

## Büyük Veriyle Kaynak ve Kapasite Kısıtları Altında Üretim Planlama ve Çizelgeleme

Burcu KARAÖZ AKIN<sup>1</sup> , Göktürk AKIN<sup>2</sup>

### Özet

Büyük veri, işletmelerin iç yapısında biriken veya çeşitli dış kaynaklardan toplanan verilerin derlenmesi, depolanması, düzenlenmesi ve analiz edilmesiyle anlamlı bilgiler ortaya çıkararak, işletmeler için fayda yaratabilmektedir. İşletmenin fonksiyonlarından biri olan üretim alanında veri derlemek bu verileri yapısal hale getirerek değer yaratmak büyük avantaj yaratmaktadır. Büyük veri setlerinin analiz edilerek üretim planlamasında kullanılması hammaddelerin başarılı bir şekilde çıktılarına dönüşebilmesinde önemli rol oynamaktadır. Madencilik sektörü içinde birçok belirsizliği barındırması, sermaye yoğun bir iş olması nedeniyle uzun vadeli üretim planlamasına ihtiyaç duyan sektörlerden biridir. Öte yandan gelişen teknolojiyle beraber maden sahaları hakkında büyük veri setlerinin derlenebilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu çalışma kapsamında açık ocak madenciliği yapan orta büyüklükte bir firmanın sahip olduğu kömür ocağında yaşanan sorunların çözülebilmesi amacıyla maden sahasından gerekli veri toplanarak uzun vadeli üretim planlaması ve çizelgeleme yapılmıştır. Firmanın üretimini etkileyen kaynak ve kapasite kısıtları ve sahip olduğu cevherin özellikleri, literatürde yer alan tam sayılı üretim planlama ve çizelgeleme matematiksel modellerine uyarlanmıştır. Kurulan matematiksel model Python programlama diliyle çözülmüştür. Çalışmanın sonucunda firmanın ilgili kömür ocağındaki 5 yıllık üretiminin çizelgesine ve toplamda elde edeceği kârın net bugünkü değerine ulaşılmıştır. Çalışma yararlandığı büyük veri setleri ve matematiksel model sayesinde ortaya çıkardığı plan ile firmaya gelecek için politikalar geliştirebilme imkânı sunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Üretim yönetimi, büyük veri, kapasite kısıtı, kaynak kısıtı, üretim planlama ve çizelgeleme, doğrusal programlama

**Jel Kodu:** C02, C80, D24

### **Production planning and scheduling with big data under resource and capacity constraints**

#### Abstract

Big data creates value and gains insight into knowledge via collecting, warehousing, organizing and analyzing the data that obtained from operations or external resources. Make benefit of big data analysis while 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. However, advancing technology provides getting more information about the mining areas and helps to enable collecting and analyzing big data. 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. Production plan which is a result of mathematical model driven by big data, provides the ability of generating strategies for future to company.

**Keywords:** Production management, big data, planning, scheduling, capacity constraint, resource constraint, linear programming

**Jel Codes:** C02, C80, D24

---

**ATIF ÖNERİSİ (APA):** Akın Karaöz, B., Akın, G. (2021). Büyük Veriyle Kaynak ve Kapasite Kısıtları Altında Üretim Planlama ve Çizelgeleme. *İzmir İktisat Dergisi*. 36(4). 759-770. Doi: 10.24988/ije.718638

<sup>1</sup> Dr., Bağımsız Araştırmacı . **EMAIL:** burcukaraoz@gmail.com **ORCID:** 0000-0001-6665-3213

<sup>2</sup> Doktora Öğrencisi, Bağımsız Araştırmacı **EMAIL:** gokturkakin@gmail.com **ORCID:** 0000-0003-4986-3993

## GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile veri akışındaki artışın veri çöplüğü oluşturduğunu düşünmektense, bu verileri analiz ederek anlamlı bilgiler elde edilebilen değerli bir veri yığını olduğunu düşünmek büyük verinin bugün algılanan konumuna getirmiştir. Geçmişte birçok kişinin düştüğü veri çöplüğü yanılıgısı 2010'lu yıllardan sonra ortadan kalkmaya başlamıştır. Birçok kurum veri saklamanın ve bu verinin analiz edilip anlamlandırılmasıyla kazanacağı rekabet avantajının farkına varmış ve buna göre strateji geliştirmeye başlamışlardır. Daha önce elde etmesi bile mümkün olmayan verilerin bugün bilgisayarlar sayesinde kolayca toplanıp derlenebiliyor ve analiz edilebiliyor olması işletmeciliğin her alanında avantaj sağlamaktadır. İşletmenin temel fonksiyonlarından biri olan üretimde de gerek makine verisi gerekse dış kaynaklarla toplanan veriler sayesinde veri analizi ile değer yaratmak mümkün hale gelmiştir. Üretimin başarılı bir şekilde yönetilmesi, firma, piyasa ve ülke ekonomisi düzeyinde büyük öneme sahiptir. Üretim yönetiminin önemli bir parçası da üretim planlaması ve çizelgelemesidir. 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 uyarlanarak anlamlı çıktılar sağlamaktadır.

Bu çalışmada madencilik sektöründe faaliyet gösteren, orta ölçekli bir işletmenin yetersiz planlamadan kaynaklı problemlerinin çözülmesi amacıyla üretim planlaması ve çizelgelemesi yapılmıştır. Üretimin planlanabilmesi için gelişmiş haritalama tekniklerinden elde edilen yapısal olmayan veri, yapısal halde bir büyük veri setine dönüştürülerek kullanılmıştır. 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 en

iyileştiricisi ile çözdürülmüş ve firmanın 5 yıllık üretim planlaması ve çizelgesi oluşturulmuştur.

## MADEN ÜRETİM PLANLAMA

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. 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, 2007:1158). Üretimin kalitesinin ve maliyetinin belirlenmesini sağlayan yıllık üretim planlaması, açık ocak madenciliği için büyük önem arz etmektedir.

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, 2011:3). Açık maden ocaklarının büyüklükleri 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. Madenciliğin herhangi bir seviyesinde, maden işletmecisi bir sonraki adımda hangi maden bloğunun çıkartılıp çıkartılmayacağına karar vermelidir. Maden ocağının eğimi de cevhere ulaşılması için çıkartılması gereken atık maddenin miktarının belirlenmesini etkileyen ana etmenlerden biridir (Hustrulid ve Kuchta, 2006:971).

Maden ocağının limitleri planlama aşamasında belirlenmelidir. Bu limit, çıkartılacak cevher miktarını ve operasyon boyunca çıkartılması gereken atık miktarını belirlemektedir (Amankwah, 2011:6; Samavati ve ark., 2018:224). Bu anlamda azami ocak limitlerinin ve kârın bulunması için yapılan çalışmalardan edinilen bilgiler tüm açık maden operasyonları için büyük önem taşımaktadır. Gelişen teknolojik imkanlar sondaj ile elde edilen bilgilerin çeşitli tekniklerle daha anlamlı ve tüm rezerv alanını kapsayıcı haritalara dönüşmesini sağlamaktadır. Rezerv hakkında detaylı bilgi sunan bu sondaj ve haritalama çalışmaları sonucu elde edilen jeolojik bilgiler kullanılarak maden sahası belli ölçülerde bloklara ayrılır ve her bir maden bloğunun değeri tahmin edilmeye çalışılır. Bunlara ek olarak, çıkartılacak her bir maden bloğunun maden işletmecisine maliyetleri de belirlenerek maden bloklarından elde edilecek kâr 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. Bunun için yapısal olmayan sondaj verilerinin yapısal hale getirilerek matematiksel modellerde kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sayede cevherden elde edilecek gelir ve operasyonun maliyetleri belirlenerek, maden çalışmalarının sürdürülebilirliği incelenmektedir. ( Shishvan ve Sattarvand, 2015:829). 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

uygulanması 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 (Samavati ve ark, 2018: 224).

### **KAVRAMSAL ÇERÇEVE**

Madencilikte üretim planlama problemleri stokastik ve deterministik olarak iki şekilde literatürde yer almaktadır ve bu problemlerin çözümünde kullanılan başlıca yöntemler; doğrusal programla, tam sayılı programlama, karışık tam sayılı programlama, dinamik programlama ve sezgisel yöntemlerdir.

Yöneylem araştırmalarının optimizasyon sürecindeki güçlü yönlerini fark eden Johnson (1968:23) doğrusal programlama (LP) ile bir planlama modeli geliştirmiştir. Johnson (1969:85), modelin çözülmesi için Dantzig ve Wolfe (1960:108) alt gruplara ayırma prensiplerinden faydalanmıştır problemi daha küçük alt modellere ayırmış ve bu modelleri kendi geliştirdiği azami nakit akışı algoritmasıyla çözmüştür. Johnson (1969:24) çalışmasında kısıt olarak; ekipmanların kullanılabilir 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 ve Johnson (1986:136) büyük ölçülerdeki KTP probleminin çözümü ve alt gruplara ayrışması için lagranjlı ayrıştırma yöntemini kullanmıştır. Bu yöntemin eksikliği; lagranj çarpanlarının uygulanabilir sonuçlanmaması durumunda, modelin her zaman optimum sonucu vermemesidir. Gershon (1983:60), 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.

Seymour (1995:3) ve Whittle (1988:333)'in çalışmalarında değişken sayısını azaltmak amacıyla geriitme metodunu kullanmışlardır. Bu geriitmeler yıllık üretim planlamasında maden ömrünün belirlenmesi için bir rehber olarak kullanılmaktadır. Onur ve Dowd (1993:108) 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 (1996:658) dinamik programlama ile sezgisel yöntemi birleştirerek uygulanabilir bir çözüm elde etmişlerdir. Tolwinski (1998:266)'de tasarlanan model aynı sıradaki "atomlar" olarak adlandırılan blokları kombine etmekte ve Lerchs ve Grossmann (1965:23)'de yer alan Lerchs ve Grossmann (LG) metodunu uygulamaktadır. Bu yaklaşım üretim planlamada dinamik programlamanın kullanılmasına imkân vermektedir. Hochbaum ve Chen (2000:895) maden kuyusu limitlerinin maksimize edilmesi için ağırlıklı olarak kullanılan yöntemlerin detaylı bir çalışmasını sunmaktadır.

Whittle (1988:335) Milgawa Algoritması ile Warton (2008:297) ise maden bloklarının teker teker tanımlanması yerine, yüksek değer bölgelerinin tanımlanmasını "step and stride" adı verilen algoritma ile çalışmalar yapmışlardır. Bu tip sezgisel modellenli yaklaşımlar, optimal sonucu garanti etmediği gözlenmiştir. Caccetta ve Hill (2003:360) 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 (2004:74)'da sunulmaktadır. Tasarlanan

modelle 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 (2004:48), tavlama benzetimi optimizasyon modelini, oldukça büyük bir altın madenin üretim planlaması için uygulamaktadır. Alınan sonuçların başarılı olduğu görülse dahi, model tenör karışımı kısıtını, açık bir şekilde dâhil etmemektedir. Dimitrakopoulos ve Ramazan (2004:75), 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. (2010:1743) ve Fricke (2006:18) kesme düzlemi yöntemi kullanmışlardır, Gaupp (2008:98) ise lagranj yöntemini öncesinde bir bloğun olası en erken ve en geç çıkarılma zamanlarını hesaplayarak kullanmıştır. Boland ve ark. (2009:1067) 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.

Ravenscroft (1992:105) ve Dowd (1994:144) geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olasılıklı cevher kütlesi modellerinin ardışık kullanımı ile bu alandaki ilk stokastik çalışmaları yapmışlardır. Dowd (1994:146) bu çalışmasında Monte Carlo tekniğini uygulamıştır. Denby ve Schofield (1994:698) açık ocak dizaynı ve üretim planlaması için tenör değişkenliğini göz önünde bulundurulduğu bir algoritma geliştirmişlerdir. 2004 yılında Dimitrakopoulos ve Ramazan uzun vadeli olasılıksal üretim

planlaması yöntemi ve “Jeolojik Risk İskontosu (GRD)” adı verilen konseptini geliştirmişlerdir. Dimitrakopoulos ve Ramazan (2004:106) 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. (2006:107) stokastik maden üretim planlama da tenör belirsizliğini hesaplayabilmek için raslantısal kısıtlı formülleri kullanılmışlardır. Fakat bu formüller ciddi ve gerçeği yansıtmayan yaklaşımlar yapılmasına neden olmuştur. Grieco ve Dimitrakopoulos (2007:50) bir yer altı maden ocağında yıllık üretim planlaması optimizasyonu için olasılıksal karışık tam sayılı programlama yöntemi kullanmışlardır. Boland ve ark. (2010:1644) gerçek dışı maden yaklaşımlarını uygulanabilir hale de getirebildikleri, çok aşamalı stokastik programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Dimitrakopoulos ve Ramazan (2004:108) 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 çalışmaları ile geleneksel olarak kullanılan bir tane tahmin edilmiş cevher kütlesi modeli ile uygulanan yöntemlerden daha iyi bir sonuç elde etmişlerdir. Kumral (2010:101) 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 (2009:217) ile Scheidt ve Caers(2009:399) tarafından 2010 yılında ise Mustapha ve Dimitrakopoulos(2010:82) tarafından kullanılmıştır. Dimitrakopoulos (2011:139) belirsizlik altında stratejik maden planlama üzerine yaptığı çalışmasında stokastik

benzetim ve stokastik optimizasyon yöntemlerini birlikte kullanarak geliştirilmiş bir matematiksel çalışma alanı yaratmıştır.

### **ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ**

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.

Yanlış ya da eksik üretim planlaması açık ocak madenciliğinde büyük ölçüde sorun teşkil etmektedir. 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 edilmesidir. Bu da pasa döküm sahasının altındaki madenin çıkarılabilmesi için ekstra enerji, zaman vb. harcanmasına neden olmaktadır. Ayrıca kısa vadeli üretim planları ile standart bir üretim miktarı belirlenmemektedir. Başlanılan yerde cevherin miktarının az olması, örtü toprağının fazla olması gibi durumlar yüzünden her yıl istenilen/belirlenen üretim miktarına ulaşamayabilir. İşletmenin bu tarz bir verimsizliklerle karşı karşıya kalmaması için uzun vadeli üretim planlamasına ihtiyacı vardır. 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.

Maden ocaklarında üretime başlanması planlanan bölgenin ve sonrasında izlenecek yolun belirlenmesi yani üretim planının yapılması firmaya stok, yatırım, pazarlama gibi alanlarda avantaj sağlamaktadır. Önceden belirlenen yıllık üretim miktarı sayesinde pazarlama stratejileri geliştirme, öngörülen kar bilgisi ile yeni yatırım kararları alabilme, pasa döküm ve stok saklama alanlarının önceden tasarlanmasıyla stok taşıma maliyetinden kurtulma gibi imkanlar sunulabilmektedir.

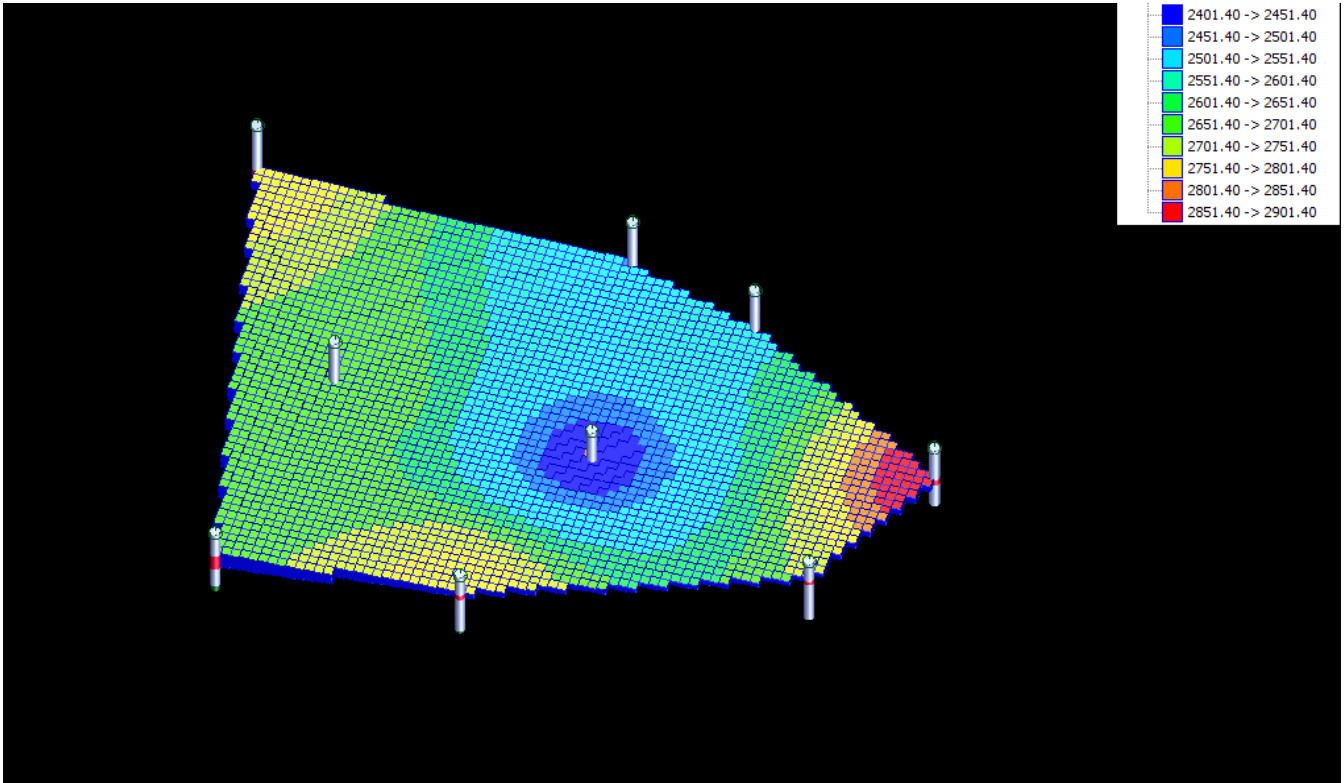
Bu çalışmada kömür madenine sahip, üretim planlamalarını 1-2 aylık gibi kısa vadeli olarak yapan bir firmanın, ilgili maden ocağına ait uzun vadeli üretim planlaması sunulması tasarlanmıştır. Bu sayede firmanın yıllardır yaptığı düzensiz ve verimsiz üretim sisteminden kurtulup başarılı bir üretim planlaması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

Çalışma amacıyla işletmeden sondaj verileri, cevherin kalori değerleri, üretim kapasitesi, işleme kapasitesi, maliyetler ve kalori değerlerine göre değişen satış fiyatları bilgileri elde edilmiştir. Bu bilgilere göre ilgili kömür ocağının 5 yıllık üretimin planlanması ve elde edilecek karın maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, literatürde yer alan açık ocak madenciliği üretim planlama ve çizelgeleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan "Tam Sayılı Programlama" yöntemi, kömür ocağına uyarlanmıştır. Buna göre rezerv, eğim, üretim kapasitesi ve işleme kapasitesi kısıtları

ile kârı maksimize etmek amacıyla 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 m<sup>3</sup>
- Bir yılda yapılabilecek minimum üretim miktarı 500000 m<sup>3</sup>
- Bir yılda işlenebilecek cevher 750000 ton
- Bir yılda işlenebilecek cevher 100000 ton 'dur.



Şekil 1: Cevherin Yayılımı Ve Tenör Değerleri

Çalışmada kullanılacak veri setinin hazırlanması için sondaj verilerinden yararlanılmıştır. 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. Bu maden sahası için her biri 100 metrelik kesitler halinde 9 adet sondaj yapmış ve kalınlıkları 6 ile 15 metre arasında değişen cevher kesitlerine ulaşılmıştır. Bu sayede bölgedeki cevherin yayılımı ve kalınlığı belirlenebilir hale gelmiştir. Öte yandan sondaj sonucu elde edilen numunelerinin içeriğinin analizi için laboratuvara gönderilmesiyle maden sahasındaki kömürün kalori değeri aralığı da belirlenebilmiştir. Surpac programı yardımıyla, sondaj noktaları arasında kalan cevherin yayılımının ve tenör değerinin tahminlenmesi amacıyla -ters uzaklık- yöntemi adı verilen kestirim yöntemi kullanarak maden sahasındaki cevherin üç boyutlu haritası elde edilmiştir (Şekil 1). Buna göre kömür ocağında 10\*10\*10m<sup>3</sup> boyutunda, 20503 adet kömür ve dekupaj bloğu olduğu ortaya çıkmıştır. Harita verisinin yapısal veriye dönüştürülmesi için her bir bloğa içerdikleri cevher ve örtü kazı toprağı oranına göre ekonomik değerler atanmıştır. Üç boyutlu bir düzlemde sunulan harita nedeniyle bloklar veri setine dönüştürülürken xyz blokları olarak adlandırılmış. Bu blokların cevher mi örtü kazı toprağı mı olduğunu tenör ve cevher sütunlarında aldığı değere göre ayrıştırılması sağlanmıştır. Veri setinde örtü kazı bloklarının tenör ve cevher değerleri 0 iken cevher blokları için bu değişkenler sıfırdan büyük değerler almaktadırlar. Bunların yanı sıra rezerv ve cevher yapısı görselinde yer alan farklı renkler madenin tenör değerlerini ifade etmektedir. Mavi renkli bloklar düşük tenörlü, yeşil bloklar orta seviyeli tenör değerini gösterirken sarı ve kırmızı bloklar yüksek tenörü ifade etmektedir. Buna göre oluşturulan veri setine her bir xyz bloğunun tenör değeri de eklenmiştir. Böylece blokların adreslerinin ve özelliklerinin yapısal formata dönüştürülmesi tamamlanmıştır. Bu veri hazırlama ön çalışması için geliştirilen macrolardan yararlanılarak sistematik hale getirilmesi sağlanmıştır. Böylece maden haritasında yer alan cevher ve tenör bilgileri Tablo 1'de bir kesiti sunulan veri setine dönüştürülmüştür.

Yapısal olmayan veri setlerinin çeşitli yollarla analiz edilebilir hale getirilmesi yani yapısal

veri setlerine dönüştürülmeleri, bu verilerin modellenenebilir hale getirilmesini sağlamaktadır. Büyük veri analizinin en önemli sorunlarından biri olarak karşımıza çıkan yapısal olmayan veri setleri de böylece anlamsız yığınlar olmaktan çıkıp değerli bilgilere dönüşmektedir.

**Tablo 1:** Verilerin Yapısal Hale Getirilmesi

Koordinat	Tenör	Cevher	Örtü kazı	Ekonomik Değer		
x	y	z	[x,y,z]	[x,y,z](m <sup>3</sup> )	[x,y,z](m <sup>3</sup> )	(TL)
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
...	...	...	...	...	...	...

Bu ön çalışmayla analiz yapılması güç olan üç boyutlu görsel verisi modellenenebilir hale getirilmiştir. Bu sayede ilgili maden sahası ile ilgili planlama çalışması kapsamında hazırlanan matematiksel model uygulamaya hazır hale gelmiştir.

### MATEMATİKSEL MODEL

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,

probleme 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. Bu doğrultuda çalışmada literatürde de sıklıkla kullanılmış olan tam sayılı programlama modeli ilgili maden sahası ve işletme özellikleri de dahil edilerek uygulanmıştır. Çalışmanın matematiksel modeli aşağıdaki gibidir;

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

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 al

g = ilgili bloğun tenör değeri

w = ilgili bloğun içerdiği örtü kazı

toprak miktarını

o = ilgili bloğun içerdiği cevher miktarı

m = ilgili bloğun çıkması için öncesinde

çıkması 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  $1,1n$  ile çarpılmaktadır. b karar değişkeni her bir xyz bloğu için n yılında 0 ya da 1 değerini

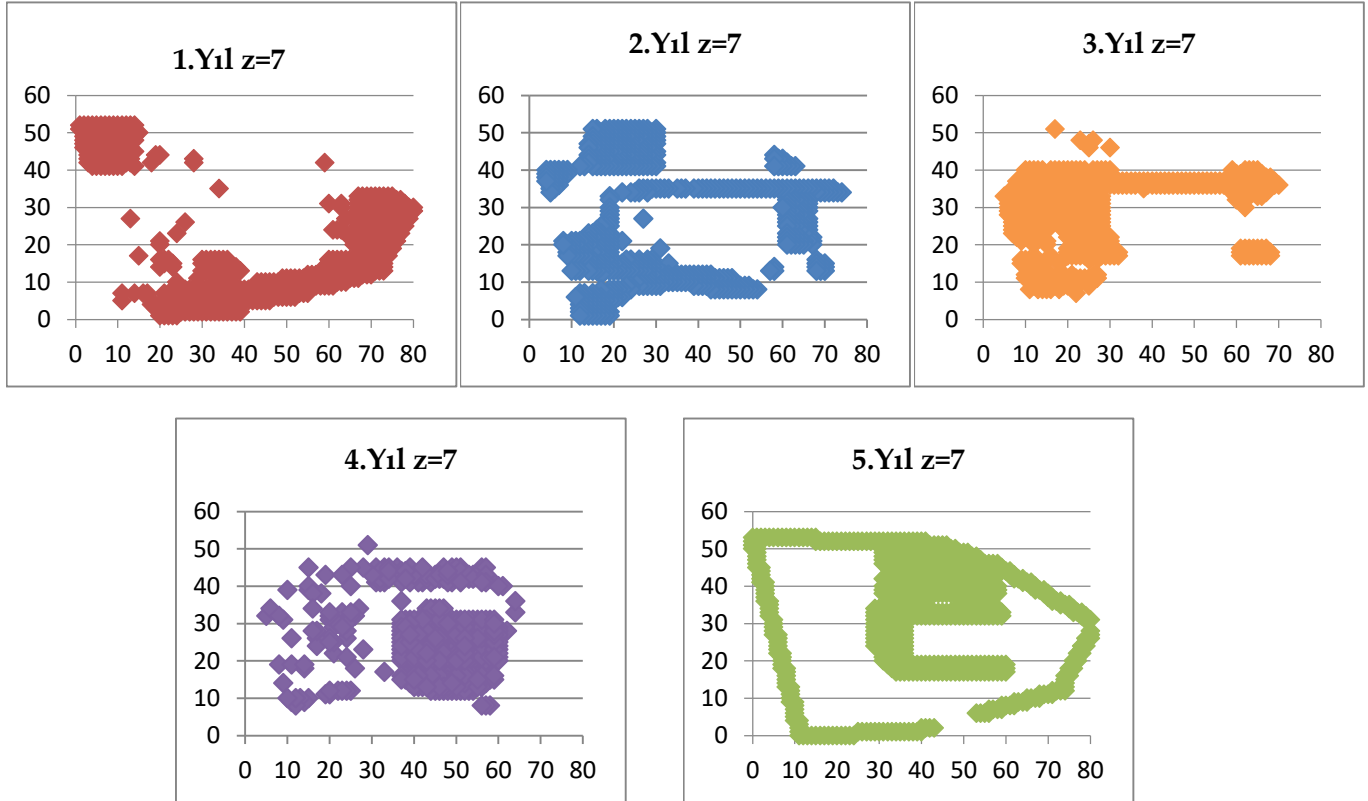


almaktadır, eğer bu değişken n. yılda 1 değerini almışsa o yıl çıkarılacağı 0 değerini aldıysa çıkarılmayacağı anlamına gelmektedir.

### SONUÇ

Üretim planı işletmelere kısa, orta ve uzun vadeli kararlar alıp, politikalar geliştirme imkânı sunmaktadır. Nihai çıktının üretiminin doğru planlanması işletmelere diğer alanlarda da destek sağlamaktadır. Doğru üretim planı ile verimli çıktılara ulaşılabilir ve rekabetçi piyasa koşullarında avantaj elde edilebilir. Öte yandan gelişen teknoloji de bu plan ve politikalar geliştirilirken kullanılacak olan veri kaynaklarını ve analiz tekniklerini arttırmaktadır. Bu amaçla çalışmada da maden

üretimi yapan bir firmanın büyük veri teknikleriyle üretiminin planlanması ve çizelgenmesi üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda kömür ocağının kapasite ve kaynak kısıtlarına göre üretim planlama problemi geliştirilmiştir. İlgili problemin tam sayılı programlama yöntemi ile oluşturulan matematiksel modeli Python programıyla çözülmüştür. İlgili kısıtlar altında elde edeceği karı maksimize etmeyi amaçlayan model sonucunda firmanın 5 yıllık kazancının net bugünkü değeri ve üretim çizelgesi ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda ilgili kısıtlar altında en yüksek karı elde edebilmek için her yıl hangi blokların hangi sırayla çıkarılması gerektiği çıktısı Şekil 2'deki gibi sunulmuştur.



**Şekil 2:** İlk katman (z=7) için beş yıllık üretim çizelgesi

Buna göre ilgili kömür ocağının 5 yıl, mevcut kısıtlara göre çalıştırılırsa 49,8 milyon TL (%10 optimallik aralığı ile) kazanç sağlaması öngörülmüştür. Diğer bir çıktı olan üretim çizelgesi ise 20503 adet (10m\*10m\*10m) boyutundaki bloklardan oluştuğu varsayılan kömür ocağının sahip olduğu rezervin %18,5'ini birinci sene, %19,2'sini ikinci sene,

%21,3'ünü üçüncü sene, %15,3'ünü dördüncü sene ve %25,7'sini son sene çıkartmanın optimal olacağını göstermiştir. Yıllara göre planlanan üretim miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Matematiksel modelin çıktılarının karşılaştırılabilmesi amacıyla delphi yönteminden faydalanılmış ve konu hakkında

yetkinliğe sahip kişiler bir araya getirilerek 5 yıl için öngördükleri kazanç miktarı ile tasarladıkları üretim çizelgesi öğrenilmiştir. Buna göre öngörülen 5 yıllık kazancın 30 milyon TL olduğu ve örtü kazı toprağının minimum olduğu yani hafriyat maliyetinin en düşük olacağı bölgeden üretime başlanmasının tasarlandığı ortaya çıkarılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında geliştirilen model ile ortaya çıkan üretim planı ve çizelgesinin firmaya ek olarak yaklaşık 19milyon TL kazanç sağlayacağı belirlenmiştir.

**Tablo 2:** Yıllık Üretim Miktarı

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

Yapılan bu çalışma işletmelere yatırım, pazarlama ve daha birçok alanda strateji geliştirmede kullanılabilir altyapı sunmaktadır. Büyük veri analizi ile işletmeye sağlanabilecek katkılar ve verilerin yapısal hale getirilerek değer yaratılabilmesinin mümkün olduğu ortaya konulmuştur. Bunların yanı sıra üretim sürecinin daha verimli olmasına katkı sağlamaktadır. Öte yandan çalışmanın çeşitli sektörlerden üretim firmalarına adapte edilebilirliği olduğu gibi madencilik sektöründeki diğer cevherler için de uygulanabilirliği bulunmaktadır. Gelecek çalışmalarda birçok maden ocağına bu çalışmada kullanılan model uygulanabilir. Madencilik içerisinde birçok belirsizliği barındırdığı için stokastik çalışmalara fazlasıyla açık bir sektördür. Öte yandan makine öğrenmesi tekniklerinin de kullanılmasıyla sektörde önemli buldular elde etmek mümkündür.

## KAYNAKÇA

Amankwah, H. (2011), "Mathematical Optimization Models And Methods For Open-Pit Mining", Phd Thesis. Linköping University Electronic Press, 1-133.

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.

Boland, N., Dumitrescu, I., Froyland, G., & Gleixner, A. M. (2009). LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers & Operations Research*, 36(4), 1064-1089.

Boucher, A., & Dimitrakopoulos, R. (2009). Block simulation of multiple cor-related

variables. *Mathematical Geosciences*, 41(2), 215-237.

Caccetta, L. Ve Hill, S. (2003), "An Application Of Branch And Cut To Open Pit Mine Scheduling", *Journal Of Global Optimization*, 27(2-3), 349-365.

Dantzig, G. (1948), "Programming In A Linear Structure", Washington.

Dantzig, G. ve Wolfe, P. (1960), "Decomposition Principle For Linear Programs", *Operations Research*, 8(1), 101-111.

Dagdelen, K., & Johnson, T. (1986). Optimum open pit mine production scheduling by Lagrangian parameterization. In 19th APCOM, University Park, PA (pp. 127-141).

- Denby, B. ve 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 Modeling Orebody Uncertainty In Open Pit Optimisation", *International Journal Of Surface Mining, Reclamation And Environment*, 12(4), 173-179.
- Dimitrakopoulos, R. ve Ramazan, S. (2004), "Uncertainty Based Production Scheduling In Open Pit Mining", *SME Transactions*, 316, 106-112.
- Dimitrakopoulos, R., Mustapha, H., & Gloaguen, E. (2010). High-order statistics of spatial random fields: exploring spatial cumulants for modeling complex non-Gaussian and non-linear phenomena. *Mathematical Geosciences*, 42(1), 65-99.
- Dimitrakopoulos, R. (2011), "Stochastic Optimization For Strategic Mine Planning: A Decade Of Developments", *Journal Of Mining Science*, 47(2), 138-150.
- Dowd, P. ve Onur A. H. (1993), "Open-Pit Optimization, Part 1: Optimal Open-Pit Design", *Mining Tech.: IMM Trans. Sect.*, A102-A95-A104.
- Dowd, P. (1994), "The Optimal Design Of Quarries", *Geological Society, London, Special Publications*, 79(1), 141-155.
- Fricke, C. (2006). Applications of integer programming in open pit mining, PhD Thesis The University of Melbourne, 1-239.
- Gaupp, M. P. (2008). Methods for improving the tractability of the block sequencing problem for open pit mining. *Colorado School Of Mines Golden*, 1-159.
- Gershon, M. E., & Murphy, F. H. (1989). Optimizing single hole mine cuts by dynamic programming. *European journal of operational research*, 38(1), 56-62.
- Godoy, M. ve Dimitrakopoulos, R. (2004), "Managing Risk And Waste Mining In Long-Term Production Scheduling Of Open-Pit Mines", *SME Transactions*, Vol 316, 43-50.
- Golamnejad, J., Osanloo, M. & Karimi, B. (2006). A chance-constrained programming approach for open pit long-term production scheduling in stochastic environments. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 106(2), 105-114.
- Grieco, N., & Dimitrakopoulos, R. (2007). Managing grade risk in stope design optimisation: probabilistic mathematical programming model and application in sublevel stoping. *Mining technology*, 116(2), 49-57.
- Hochbaum, D. ve Chen, A. (2000), "Performance Analysis And Best Implementations Of Old And New Algorithms For The Open-Pit Mining Problem", *Operations Research*, 48(6) 894-914.
- Hustrulid, W., & Kuchta, M. (2006). Open pit mine planning and design. Vol 1. Fundamentals; Vol. 2. CSMine software package and orebody case examples. 2nd.
- 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.
- Lamghari, A. ve 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.

- Lerchs, H. ve Grossmann, I. (1965), "Optimum Design Of Open-Pit Mines", Canadian Mining Metallurgical Bull. 58 17-24.
- Johnson, T. (1968), "Optimum Open Pit Mine Production Scheduling" (No. ORC-68-11). California Univ Berkeley Operations Research Center,1-131.
- Newman, A., Rubio, E., Caro, R., Weintraub, A. & Eurek, K. (2010), "A Re-view Of Operations Research In Mine Planning", Interfaces, 40(3), 222-245.
- Onur, A. H. ve 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.
- Ramazan, S. ve Dimitrakopoulos, R. (2004), "Recent Applications Of Operations Research And Efficient MIP Formulations In Open Pit Mining", Society Of Mining, Metallurgy, And Exploration, Inc. Transactions, 73-78.
- Ramazan, S., Dagdelen, K. & Johnson, T. (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. ve 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, A104-A108.
- Samavati, M., Essam, D., Nehring, M. & Sarker, R., (2018), "Open-Pit Mine Production Planning And Scheduling: A Research Agenda", In Data And Decision Sciences In Action (Pp. 221-226). Springer, Cham.
- Scheidt, C., & Caers, J. (2009). Representing spatial uncertainty using distances and kernels. Mathematical Geosciences, 41(4), 397-419.
- Seymour, R. S., & Bradford, D. F. (1995). Respiration of amphibian eggs. Physiological zoology, 68(1), 1-25.
- Shishvan, M. S.& Sattarvand, J. (2015). "Long Term Production Planning Of Open Pit Mines By Ant Colony Optimization", European Journal Of Operational Research, 240(3), 825-836.
- 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. (1995), "Long Term Open Pit Scheduler". Mine Planning And Equipment Selection 1995, 265-270.
- Underwood, R. & Tolwinski, B. (1998), "A Mathematical Programming Viewpoint For Solving The Ultimate Pit Problem", European Journal Of Operational Research, 107(1), 96-107.
- Warton, D.I. (2008) Raw data graphing: an informative but under-utilized tool for the analysis of multivariate abundances. Austral Ecology 33, pp. 290-300.
- Wright, E. A. (1989), "Dynamic Programming In Open Pit Mining Sequence Planning: A Case Study", In Proceedings of the 21st International Application of Computers and Operations Research Symposium (APCOM'89), 415-422.
- Whittle, J. 1988. Beyond optimisation in open pit design, Proc. Computer Applications in the Mineral Industries, (ed. K. Fytas), 331-337; Rotterdam, A.A. Balkema.