tam sayılı matematiksel modelin kodu Ek 1'de yer almaktadır.

Çözüm sonucunda program tarafından, kullanıcıyı bilgilendirmek için yapılan işlemlerin, düz yazı dosyasına kaydedildiği dosya olan Log dosyası ise Ek 2'de yer almaktadır. Log dosyasındaki bilgileri parça parça inceleyecek olursak, çözüm işlemi 3 parçadan oluşmaktadır. Birincisi ön çözüm bölümü, ikincisi simplex süreci bölümü ve üçüncüsü özet bölümüdür. Modelde toplamda 106648 satır, 102515 sütun ve 730320 sıfır olmayan değişken yer almaktadır. Çözüm sürecinin log dosyasından alınan özeti Şekil 15'de yer almaktadır.



Şekil 15: Bulunan En İyi Çözüm/ En İyi Çözüm ve Zaman Grafiği

Yukarıdaki şekilde çözüm esnasında geçen süre ve bu süre zarfında çözümün geldiği noktalar belirtilmektedir. Buna göre 1111. saniyede Bulunan En İyi Çözüm ile En İyi Sınır arasındaki fark %173 iken bu fark zamanla azalmış ve 6104. saniyede %10 seviyesine gelmiştir.

- **Ön Çözüm Bölümü**

Bu bölümde çözücü 205030 satır ve 4 sütünü kaldırabilmiştir ve bu işlem 4.62 saniye sürmüştür. Bölümdeki ayrıca dal ve kesim algoritmasına geçen modelin büyüklüğünü ifade edilmektedir.

- **Simplex Süreci Bölümü**

Bu bölümde dal ve kesim çözüm süreci izlenir ve birçok detaylı bilgi edinilebilir. Ayrıca bize kök dizin esnetilmesinin sonuçlarını vermektedir. Kök dizinin kısa sürede çözdüğü modellerde bilgi tek satır olarak verilmektedir.

Bu bölüm dal ve kesim çözüm süreci ile ilgili bilgi sağlamaktadır. “The Nodes” kısmı çözüm süreci için genel matematiksel bilgi sağlamaktadır. Buradaki ilk sütunda o noktaya kadar keşfedilen dal ve kesim düğüm noktalarının sayısı, ikinci sütunda ise çözüm ağacında geriye kalan keşfedilmemiş yaprak düğümlerin numarası gösterilmektedir. Satırların en solundaki H sembolü ise KTP sezgiselleri ile yeni bir fizibil sonuç bulunduğunu göstermektedir. Tablodaki “The Current Node” bölümünde dal ve kesim ağacındaki keşfedilmiş spesifik düğüm hakkında bilgi verilmektedir. İlgili esnetilmenin sonucunu (Obj), ağaçtaki düğümün derinliğini (Depth) ve ilgili esnetilmekteki integral değere sahip olmayan tam sayılı değişkenlerin sayısı (IntInf) da gözlenebilmektedir. “The Objective Bounds” bölümünde ise fizibil çözümdeki en iyi amaç fonksiyonu sonucu ve şimdiki amaç fonksiyonu sonucu gösterilmektedir. Bu iki amaç fonksiyonu değeri arasındaki fark ise “gap” denilen kısımda belirtilmektedir. Eğer bu fark çözücünün kabul ettiği fark değerlerinden küçük ise optimizasyon sonlandırılır. “Work” bölümü ise performans değerleri hakkında bilgi vermektedir. İlk sütun her bir düğüm için yapılan simplex yinelemelerinin ortalama sayısını verirken ikinci sütun çözüm başladığından beri geçen süreyi ifade etmektedir.

- **Özet Bölümü**

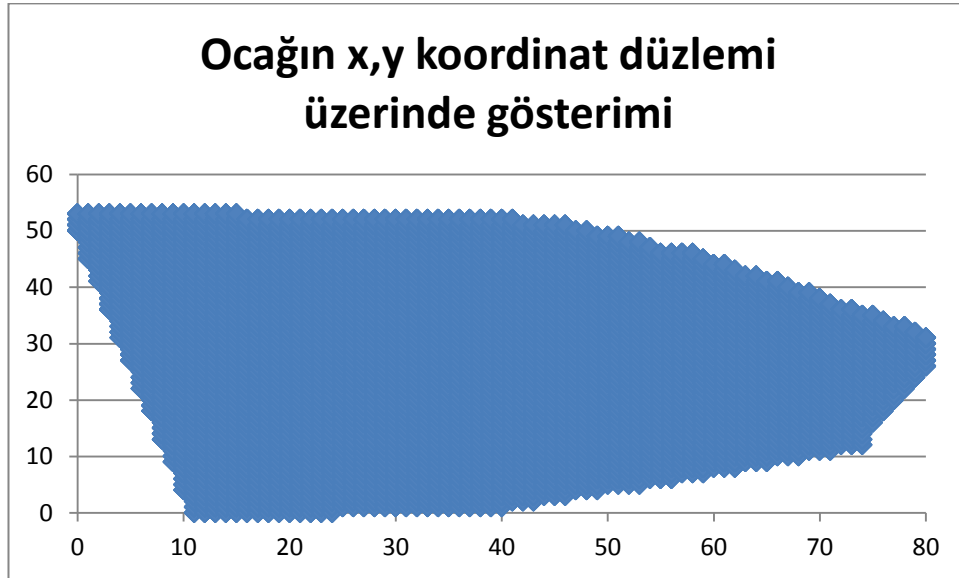
Bu bölümde çözüm hakkında özet niteliğinde bilgi verilir. İlgili modelin çözümü 6115,74 saniye sürmüş ve bu işlem için 4 işlemci kullanılmıştır. En iyi fizibil sonuç 49805396 TL, en iyi sınır ise 54785479 olarak bulunmuştur. Bu iki sonuç arasındaki fark ise %9,9975 olarak belirlenmiştir.

4.7 Yorum

Kar Maden firmasının, ilgili kömür ocağındaki üretim planlama ve çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik oluşturulan tam sayılı programlama modelinin, Python programında Gurobi çözücü ile çözdürülmesiyle elde edilen sonuçlar yukarıda açıklanmıştır.

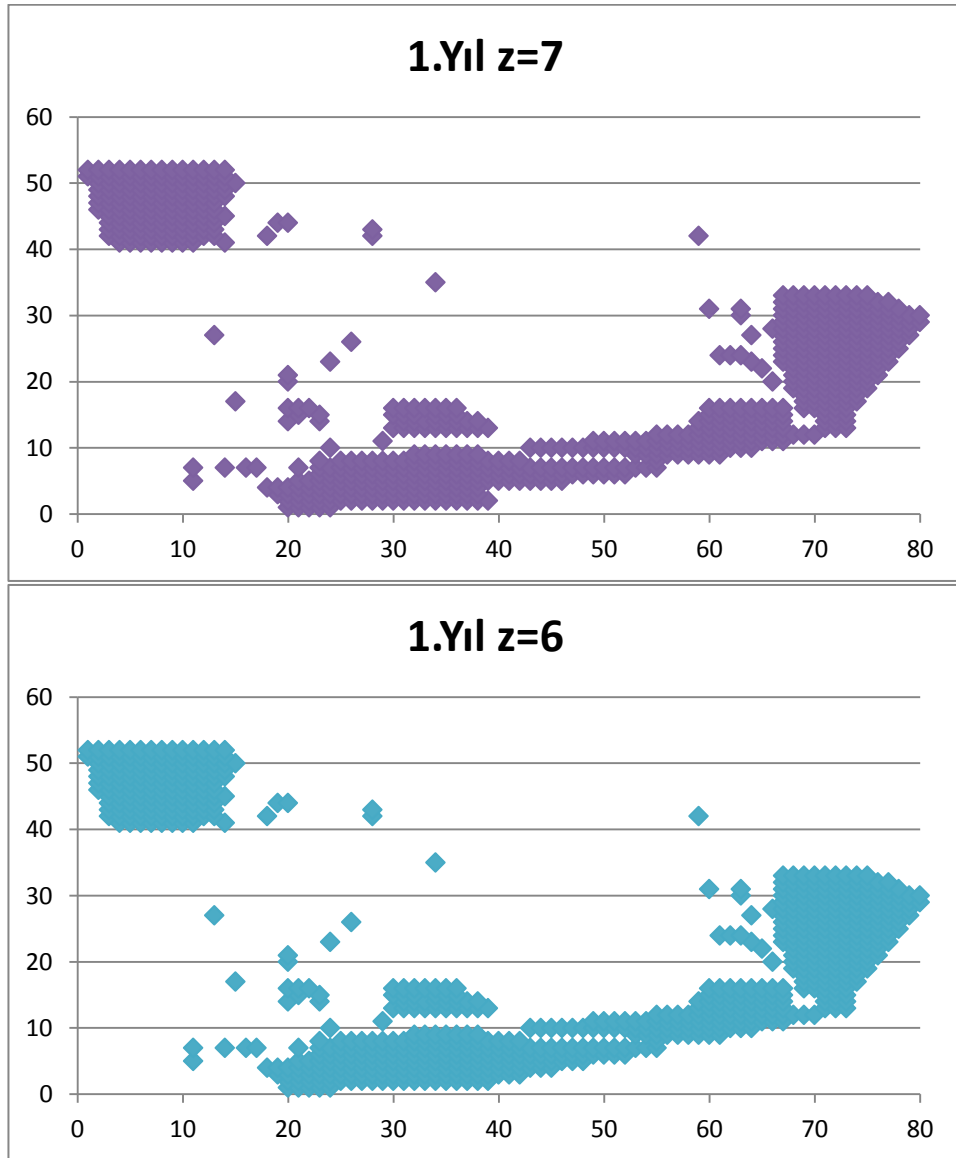
Buna göre Kar Maden firmasının, ilgili kömür ocağında 5 yıl, mevcut kısıtlara göre çalışırsa elde edeceği kârın net bugünkü değeri 49.805.396,5 TL'dir (%10 optimallik aralığı ile). Z değerinde 0 in maden rezervinin sonunu temsil ettiği daha önce belirtilmişti, buna göre her x,y koordinatında z derinliğine bağlı olarak basamaklar oluşmaktadır. İlgili kömür ocağından elde edilen veriye göre bu ocaktaki basamak sayısı 4 ile 8 arasında değişmektedir. Yıllara göre ocağın her basamağında çıkarılacak olan bloklara dair bilgiler Şekil 17- 21 arasında gösterilmektedir. (z=7 yeryüzünü temsil etmektedir, z=0 ise maden ocağının en sonunu.)

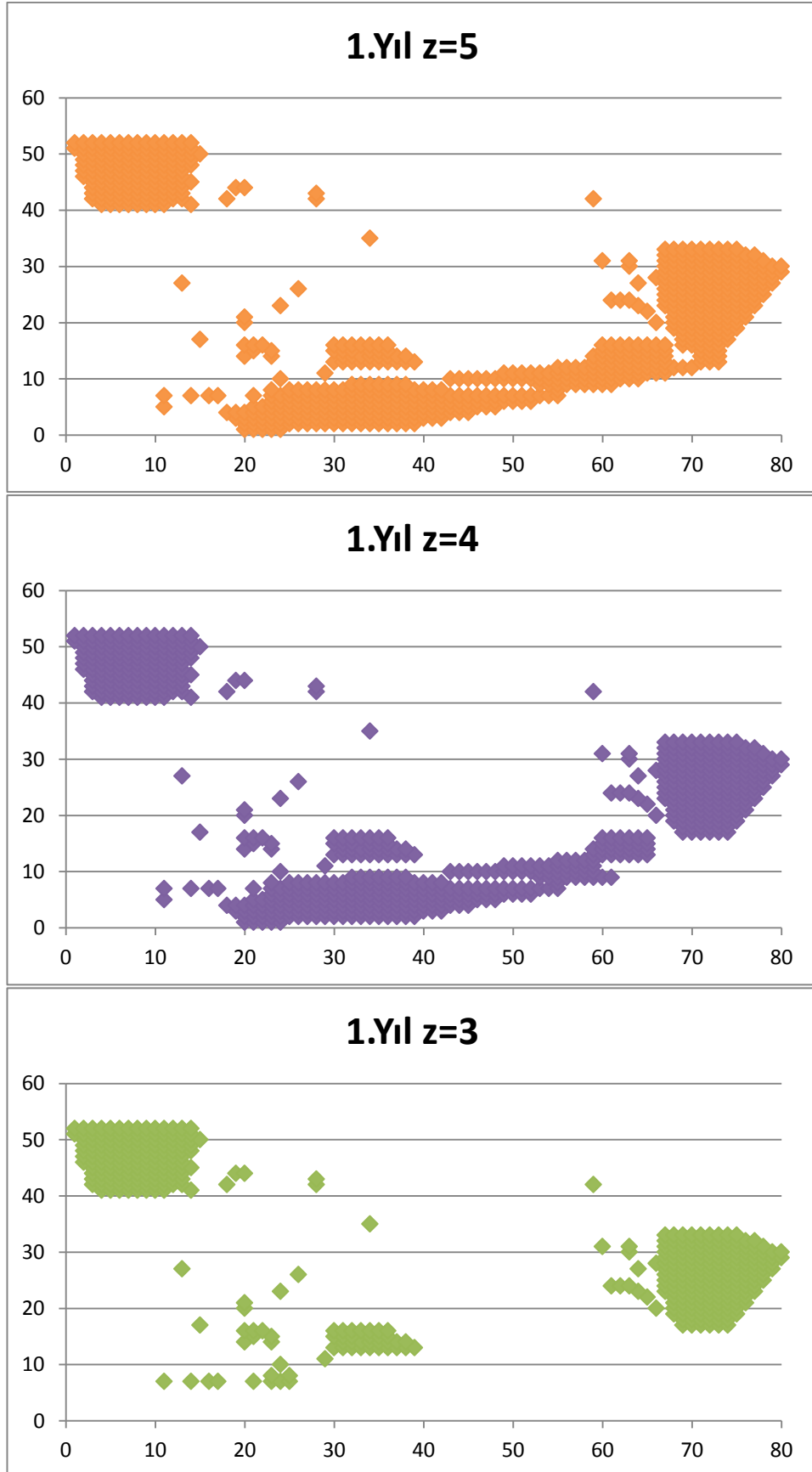
Toplamda 16252 dekupaj bloğu, 4251 kömür bloğu içeren maden ocağında 5 yıl boyunca üretimi yapılacak olan alan, x,y koordinat düzleminde Şekil 16'da gösterilmektedir.

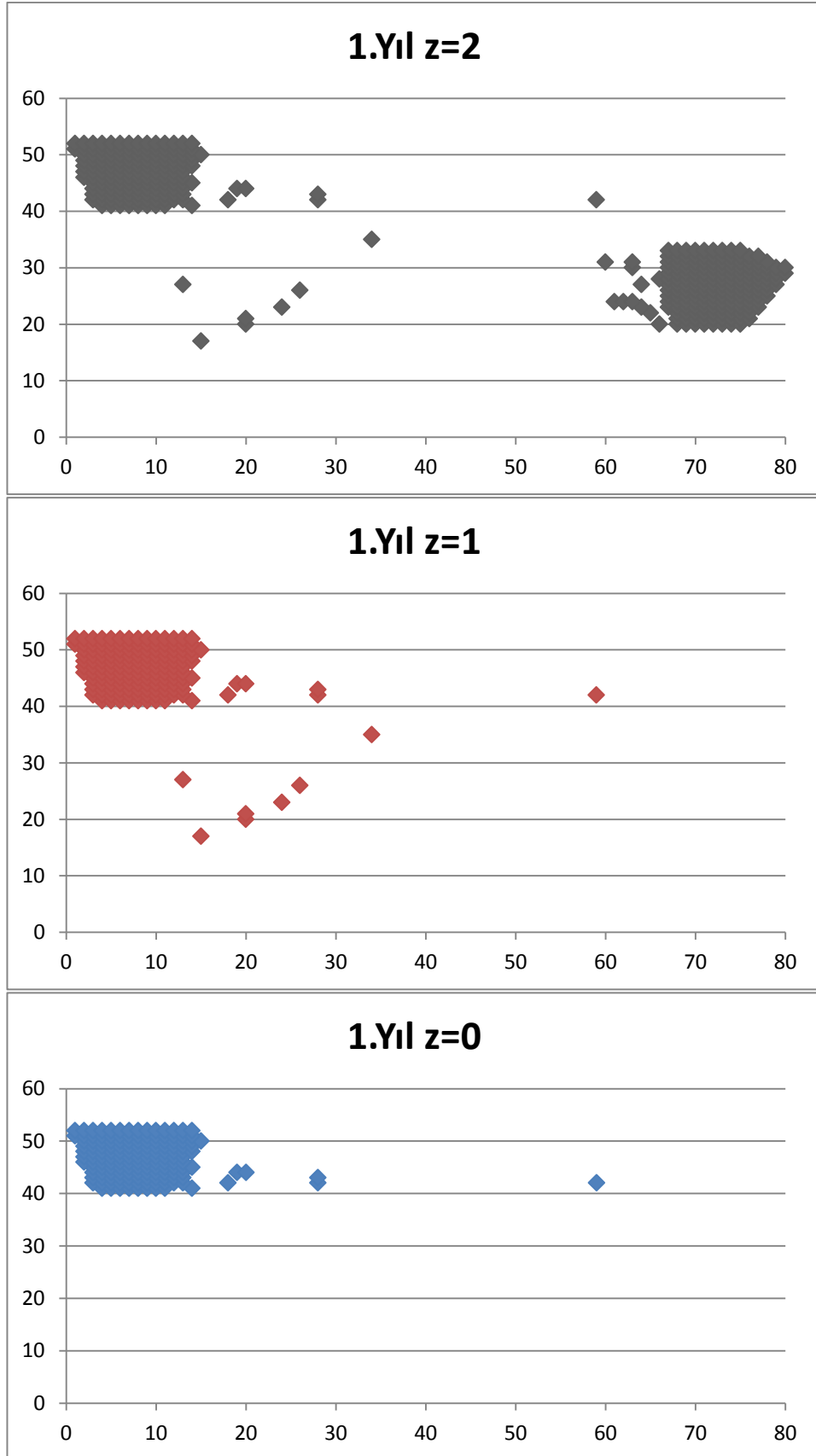


Şekil 16: Kömür ocağının genel görünümü

Yapılan üretim planlama ve çizelgeleme çalışmasına göre 1.yıl 3790 bloğun çıkarılması öngörülmüştür. En üst katman olan $z=7$ iken 790, $z=6$ iken 703, $z=5$ iken 703, $z=4$ iken 657, $z=3$ iken 398, $z=2$ iken 328, $z=1$ iken 159 ve $z=0$ iken 152 adet bloğun çıkarılması planlanmıştır. Birinci yılda çıkarılacak olan blokların 2943 adedi dekapaj bloğu, 373 adedi 1. Kalite kömür bloğu(yani kalori değeri 2701 ile 2901 arasında olanlar), 474 adedi ise 2. Kalite kömür bloğu(kalori değeri 2600 ile 2700 arasında olanlar)'dur. Bu yılda 3. kalite kömür çıkarılması planlanmamaktadır. Çıkarılan malzemenin 615300 tonunun cevher, 2957100 m³'ünün ise örtü kazı toprağı olması planlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 17'da birinci yılda çıkarılması planlanan bloklar iki boyutlu olarak gösterilmektedir.

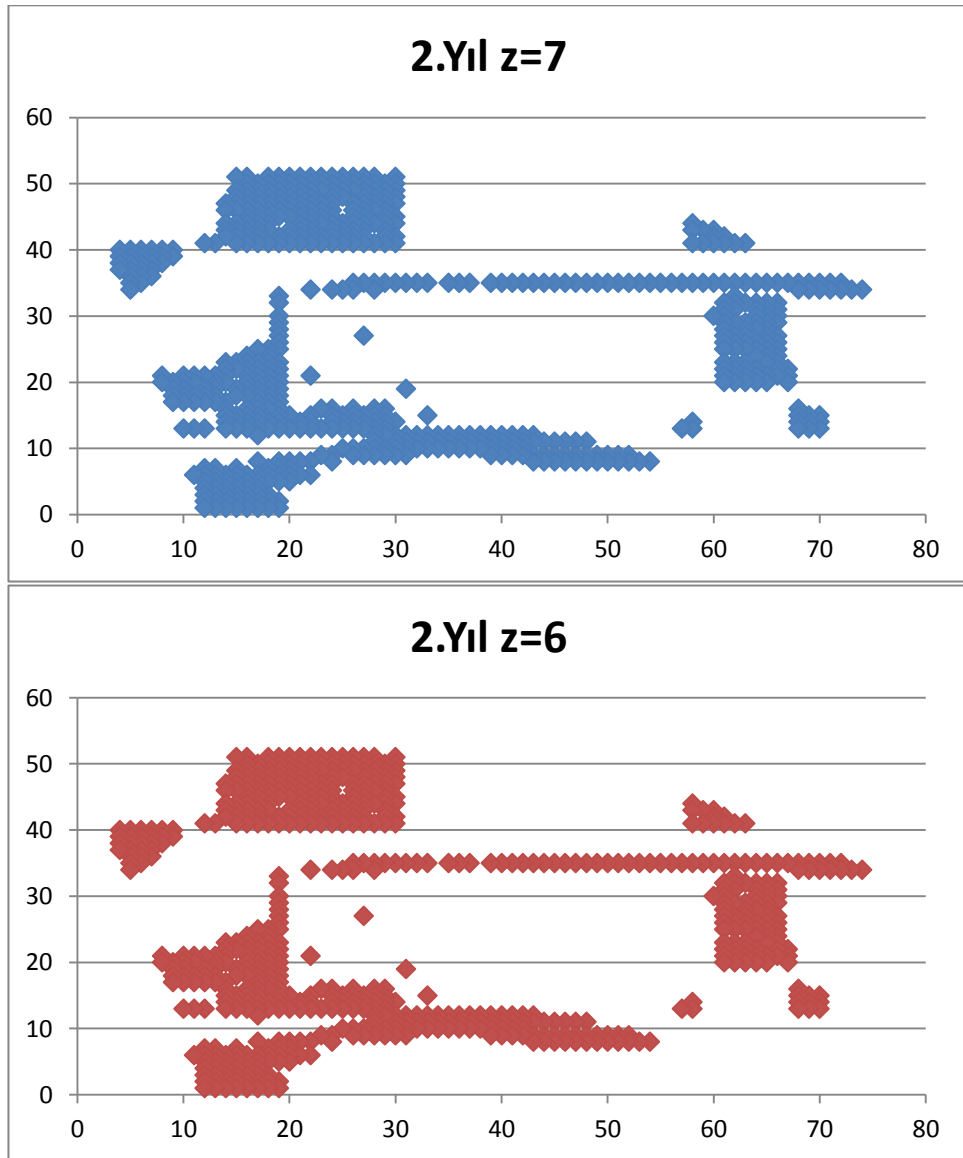


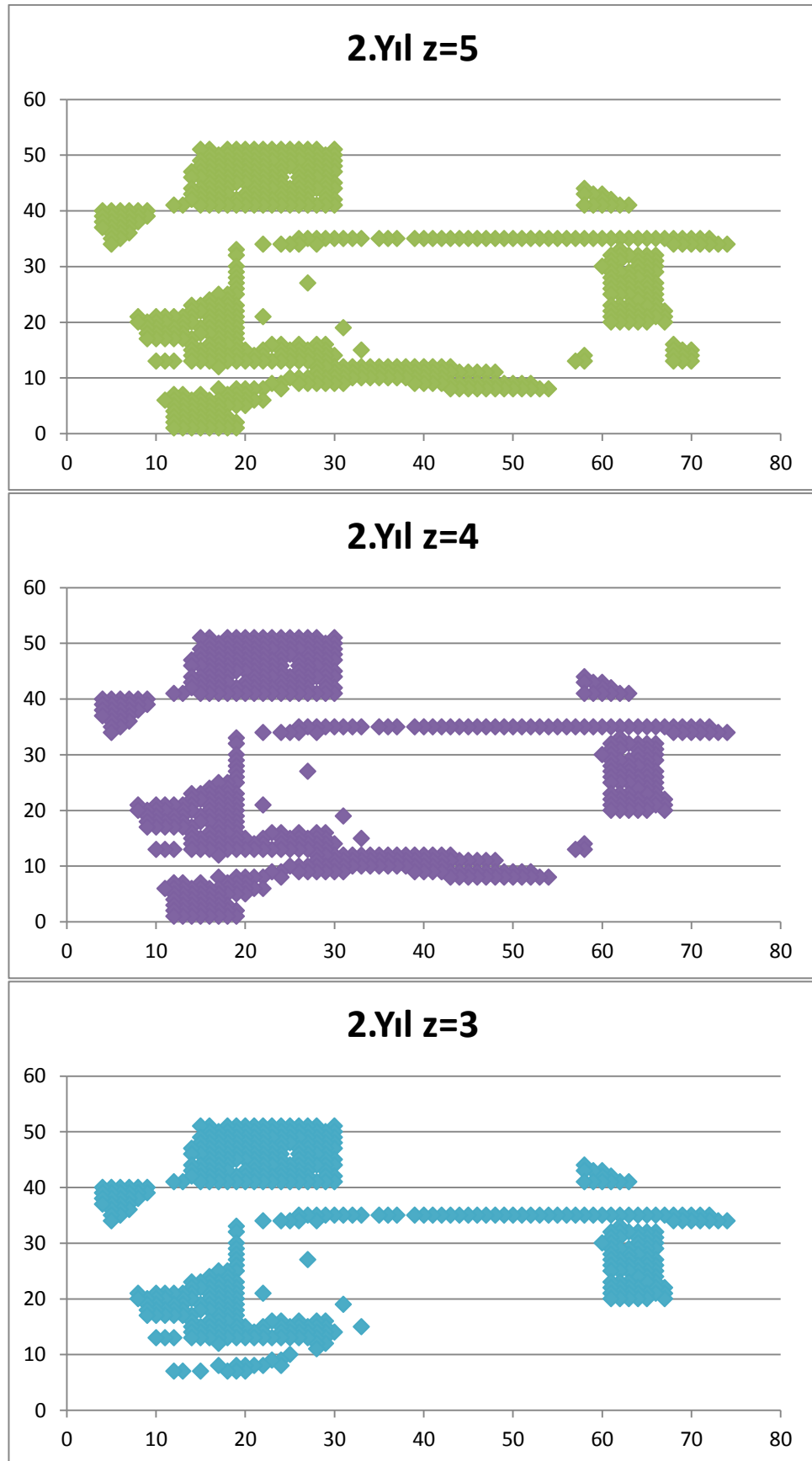


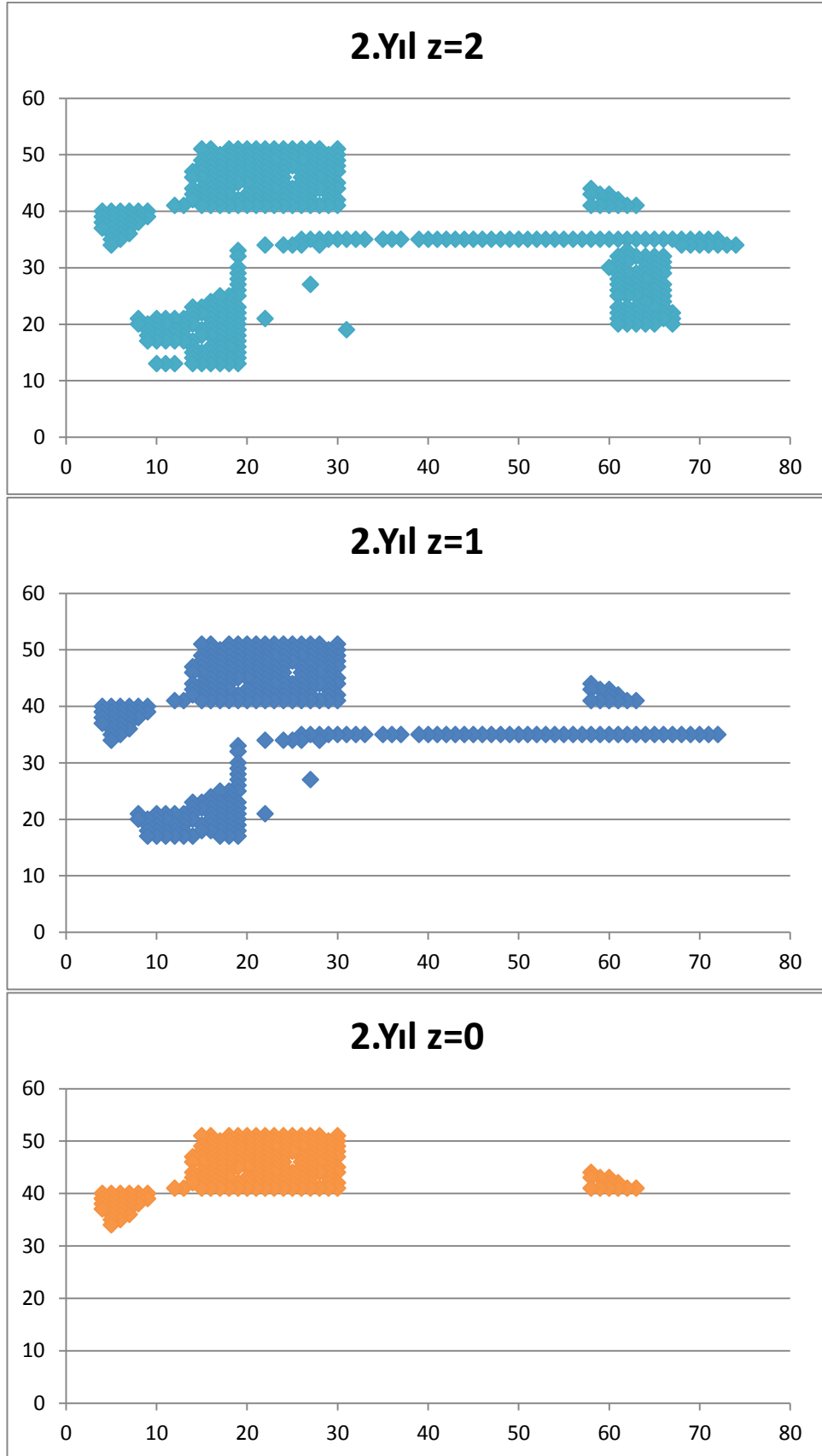


Şekil 17: Her z değeri için 1.yılda çıkarılacak olan blokların x, y koordinatları

Üretim planlama ve çizelgeleme çalışmasının ikinci yılında ise 3946 blok çıkarılması öngörülmüştür. En üst katman olan $z=7$ iken 628, $z=6$ iken 628, $z=5$ iken 628, $z=4$ iken 618, $z=3$ iken 483, $z=2$ iken 431, $z=1$ iken 327 ve $z=0$ iken 203 adet bloğun çıkarılması planlanmıştır. Çıkarılan blokların 3011 tanesi dekapaj bloğu, 128 tanesi 1. Kalite kömür bloğu, 775 tanesi 2. Kalite kömür bloğu ve 32 tanesi 3. Kalite kömür bloğudur. İkinci yılda toplamda 684300 ton kömür cevheri 3328000 m³ örtü kazı toprağı çıkarılması öngörülmüştür. Buna göre Şekil 18'de ikinci yılda çıkarılacak olan bloklar iki boyutlu biçimde gösterilmiştir.

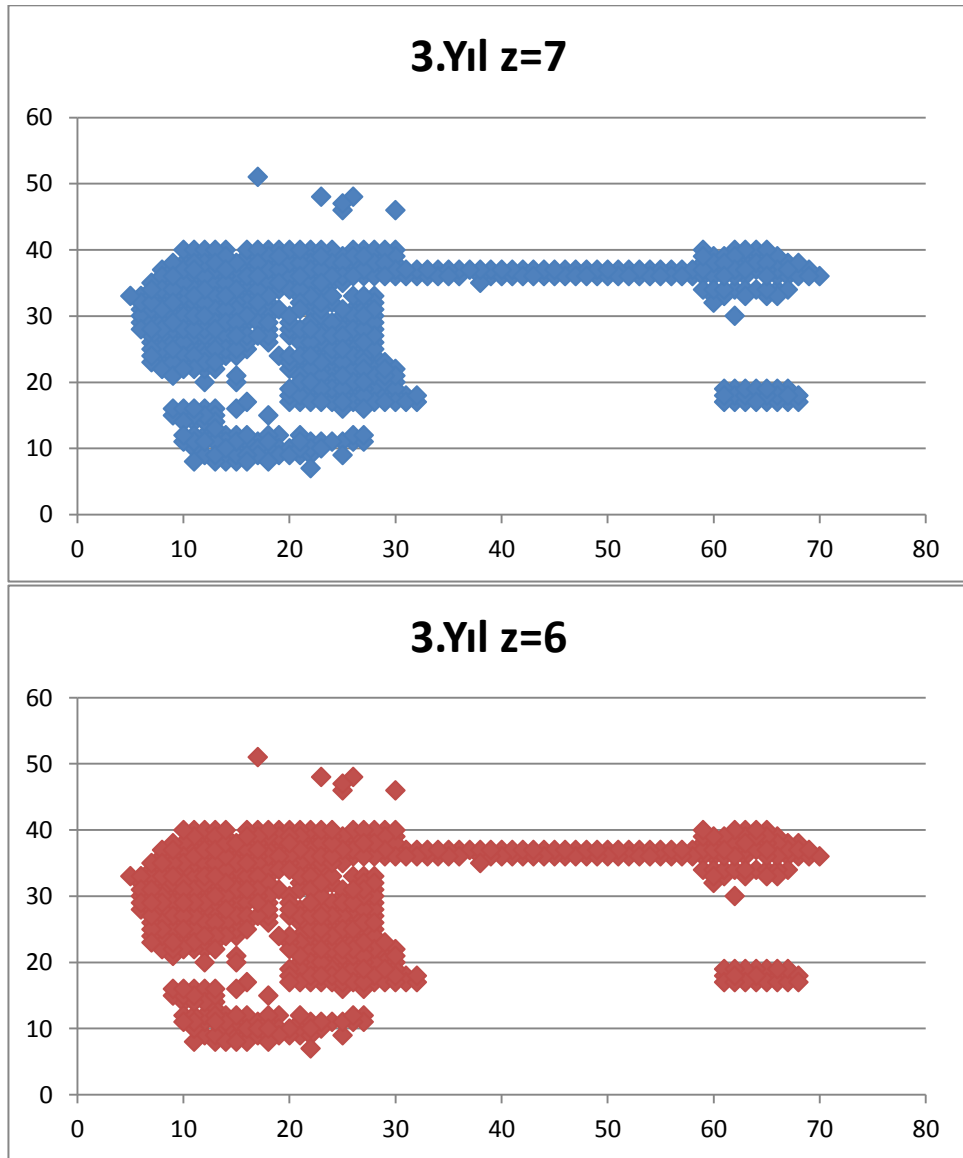


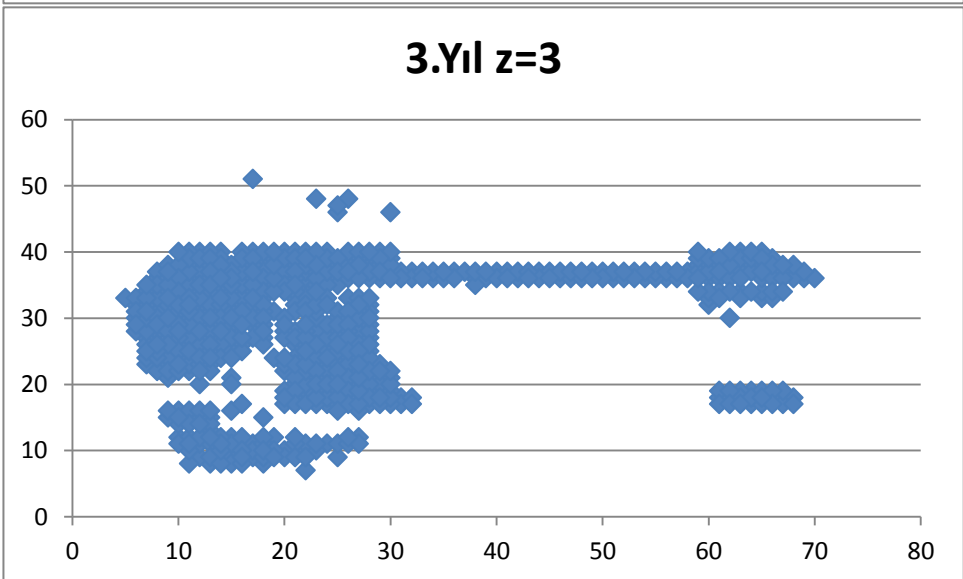
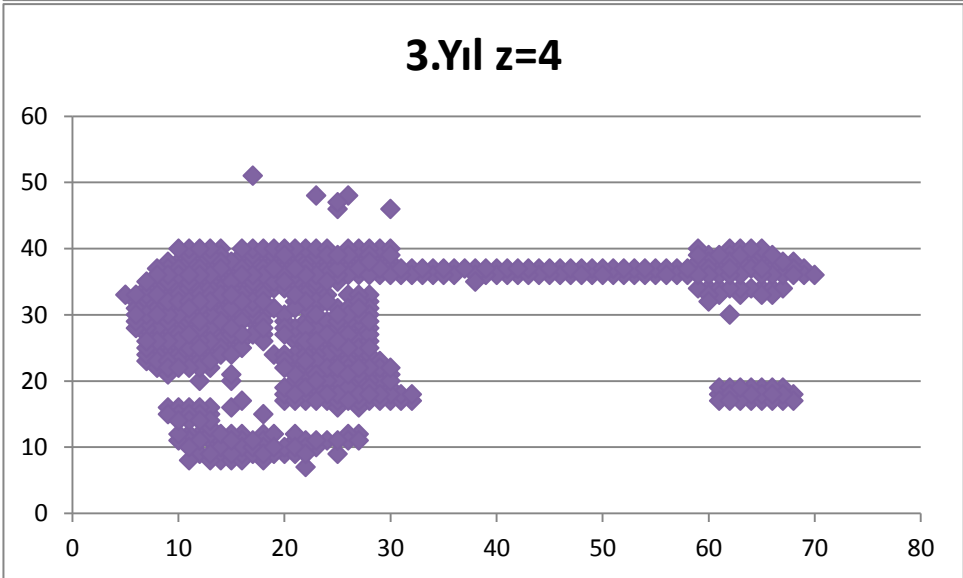
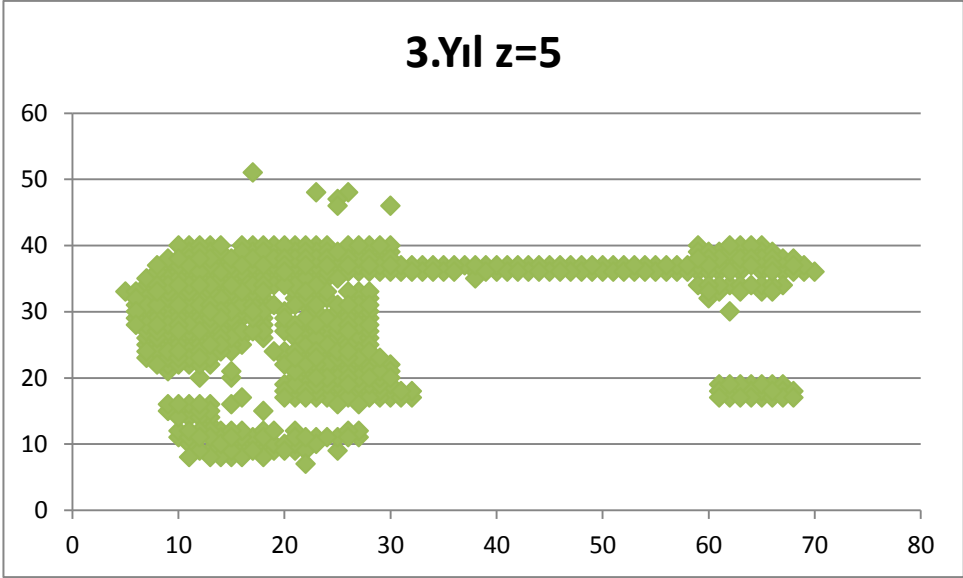


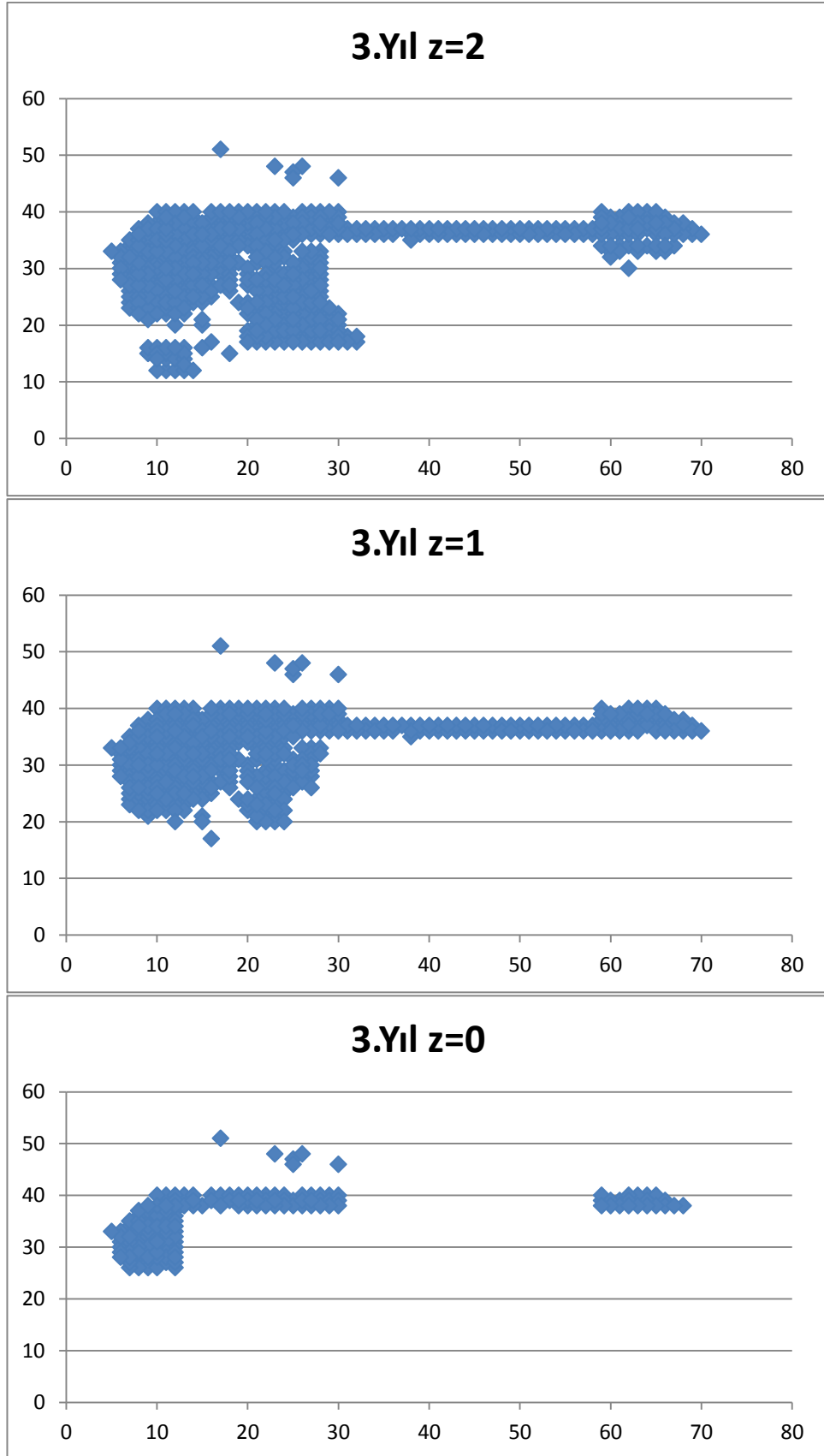


Şekil 18: Her z değeri için 2.yılda çıkarılacak olan blokların x,y koordinatları

Çalışma sonucunda üçüncü yıl toplamda 4351 adet bloğun çıkarılması planlanmıştır. İlk basamaktan yani $z=7$ 'den 636 , $z=6$ 'dan 636, $z=5$ 'den 636, $z=4$ 'den 636 $z=3$ 'den 636 $z=2$ 'den 560, $z=1$ 'den 450 ve son basamak olan $z=0$ 'dan 161 blok çıkarılması öngörülmüştür. Çıkarılması planlanan blokların 3402 tanesi dekupaj bloğu, 12 tanesi 1. Kalite kömür bloğu, 639 tanesi 2. Kalite kömür bloğu ve 298 tanesi 3. Kalite kömür bloğudur. Üçüncü senede 717900 ton kömür üretilmesi, 3328000 m³ örtü kazı toprağı çıkarılması hedeflenmektedir. Şekil 19'de üçüncü sene çıkarılması planlanan blokların iki boyutlu gösterimi yer almaktadır.

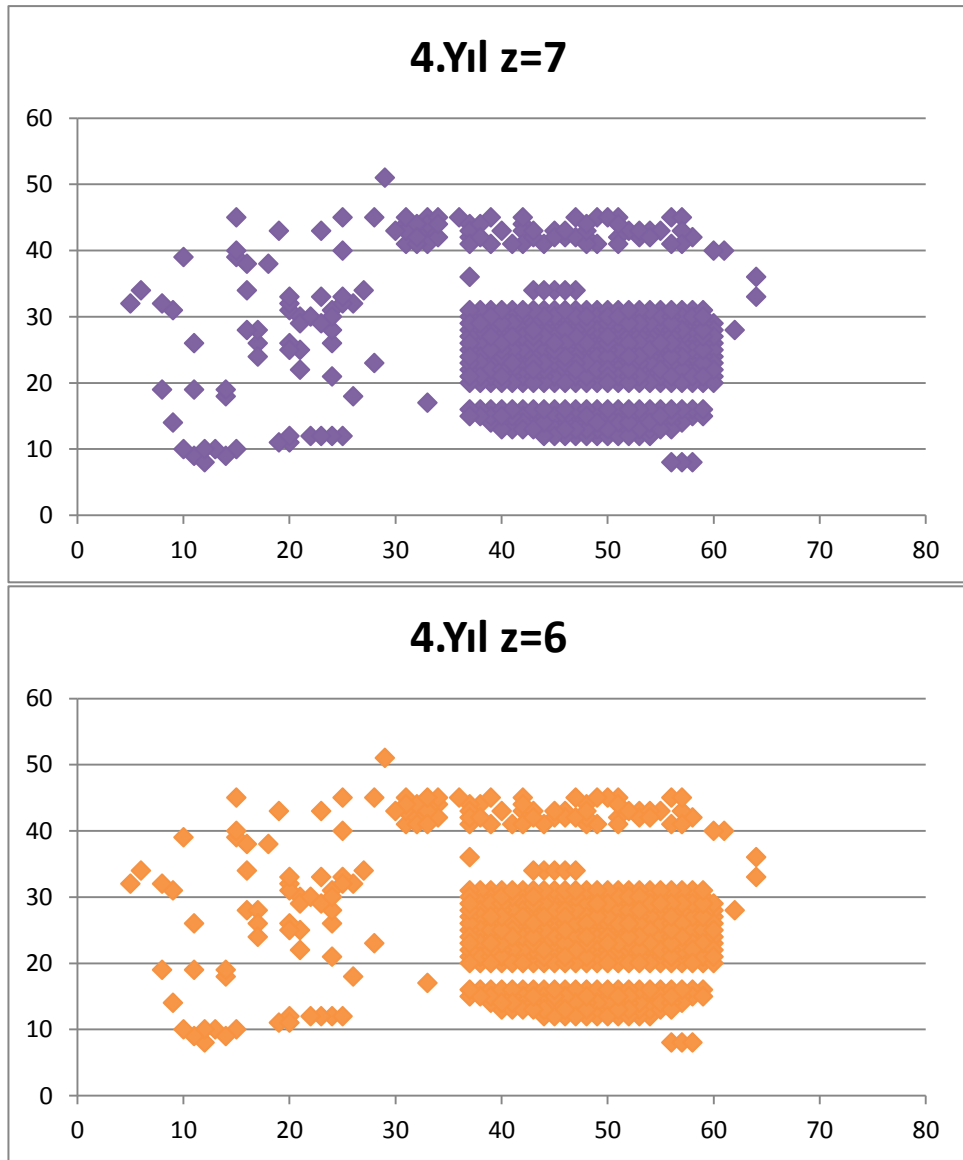


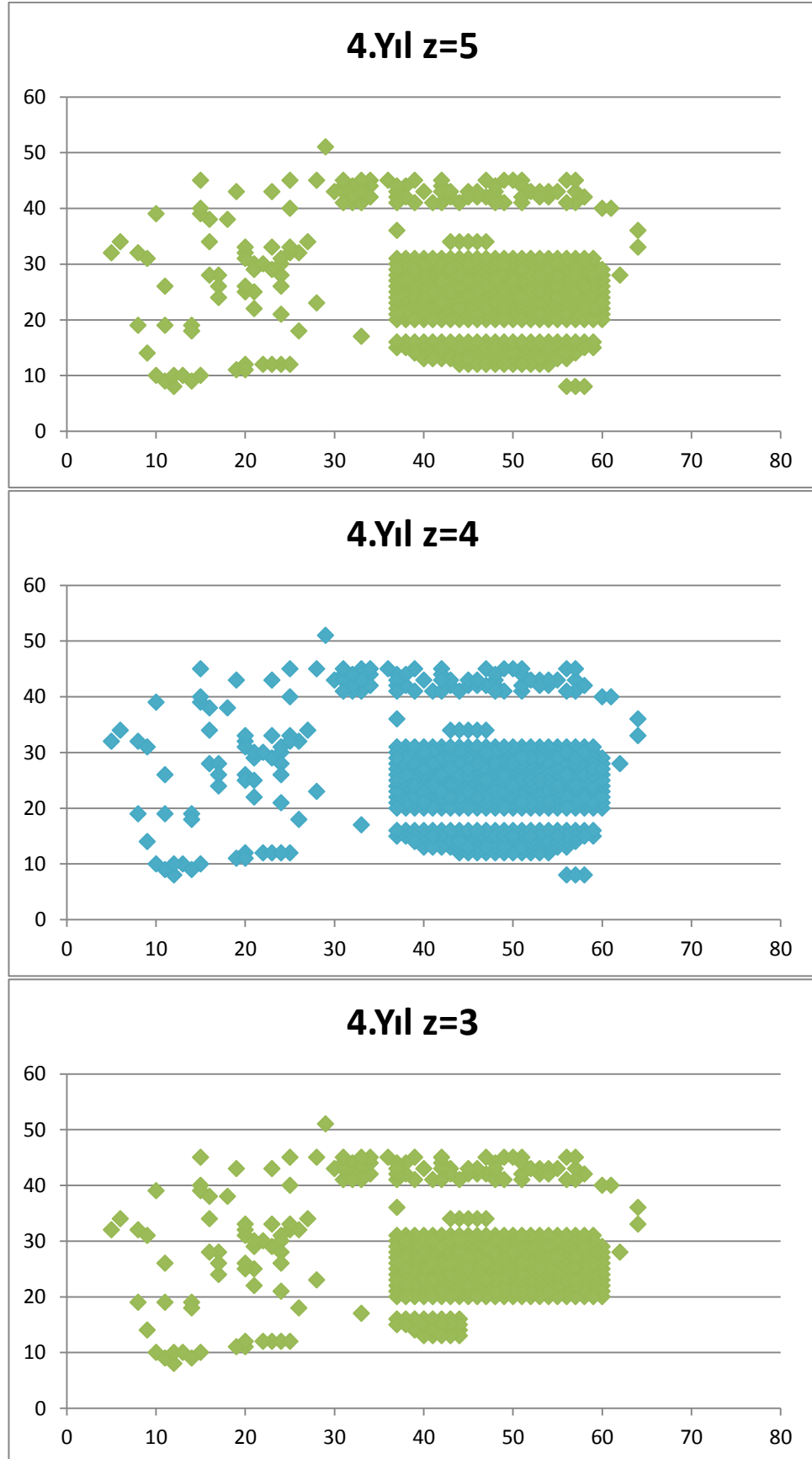


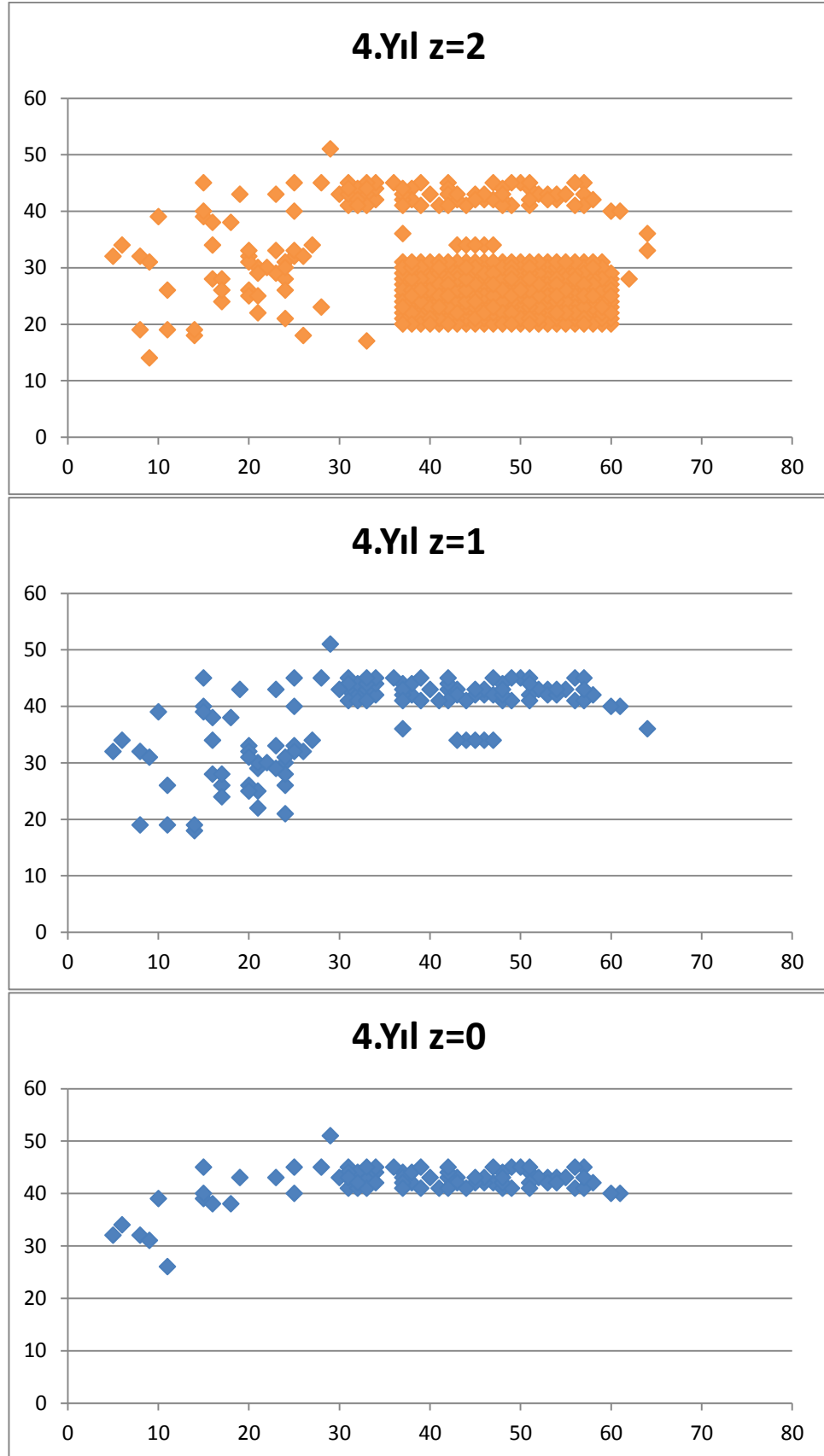


Şekil 19: Her z değeri için 3.yılda çıkarılacak olan blokların x,y koordinatları

Dördüncü yılın üretim planlamasında 3140 adet bloğun çıkarılması hedeflenmiştir. Z=7'den 520 , z=6'dan 520, z=5'den 520, z=4 'den 520 z=3'den 451 z=2'den 410, z=1'den 118 ve son basamak olan z =0'dan 81 blok çıkarılması planlanmıştır. Bu blokların 2508 adedi dekupaj bloğu, 39 adedi 1. Kalite kömür bloğu, 170 adedi 2. Kalite kömür bloğu, 423 adedi ise 3. Kalite kömür bloğudur. Ayrıca bu sene 545300 ton kömür 4253700m³ örtü kazı toprağı çıkarılması planlanmıştır. Bu bilgilere göre Şekil 20 dördüncü sene çıkarılacak blokların iki boyutlu gösterimidir.

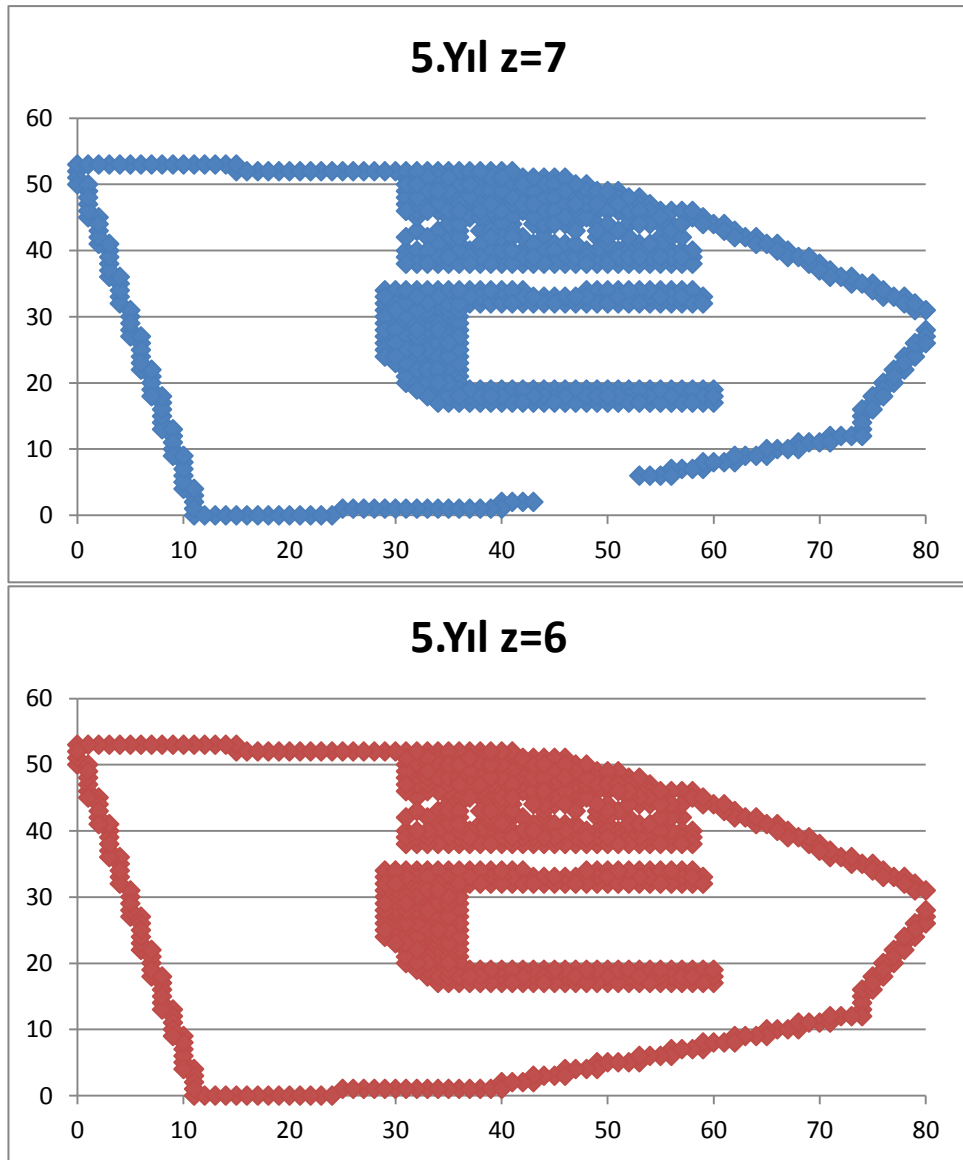


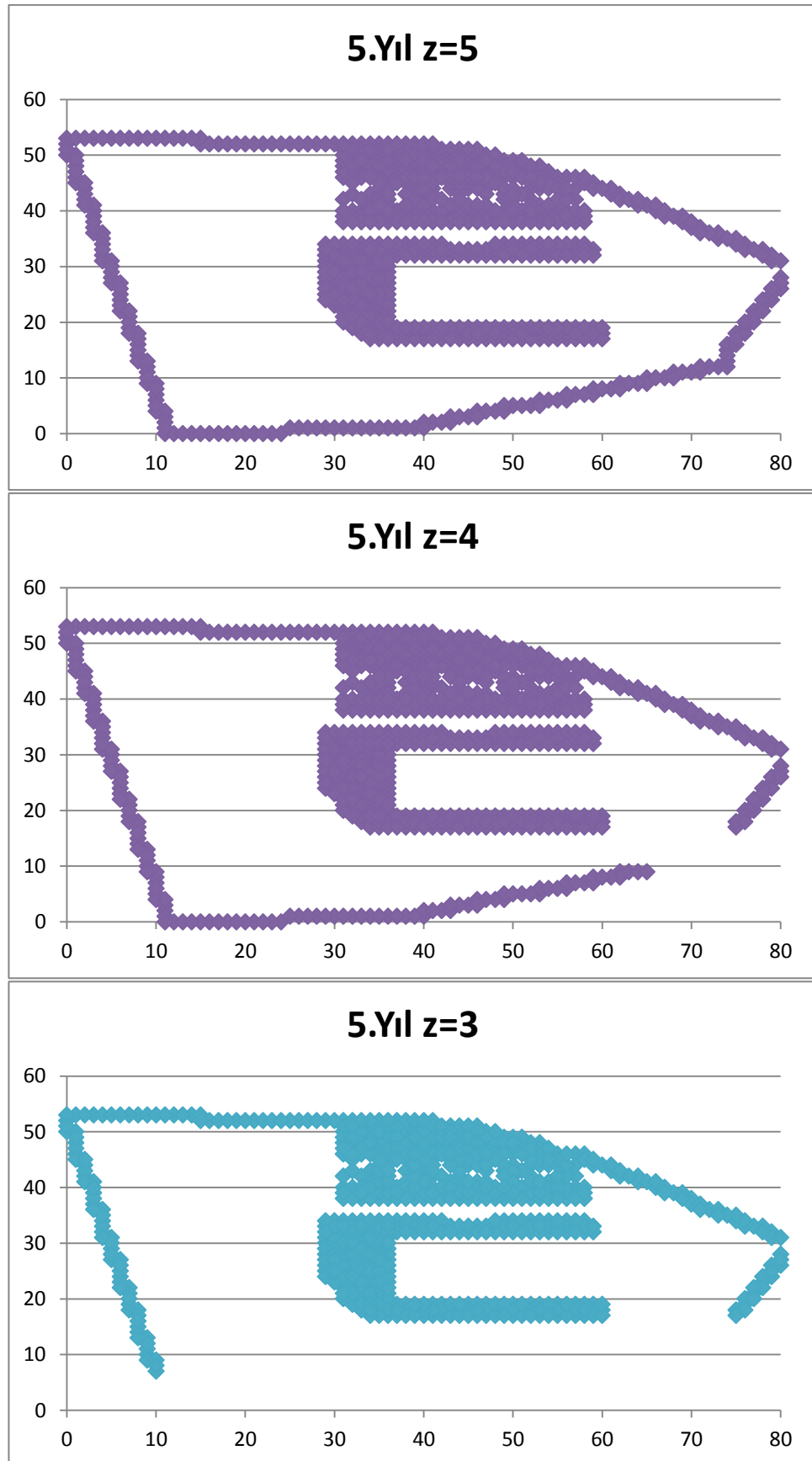


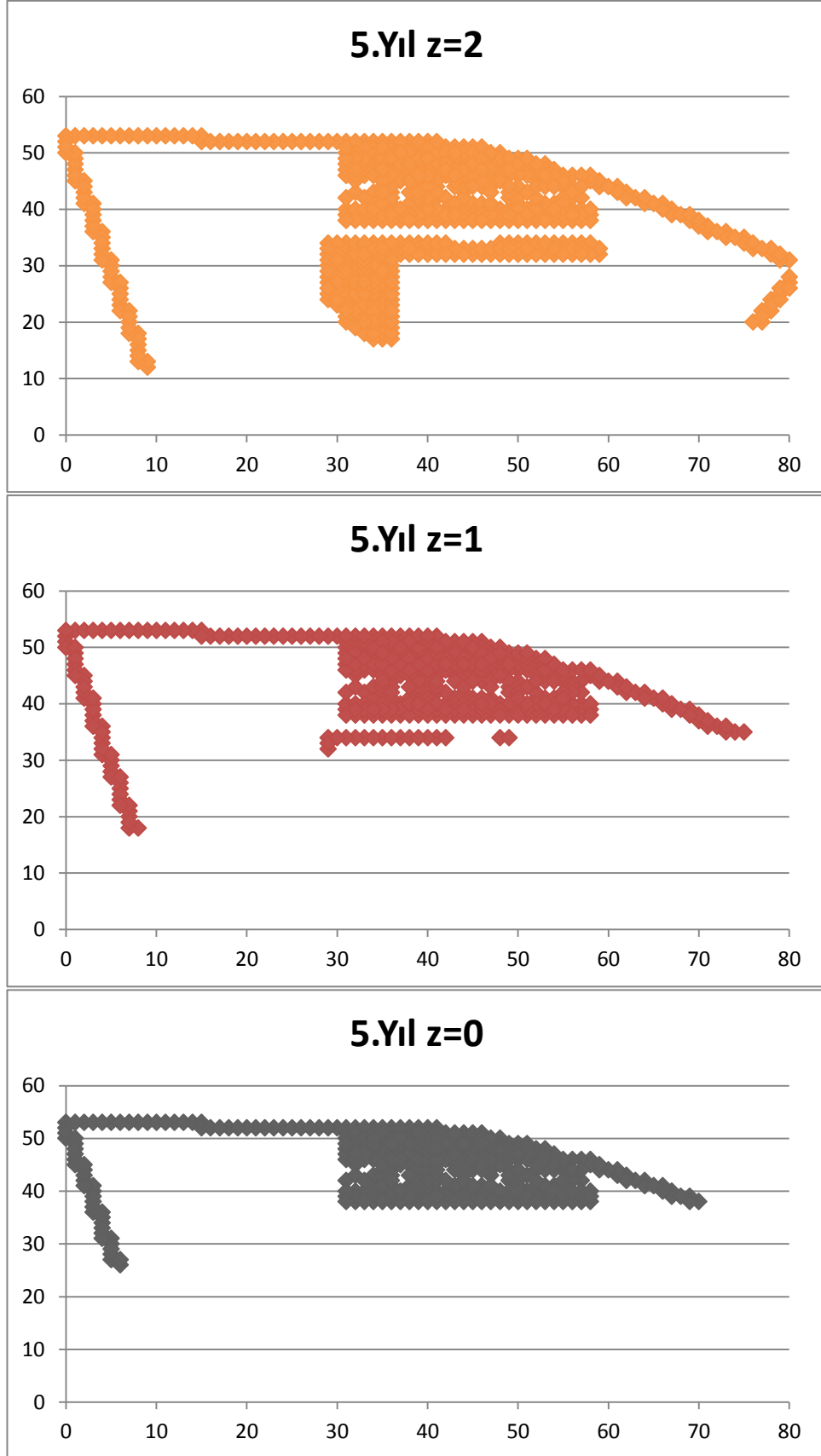


Şekil 20: Her z değeri için 4.yılda çıkarılacak olan blokların x,y koordinatları

Çalışmanın son senesi yani 5. Sene için ise 5276 adet blok çıkarılması planlanmıştır. Çıkarılacak blokların 779 adedi $z=7$ 'de, 792 adet $z=6$ 'da, 973 adedi $z=5$ 'de 776 adedi $z=4$ 'de, 706 adedi $z=3$ 'de, 624 adedi $z=2$ 'de, 421 adedi $z=1$ 'de ve 385 adedi $z=0$ da yer almaktadır. Bu yılda çıkartılacak dekapaj bloğu 4388, 1. Kalite kömür bloğu 168, 2. Kalite kömür bloğu 155 ve 3. Kalite kömür bloğu 565 adettir. Bu üretim işlemi esnasında 691400 ton kömür, 4253700 m³ örtü kazı toprağı çıkarılması hedeflenmiştir. Şekil 21 çıkarılması planlanan bloklar iki boyutlu olarak gösterilmiştir.







Şekil 21: Her z değeri için 5.yılda çıkarılacak olan blokların x,y koordinatları

Bu bilgiler ışığında elde edilen bilgiler Tablo 12 ve Tablo 13 de özetlemiştir. Buna göre firma en düşük üretimini 4. Yıl, 545300 ton üreterek gerçekleştirebilecektir. En yüksek üretiminin ise 3.yıl 717900 ton kömür çıkarılarak gerçekleştirilmesi mümkündür.

Tablo 12: Yıllık planlanan üretim miktarı

	Yıllık Üretim Miktarı	
	Cevher / ton	Örtü Kazı Toprağı /m ³
1.Yıl	615300	2957100
2.Yıl	684300	3031300
3.Yıl	717900	3328000
4.Yıl	545300	2241800
5.Yıl	691400	4253700

Tablo 13: Çıkarılması planlanan blokların kaliteleri

	Dekupaj Bloğu	1.Kalite Kömür	2.Kalite Kömür	3.Kalite Kömür
1.Yıl	2943	373	474	0
2.Yıl	3011	128	775	32
3.Yıl	3402	12	639	298
4.Yıl	2508	39	170	423
5.Yıl	4388	168	155	565
Toplam	16252	720	2213	1318

Tablo 14’da yer alan bilgilere göre ise firma en fazla sayıda cevher bloğunu 3. yıl çıkaracaktır. Bu blokların büyük bir kısmı 2. kalite kömürlerden oluşmaktadır. En fazla 1. kalite kömürü yani ekonomik değeri daha yüksek olan kömürü ise 1. yılda çıkarması planlanmıştır. Ekonomik açıdan daha az değerli olan 3. kalite kömürlerin büyük bir çoğunluğunun ise 5. yılda çıkarılması hedeflenmiştir.

SONUÇ

Zengin ham madde kaynaklarına sahip olmak, ülkelerin kalkınmalarında ve geleceğine yön vermelerinde önemli etkiye sahiptir. Üretim sistemlerinin en büyük öneme sahip parçasının hammadde olduğu da bilinen bir gerçektir. Bu bağlamda yer altı kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesi ülke ekonomisine önemli katkılar sağlar. Yer altı kaynakları bakımından zengin bir ülke olan Türkiye ekonomisinde de madencilik önemli bir yere sahiptir. Maden üretim faaliyeti, yani yer altındaki cevherin çıkarılıp işlenerek ya da ham haliyle müşteriye sunulması Türkiye'deki önemli üretim faaliyet kollarından biridir. Fakat başarısız üretim yönetimleri yüzünden faaliyetlerini sürdüremeyen birçok firmanın da içinde olduğu bir üretim faaliyet koludur. Madencilik sektöründe, ana hatlarıyla iki tip üretim sistemi vardır, bunlar açık ocak madenciliği ve yer altı madenciliğidir. Üretim sistemi seçimi hammaddenin yapısına bağlı olarak belirlenmektedir yani cevherin yeryüzüne yakınlığı ile alakalıdır. Madencilik sektörü küçük ve ya orta ölçekli firmalar için girilmesi istenen karlılığı yüksek bir sektör olarak görülmektedir. Bunun başlıca nedeni üretimin birçok sektöre oranla kolay olması, başarılı yönetilmesiyle büyük karlar elde edilebilecek bir yapıya sahip olmasıdır. Yer altı madenciliği gerektirdiği yüksek sermaye ve teknoloji gücü nedeniyle genellikle büyük ölçekli firmalar tarafından tercih edilmektedir. Küçük ve orta ölçekli firmaların çoğu ise açık ocak madenciliği ile üretimlerini gerçekleştirmektedirler.

Madencilik sektöründe en önem arz eden şey cevherin yapısıdır. Cevherin ekonomik değeri ve yer altındaki yayılımı üretilebilirliğin en önemli unsurudur. Çok değerli bir cevherin, çok az bir alanda yer alması, o alanda üretim için katlanılması gereken maliyetlere değmeyeceğinden ötürü, çıkarılmayabilir. Eğer çıkarılabilir düzeyde bir maden cevheri varsa, basit bir ifadeyle üretim için gerekenler kepçe, kamyon vb. ekipman, işçi ve sermayedir. Bu nedenledir ki küçük ve orta ölçekli birçok firma madencilik sektöründe ya da sektöre girme arayışındadır. Fakat bu firmaların birçoğu üretimlerini başarısız planlamaları yüzünden faaliyetlerine son vermek zorunda kalabilmektedirler.

Tüm üretim faaliyetlerinde, üretimin yönetilmesi en önemli verimlilik kaynağıdır. Bir üretim faaliyetinde başarılı olabilmek için, bu süreçte önem arz eden üretim miktarı, ürünün kalite, üretileceği zaman ve katlanılacak maliyet unsurları belirlenmelidir.

Hammaddenin kalitesi, stoku, üretimi gerçekleştirilecek maddenin tasarımı, işleme sırası, kalite kontrolü, ürünün stok yönetimi, ambalajlanması, ihtiyaç duyulan çalışan sayısı, çalışan ücret düzenlemesi gibi birçok tamamlayıcı kararların da belirlenmesiyle üretimin planlanıp bu plan dahilinde yönetilmesi gerekmektedir. Maden üretimi yapan firmalar için de yukarıda bahsedildiği gibi başarılı bir üretim için planlama ve onun yönetilmesi büyük önem taşımaktadır.

1940'lı yıllarda üretim yönetiminde kantitatif yöntemleri alanındaki gelişmeler ilerleyen yıllarda maden üretim planlama ve çizelgeleme alanındaki gelişmelere de destek olmuştur. 1940'ların sonunda Dantzig'in literatüre kattığı Doğrusal Programlama yöntemi ile matematiksel modeli oluşturulan problemler için optimizasyon yapılabilmesi sağlanmıştır. Belirli bir problemin optimizasyonunda öncelikle amaç bir fonksiyon haline getirilip, problemde amaca ulaşmak için sağlanması gereken kısıtların matematiksel bir ifade ile yazılmasıyla, problemin matematiksel modeli hazırlanmış olur. Dantzig'in ardından birçok bilim insanı bu matematiksel modellerin çözümü için tam sayılı programlama, dinamik programlama, sezgisel yöntemler gibi çeşitli yöntemler ortaya çıkarmışlardır.

Geliştirilen bu yöntemler çoğu kez üretimle ilgili problemlere de uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Maden üretiminde karşılaşılan planlama problemleri için uygulanan optimizasyon yöntemleri ise 1960'lı yıllarda Lerchs ve Grossman'ın ve Johnson'ın çalışmaları ile literatüre girdiği varsayılmaktadır. Günümüzde birçok madencilik ile ilgili uygulamanın algoritmasının temelini oluşturan bu çalışmalarda, genel ifadesiyle rezerv, eğitim, üretim kapasitesi ve işleme kapasitesi gibi kısıtlar altında, maden bloklarının net bugünkü değerlerinin maksimizasyonu yapılmıştır. Maden üretimi planlama problemleri temelde ikiye ayrılmışlardır. Birincisi yer altındaki cevhere ve üretime ait her şeyin kesin olarak bilindiği varsayılan deterministik yaklaşımlı problemler, ikincisi ise cevherin miktarı, kalitesi, risk derecesi gibi problem unsurlarının kesin olarak bilinmediği stokastik yaklaşımlı problemlerdir. Bu her iki maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinin çözümünde de var olan tüm matematiksel modeller kullanılmıştır ve hepsinin farklı avantaj ve dezavantajları olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin doğrusal programlama yönteminin kullanıldığı problemler; genellikle optimal sonuca ulaşamaması, çok fazla kısıt içermesi gibi dezavantajlara ve büyük ölçekli

maden rezervlerine uygulanabilme gibi avantajlara sahiptir. Tam sayılı programlama ile çözülen modellerin ise çok fazla değişken içermesi, büyük ölçekli rezervlere uygulanamaması gibi dezavantajları, blokları parçalı bir şekilde çıkarabilme gibi de avantajları vardır. Dinamik programlama ile çözülen maden üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinin ise avantajı; her türlü operasyonel kısıtı içermesi, dezavantajı ise: dinamik sınır tenörüne ulaşamama ihtimali içermesidir. Bir diğer çözüm metodu olan sezgisel yöntemlerin sağladığı avantajlardan biri kabul edilebilir bir zaman diliminde iyi bir sonuç vermesi iken dezavantajı esnek bir yapısı olması ve bu nedenle sonucun her adımda değişebilirliğinin olmasıdır.

Bu çalışma kapsamında literatüre Lerchs ve Grossman'ın çalışmalarıyla girdiği varsayılan, maden üretim planlama ve çizelgeleme probleminin tam sayılı programlama yöntemi ile çözümü, madencilik sektöründe uzun yıllardır faaliyet gösteren orta ölçekli bir firmanın problemine uyarlanmıştır. Kar Maden firmasının üretim planlama konusundaki problemlerinin çözümü amacıyla kömür ocağına ait cevher bilgileri alınmıştır. Buna göre ocak örtü kazı ve cevher bloğu olmak üzere $10*10*10m^3$ boyutlarında 20503 bloğa ayrılmış ve her blok için var olan kalori değerine göre ekonomik değer belirlenmiştir. Ardından bu bilgiler ile maden ocağının 5 yıl işletilmesi şartıyla, her bir bloğun karının net bugünkü değerini maksimize etmek için, amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Üretim esnasında önem taşıyan rezerv, eğitim, üretim kapasitesi ve işleme kapasitesi kısıtlarının da formülize edilmediyse matematiksel model tamamlanmıştır.

Oluşturulan matematiksel modelin çözümü için Python programı ve Gurobi optimizasyon çözücüsünden yararlanılmıştır. Gerekli kodlamaların ardından çalıştırılan programa göre;

Firma, bahsi geçen kömür ocağında bulunan toplam 20503 adet kömür ve dekapaj bloğunun 3790 adedi birinci yıl, 3946 adedi ikinci yıl, 4351 adedi üçüncü yıl, 3140 adedi dördüncü yıl ve 5276 adedi beşinci yıl çıkarılması planlanmıştır. İlk yıl yaklaşık Firmanın bu üretim planına uygun bir şekilde üretim faaliyetlerini gerçekleştirebilirse elde edeceği toplam kârın net bugünkü değeri 49.805.396,5 TL olacaktır. Buna göre firma senelik yaklaşık olarak 10.000.000 TL kâr elde edebilecektir.

Firma yetkililerinden ilgili ocak hakkında öngörülerini istendiğinde firma mühendisi bu kömür ocağından 5 yıl boyunca toplamda yaklaşık olarak 30.000.000TL kazanmayı hedeflediklerini ve en az örtü kazı toprağı (dekapaj bloğu) bulunan, x,y koordinat

düzleminde (12,1) 'in temsil ettiği bölgeden başlayıp x yönünde devam etmeyi planladıklarını belirtmişlerdir. Buna göre yapılan optimizasyon çalışmasının firmaya 19.805.396,5 TL daha fazla kâr sağlayacağı, firmanın çalışma sonucunda çıkan üretim plan ve çizelgesine uymasının yararına olacağı sonucuna varılmıştır.

Tez kapsamında yapılan bu çalışmanın madencilik sektöründeki diğer cevherler için de uygulanabilirliği bulunmaktadır. Gelecek çalışmalarda mermer ocağı, demir madeni ocağı gibi birçok maden ocağına bu çalışmada kullanılan model uygulanabilir. Madencilik içerisinde birçok belirsizliği barındırdığı için stokastik çalışmalara fazlasıyla açık bir sektördür. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, stokastik yöntem ile maden üretimi planlama ve çizelgeleme üzerine yoğunlaşılabilir.

KAYNAKÇA

Akaike, A., & Dagdelen, K. (1999). A strategic production scheduling method for an open pit mine. In C. Dardano, M. Francisco, & J. Proud (Eds.), *Proceedings of the 28th applications of computers and operations research in the mineral industries conference (APCOM)*, Golden, CO (pp. 729–738).

Amankwah, H. (2011). *Mathematical optimization models and methods for open-pit mining*.

Amaya, J., Espinoza, D., Goycoolea, M., Moreno, E., Prevost, T., & Rubio, E. (2009). A scalable approach to optimal block scheduling. In *35th APCOM*, Vancouver, Canada.

Asad, M. W. A., & Dimitrakopoulos, R. (2012). Implementing a parametric maximum flow algorithm for optimal open pit mine design under uncertain supply and demand. *Journal of the Operational Research Society*, 64(2), 185-197.

Balas, E. (1965). An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables. *Operations Research*, 13(4), 517-546.

Beale, E. M. (1955). On minimizing a convex function subject to linear inequalities. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 173-184.

Bellman, R. (1954). *The theory of dynamic programming* (No. P-550). RAND CORP SANTA MONICA CALIF.

Bienstock, D., & Zuckerberg, D. (2010). Solving LP relaxations of large-scale precedence constrained problems. In: *Lecture notes in computer science* (Vol. 6080, pp. 1–14).

Blackett, P. M. S. (1941). *Scientists at the operational level*. UK Admiralty, London.

Bley, A., Boland, N., Fricke, C., & Froyland, G. (2010). A strengthened formulation and cutting planes for the open pit mine production scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1641-1647.

Busnach, E., Mehrez, A., & Sinuany-Stern, Z. (1985). A production problem in phosphate mining. *Journal of the Operational Research Society*, 285-288.

- Caccetta, L., & Hill, S. (2003). An application of branch and cut to open pit mine scheduling. *Journal of Global Optimization*, 27(2–3), 349–365.
- Cai, W. (2001). Design of open-pit phases with consideration of schedule constraints. H. Xie, Y. Wang, Y. Jiang, eds. *Proc. 29th Internat. Appl. Comput. Oper. Res. Mineral Indust. (APCOM) Sympos., CUMT, Beijing*, 217–221.
- Chambers, S., Johnston, R., & Slack, N. (2004). *Operations Management*. Pearson Education UK
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1959). Chance-constrained programming. *Management science*, 6(1), 73-79.
- Chicoisne, R., D. Espinoza, M. Goycoolea, E. Moreno, E. Rubio. (2009). A new algorithm for the open-pit mine scheduling problem. Working paper, Universidad Adolfo Ibañez and Universidad de Chile, Santiago.
- Clement, S., & Vagenas, N. (1994). Use of genetic algorithms in a mining problem. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 8, 131–136.
- Consuegra, F. R., & Dimitrakopoulos, R. (2010). Algorithmic approach to pushback design based on stochastic programming: method, application and comparisons. *Mining Technology*, 119(2), 88-101.
- Dagdelen, K., & Johnson, T. (1986). Optimum open pit mine production scheduling by Lagrangian parameterization. In 19th APCOM, University Park, PA (pp. 127–141).
- Dantzig, G. B. (1948). *Programming in a linear structure*. Washington, DC.
- Dantzig, G. B. (1955). Linear programming under uncertainty. *Management science*, 1(3-4), 197-206.
- Dantzig, G. B., & Wolfe, P. (1960). Decomposition principle for linear programs. *Operations research*, 8(1), 101-111.
- Dantzig, G. B. (1965). *Linear programming and extensions*. Princeton university press.
- Dantzig, G. B. (2002). Linear programming. *Operations Research*, 50(1), 42-47.

- Darwen, P. J. (2001). Genetic algorithms and risk assessment to maximize NPV with robust open-pit scheduling. Fourth biennial conference on strategic mine planning (pp. 29–34). Western Australia: Perth.
- Demir, M. H., & Gümüsoğlu, Ş. (2009). Üretim yönetimi:(işlemler yönetimi). Beta.
- Denby, B., & Schofield, D. (1994). Open-pit design and scheduling by use of genetic algorithms. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Industry, 103, A21–A26.
- Denby, B., Schofield, D., McClarnon, D. J., Williams, M., & Walsh, T. (1998). Hazard awareness training for mining situations using virtual reality. In Computer applications in the minerals industries. International symposium (pp. 695-705).
- Dimitrakopoulos, R. (1998). Conditional simulation algorithms for modelling orebody uncertainty in open pit optimisation. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 12(4), 173-179.
- Dimitrakopoulos, R., & Ramazan, S. (2004). Uncertainty based production scheduling in open pit mining. SME transactions, 316.
- Dimitrakopoulos, R. (2011). Stochastic optimization for strategic mine planning: A decade of developments. Journal of Mining Science, 47(2), 138-150.
- Dowd, P., A. Onur. (1993). Open-pit optimization, part 1: Optimal open-pit design. Mining Tech.: IMM Trans. Sect. A 102 A95–A104.
- Dowd, P. A. (1994). The optimal design of quarries. Geological Society, London, Special Publications, 79(1), 141-155.
- Elevli, B. (1995). Open pit mine design and extraction sequencing by use of OR and AI concepts. Internat. J. Surface Mining Reclamation Environ. 9(4) 149–153. Epstein, R., S. Gaete, F. Caro, A. Weintraub, P. Santibañez,
- Erarslan, K., N. Çelebi. (2001). A simulative model for optimum pit design. CIM Bull. 94(1055) 59–68.

- Erarslan, K., Çelebi, N., & Paşamehmetoğlu, A. (2001) Açık Ocak Sinirlarinin Üretim Planinin Bir Fonksiyonu Olarak Simülatif Optimizasyonu.
- Flood, M. M. (1954). Application of transportation theory to scheduling a military tanker fleet. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2), 150-162.
- Ford, L. R., & Fulkerson, D. R. (1962). *Flows in networks* (Vol. 3). Princeton University Press: Princeton.
- Fourier, J. B. J. (1826). Solution d'une question particuliere du calcul des inégalités. *Nouveau Bulletin des Sciences par la Société philomatique de Paris*, 99, 100.
- Frimpong, S., E. Asa, J. Szymanski. (2002). Intelligent modeling: Advances in open pit mine design and optimization research. *Internat. J. Surface Mining Reclamation Environ.* 16(2) 134–143.
- Fytas, K., Hadjigeorgiou, J., & Collins, J. (1993). Production scheduling optimization in open pit mines. *International Journal of Surface Mining*, 7(1), 1–9.
- Gantt, H. L. (1903). A graphical daily balance in manufacture.
- Gershon, M. E., & Murphy, F. H. (1989). Optimizing single hole mine cuts by dynamic programming. *European journal of operational research*, 38(1), 56-62.
- Gleixner, A. (2008). Solving large-scale open pit mining production scheduling problems by integer programming. Master's thesis, Technische Universität Berlin.
- Godoy, M., & Dimitrakopoulos, R. (2004). Managing risk and waste mining in long-term production scheduling of open-pit mines. *SME Transactions*, 316.
- Gomory, R. E. (1958). Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 64(5), 275-278.
- Halatchev, R. (2005). A model of discounted profit variation of open pit production sequencing optimization. R. Ganguli, S. Dessureault, V. Kecojevic, J. Dwyer, eds. *Proc. 32nd Internat. Appl. Comput. Oper. Res. Mineral Indust. (APCOM) Sympos.*, SME, Littleton, CO, 315–323.

- Hitchcock, F. L. (1941). The distribution of a product from several sources to numerous localities. *J. Math. Phys.*, 20(2), 224-230.
- Hochbaum, D. S., A. Chen. (2000). Performance analysis and best implementations of old and new algorithms for the open-pit mining problem. *Oper. Res.* 48(6) 894–914.
- Hoerger, S., L. Hoffman, F. Seymour. (1999). Mine planning at Newmont's Nevada operations. *Mining Engrg.* 51(10) 26–30.
- Kantorovich, L. V. (1939). The mathematical method of production planning and organization. *Management Science*, 6, 363-422.
- Kawahata, K. (2006). A new algorithm to solve large scale mine production scheduling problems by using the Lagrangian relaxation method. PhD thesis, Colorado School of Mines.
- Kılıç, O. A. (2011). Planning and scheduling in process industries considering industry-specific characteristics.
- Klingman, D., & Phillips, N. (1988). Integer programming for optimal phosphate-mining strategies. *Journal of the Operational Research Society*, 805-810.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (1999). *Operations management*. Addison-Wesley.
- Krishna Sundar, D., & Acharya, D. (1995). Blast schedule planning and shiftwise production scheduling of an opencast iron ore mine. *Computers & industrial engineering*, 28(4), 927-935.
- Kumar, A.S., & Suresh, N. (2006) *Production and operations management*. New Age International Publishers.
- Kumral M. (2010) Robust stochastic mine production scheduling. *Eng Optim* ;42(6):567–79.
- Kumral M. (2010) Production planning of mines: optimisation of block sequencing and destination. *Int J Min Reclam Environ*;26(2):93–103.

- Kumral, M. (2013). Multi-period mine planning with multi-process routes. *International Journal of Mining Science and Technology*.
- Lamghari, A., & Dimitrakopoulos, R. (2012). A diversified Tabu search approach for the open-pit mine production scheduling problem with metal uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 642-652.
- Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.
- Leite, A., & Dimitrakopoulos, R. (2007). Stochastic optimisation model for open pit mine planning: application and risk analysis at copper deposit. *Mining Technology*, 116(3), 109-118.
- Lerchs, H., I. Grossmann. (1965). Optimum design of open-pit mines. *Canadian Mining Metallurgical Bull.* 58 17–24.
- Li, S., Dimitrakopoulos, R., Scott, J. R., & Dunn, D. (2004). Quantification of geological uncertainty and risk using stochastic simulation and applications in the coal mining industry. In *Orebody Modelling and Strategic Mine Planning--Uncertainty and Risk Management International Symposium 2004* (pp. 185-192). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Jalali, S. E., M. Atae-pour, K. Shahriar. (2006). Pit limits optimization using a stochastic process. *CIM Magazine* 1(6) 90.
- Johnson, T. (1969). Optimum open pit mine production scheduling. In A. Weiss (Ed.), *A decade of digital computing in the mining industry*. New York: American Institute of Mining Engineers. Chap 4.
- Monge, G. (1781). *Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais*. De l'Imprimerie Royale.
- Newman, A. M., Rubio, E., Caro, R., Weintraub, A., & Eurek, K. (2010). A review of operations research in mine planning. *Interfaces*, 40(3), 222-245.

- Onur, A. H., & Dowd, P. (1993). Open-pit optimization- Part 2: Production scheduling and inclusion of roadways. *TRANS INST MIN METALL SECT A MIN IND.*, 102, 105-113.
- Orlicky, J. A. (1967). Designing a System for Production and Inventory Control. *Automation*, Cleveland, 14(2), 74.
- Osanloo, M. and Ataei, M., (2003) Combination of genetic algorithm and grid search method to determine optimum cutoff grades of multiple metal deposits. *Int. J. Surf. Mining, Reclam. Environ.*, 18, 60 – 78.
- Osanloo, M., Gholamnejad, J., & Karimi, B. (2008). Long-term open pit mine production planning: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 22(1), 3-35.
- Ramazan, S., & Dimitrakopoulos, R. (2004). Recent applications of operations research and efficient MIP formulations in open pit mining. *Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Transactions*, 316.
- Ramazan, S., Dagdelen, K., & Johnson, T. B. (2005). Fundamental tree algorithm in optimising production scheduling for open pit mine design. *Mining Technology*, 114(1), 45-54.
- Ramazan, S. (2007). The new fundamental tree algorithm for production scheduling of open pit mines. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 1153-1166.
- Ramazan, S., & Dimitrakopoulos, R. (2012). Production scheduling with uncertain supply: A new solution to the open pit mining problem. *Optimization and Engineering*, 1-20.
- Ravenscroft, P. J. (1992). Risk analysis for mine scheduling by conditional simulation. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section A. Mining Industry*, 101.
- Roman, R. J. (1974). The role of time value of money in determining an open pit mining sequence and pit limits. In 12th Apoom Symposium.

- Samanta, B., Ganguli, R., & Bandopadhyay, S. (2005). Comparing the predictive performance of neural networks with ordinary kriging in a bauxite deposit. *Mining Technology*, 114(3), 129-139.
- Saygılı, İ. (1991). Üretim yönetiminin fonksiyonları. İÜ.
- Sevim, H., & Lei, D. (1998). The problem of production planning in open pit mines. *INFOR. Information Systems and Operational Research*, 36(1-2), 1-12.
- Slack, N., & Lewis, M. (2002). *Operations strategy*. Pearson Education.
- Tan, S., & Ramani, R. (1992). Optimization models for scheduling ore and waste production in open pit mines. In *23rd APCOM* (pp. 781-791). Tucson: SME of the AIME.
- Tarim, S. A. (1996). *Dynamic lotsizing models for stochastic demand in single and multi-echelon inventory systems* (Doctoral dissertation, PhD thesis, Lancaster University).
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. New York, 202.
- Tolwinski, B. (1998). Scheduling production for open pit mines. In *Computer applications in the minerals industries. International symposium* (pp. 651-662).
- Tolwinski, B., & Golosinski, T. S. (1995). Long term open pit scheduler. *Mine Planning and Equipment Selection 1995*, 265.
- TÜTEK Hülya, GÜMÜŞOĞLU Şevkinaz, *Sayısal Yöntemler, Yönetmel Yaklaşım*, İstanbul, 1994.
- Underwood, R., & Tolwinski, B. (1998). A mathematical programming viewpoint for solving the ultimate pit problem. *European Journal of Operational Research*, 107(1), 96-107.
- Vallée-Poussin, C. J. (1911). de la: Sur la méthode de l'approximation minimum. *Soc. scient. Bruxelles. Annales, 2e partie, mémoires*35, 1-16.

Wang, Q., & Sun, H. (2001). A theorem on open-pit planning optimization and its application. H. Xie, Y. Wang, Y. Jiang, eds. Proc. 29th Sympos. APCOM. AA Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, 295-298.

Winston, W. L., & Goldberg, J. B. (1994). Operations research: applications and algorithms.

Wright, E. (1989). Dynamic programming in open pit mining sequence planning: A case study. A. Weiss, ed. Proc. 21st Internat. Appl. Comput. Oper. Res. Mineral Indust. (APCOM) Sympos., SME, Littleton, CO, 415–422.

Zhang, M. (2006). Combining genetic algorithms and topological sort to optimize open-pit mine plans. In M. Cardu, R. Ciccu, E. Lovera, & E. Michelotti (Eds.), 15th mine planning and equipment selection (pp. 1234–1239). Torino: FIORDO S.r.l.

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/09/20100930-14.htm>

<http://www.netsis.com.tr/cozumler/kurumsal-kaynak-planlamasi-erp/>

EK 1: Matematiksel Modelin Python Program Kodu

```
from gurobipy import*

year=[1,2,3,4,5]

gmin= 2400

gmax= 2900

pcmax=750 #*1000

pcmin=100 #*1000

mcmax=4000 #*1000

mcmin=500 #*1000

f = open('data.txt','r')

lines = f.readlines()

f.close()

blockdata = {}

for line in lines:

    temp = [n for n in line[:-1].split('\t')]

    name = int(temp[0]),int(temp[1]),int(temp[2])

    data = [float(n) for n in temp[3:]]

    blockdata[name] = data

m=Model("mip")

b={}

for (x,y,z) in blockdata:
```

```

for n in range(1,len(year)+1):

    b[x,y,z,n]=m.addVar(vtype="B")

m.modelSense=GRB.MAXIMIZE

m.update()

m.setObjective(quicksum([ blockdata[x,y,z][3]/pow(1.1,n) * b[x,y,z,n] for n in range
(1, 6) for (x,y,z) in blockdata ]))

for (x,y,z) in blockdata:

    for n in range (1,len(year)+1):

        for t in range (1,n):

            try:

                m.addConstr ( 9 * b[x,y,z,n] - (b[x-1,y-1,z-1,t]+b[x-1,y,z-1,t]+b[x-
1,y+1,z-1,t]+b[x,y-1,z-1,t]+b[x,y,z-1,t]+b[x,y+1,z-1,t]+b[x+1,y-1,z-
1,t]+b[x+1,y,z-1,t]+b[x+1,y+1,z-1,t]) <=0)

            except:

                KeyError

for n in range(1,len(year)+1):

    m.addConstr(quicksum([(blockdata[x,y,z][0]-gmin)*blockdata[x,y,z][1]*b[x,y,z,n]
for (x,y,z) in blockdata])>= 0)

for n in range(1,len(year)+1):

    m.addConstr(quicksum([(blockdata [x,y,z][0]- gmax)* blockdata[x,y,z][1] *
b[x,y,z,n] for (x,y,z) in blockdata])<= 0)

for n in range(1,len(year)+1):

```

```

    m.addConstr(quicksum([blockdata[x,y,z][1]*b[x,y,z,n] for (x,y,z) in blockdata ])>=
pcmin)

for n in range(1,len(year)+1):

    m.addConstr(quicksum([blockdata[x,y,z][1]*b[x,y,z,n] for (x,y,z) in blockdata ])<=
pcmax)

for (x,y,z) in blockdata:

    m.addConstr (quicksum([b[x,y,z,n] for n in range(1,len(year)+1) ]) <= 1)

for n in range(1,len(year)+1):

    m.addConstr(quicksum([(blockdata[x,y,z][1]+ blockdata[x,y,z][2])*b[x,y,z,n] for
(x,y,z) in blockdata ])>= mcmin)

for n in range(1,len(year)+1):

    m.addConstr(quicksum([(blockdata[x,y,z][1]+ blockdata[x,y,z][2])*b[x,y,z,n] for
(x,y,z) in blockdata ])<= mcmax )

m.optimize()

if (m.status==GRB.status.OPTIMAL):

    for (x,y,z) in blockdata:

        for n in range(1,len(year)+1):

            print x,y,z,n, b[x,y,z,n]

print "Getiri", m.objVal

else:

    print "OptimalSonucYok"

```

EK 2: Python Programı Tarafından Düzenlenen Log Dosyası

Python 2.7.6 (default, Nov 10 2013, 19:24:24) [MSC v.1500 64 bit (AMD64)] on win32

Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.

Optimize a model with 106648 rows, 102515 columns and 730320 nonzeros

Presolve removed 10 rows and 0 columns (presolve time = 5s) ...

Presolve removed 17233 rows and 0 columns

Presolve time: 8.66s

Presolved: 89415 rows, 102515 columns, 591177 nonzeros

Variable types: 0 continuous, 102515 integer (102515 binary)

Root simplex log...

Root relaxation: objective 6.470650e+07, 151289 iterations, 691.89 seconds

Total elapsed time = 752.89s

Total elapsed time = 853.80s

Total elapsed time = 900.23s

Total elapsed time = 928.66s

Total elapsed time = 955.80s

Cutting planes:

Gomory: 27

Clique: 7050

MIR: 4134

Zero half: 11908

Explored 0 nodes (431173 simplex iterations) in 6115.74 seconds

Thread count was 4 (of 4 available processors)

Optimal solution found (tolerance 1.80e-01)

Best objective 4.98053965e+07 , best bound 5.47854796e +07, gap 9.9975%