

Makale Gönderim Tarihi: 22.10.2021

Yayına Kabul Tarihi: 14.01.2022

## Cevher Üretim Operasyonlarında Gerekli Optimum Kamyon Sayısının Benzetim Yardımıyla Belirlenmesi

*Determining the Optimum Number of Trucks Required in Ore Production Operations with Simulation Techniques*

Ömer Faruk UĞURLU<sup>1\*</sup>, Ömer ÖZDEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

\* Sorumlu Yazar: [ofugurlu@iuc.edu.tr](mailto:ofugurlu@iuc.edu.tr)

### Özet

Madencilik endüstrisi belirsizliklerle dolu operasyonlar bütünüdür. Bu belirsizliklerin göz ardı edilmesi yapılan hesaplamalarda hatalar meydana getirmekte ve tahmine dayalı kararların yanlış verilmesine neden olmaktadır. Doğru tahminlerin yapılması için bu belirsizlikleri hesaba katacak benzetim teknikleri kullanılması gerekir. Benzetim teknikleri, sistemleri doğru bir şekilde modellemek ve oluşabilecek farklı senaryoların sonuçlarını tahmin etmek için yıllar içinde geliştirilmiştir. Benzetimlerin doğru şekilde modellenmesi, büyük sermaye yatırımları içeren, güvenilir ve kendinden emin kararlar için çok önemlidir. Bu makalede kamyon-kepçe operasyonlarında kapasite değişikliklerini bir benzetim modeline dahil ederek açık ocak madenciliği operasyonu ele alınmış, Arena paket programı kullanılarak Afşin Elbistan kömür madeni pasa nakliyesi modellenmiştir. Operasyon yöneticileri tarafından zaman içerisinde yol ağları, işletme tesisleri, stoklar, ekipman arızaları, bakım ve kapasite değişiklikleri benzetim modeline dahil edilerek açık maden işletmesi operasyonu bütün olarak ele alınabilir. Bu makalede model dört ana aşamada geliştirilmiştir: 1) veri analizi ve veri dağılımını belirleme, 2) benzetim modelleme, 3) doğrulama ve onaylama ve 4) senaryoların ve analizin deneysel tasarımı. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın açık ocak maden işletmeciliğinde karar verme problemlerini çözmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık İşletme, Ayrık Olay Benzetimi, Maden Planlaması

### Abstract

There are a lot of uncertainties in the mining operations. Ignoring these uncertainties creates errors in the calculations and causes incorrect estimation-based decisions. Simulation techniques should be used to take these uncertainties into account in order to make accurate estimations. Simulation techniques have been developed over the years to accurately model systems and predict the outcomes of different scenarios that may occur. Accurately modeling simulations is essential for reliable and confident decisions involving large capital investments. In this article, the open-pit mining operation is discussed by including capacity changes in truck-bucket operations in a simulation model, and Afşin Elbistan coal mineral waste transportation is modeled using the Arena package program. By incorporating road networks, operating facilities, stocks, equipment failures, maintenance, and capacity changes over time into the simulation model, the entire open pit operation can be handled. In this article, the model was developed in four main phases: 1) data analysis and data distribution determination, 2) simulation modeling, 3)

*validation and 4) experimental design of scenarios and their analysis. The results show that the proposed approach can be used to solve decision-making problems in open-pit mining.*

**Keywords:** *Discrete Event Simulation, Mine Planing, Open-castMinev*

## 1. Giriş

Madencilik yüksek işletme maliyetine sahip küresel bir endüstridir. Maden fiyatlarındaki değişim ve üretim sürecinde karşılaşılan maliyet arttırıcı sorunların yanı sıra patlatma kaynaklı çevresel sorunlar, toz, gürültü ve yer sarsıntıları gibi zorluklar (Külekcı ve Yılmaz, 2018; Külekcı ve ark., 2018; Külekcı ve Yılmaz, 2019), madencilik şirketlerinin üretim operasyonlarının üretkenliğini ve verimliliğini arttıran, iyi mühendislik uygulamalarının kullanıldığı çalışmalara yatırım yapmasına neden olmuştur. Bu sayede üretim kapasitesi artırılmasının yanı sıra, aynı zamanda iş güvenliği önündeki risklerin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir (Kambur ve Çınar, 2020). Malzeme taşıma maliyetleri, toplam işletme maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Alarie ve Gamache, 2002; de Werk ve ark., 2017). Son yıllarda, nakliye ekipmanı kapasiteleri, ölçek ekonomilerinden yararlanmak ve operasyonun birim maliyetini düşürmek için önemli ölçüde artmıştır. Ancak bu kapasite artışı faydalarının yanında bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Kamyonlar veya kepçeler boştayken, işletme maliyetlerine ek olarak bir fırsat maliyeti ortaya çıkmıştır (de Werk ve ark., 2017). Tahmin edilebileceği gibi, bu büyük ekipmanın fırsat maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle kullanımları olabildiğince yüksek tutulmalıdır. Verimli bir kamyon sevkiyatı ile bu hedefe ulaşılabilir. Kamyon ve kepçe, madencilik endüstrisinde en yaygın kullanılan ekipmandır. Bu ekipmanların performansları birbirine bağlıdır. Bir tür ekipmanlarda bir sorun ortaya çıktığında, diğer ekipman türünün performansı da etkilenir. Yani kepçe bekleme süreleri, kamyon kuyrukları, kırıcılarda atıl kapasite sorunları doğrudan meydana gelmektedir ve üretimin aksamasına neden olmaktadır (Ozdemir ve Kumral, 2020).

Birçok araştırmacı (Alarie ve Gamache, 2002; Gurgur ve ark., 2011; Bastos, 2013; de Werk ve ark., 2017; Ozdemir ve Kumral, 2020) kamyon sevkiyat ile ilgili ayrıntılı çalışmalar yapmış olsa da bu hala önemli bir araştırma konusudur çünkü (1) her madenin kendine has özellikleri vardır (Külekcı ve Vural, 2021) ve (2) hava durumu, kamyon döngü süresi, sürücü etkisi vb. gibi birçok belirsizlik mevcuttur (Ozdemir ve Kumral, 2020).

Kullanılan matematiksel optimizasyon yöntemleri genellikle belirsizlikleri göz ardı eden deterministik modellerdir. Bununla birlikte, maden üretim ortamı belirsizliklerle doludur. Örneğin, beklenmeyen arızalar, kamyonların döngü süresi ve kepçelerin yükleme süresi, hava ve yol koşulları gibi değişen durumlar nedeniyle mevcut ekipman sayısı değişebilir. Bu belirsizlikler operasyon sırasında, operasyon süresinde, maden üretiminde ve ekipman performanslarında farklılıklara neden olmaktadır. Bu dalgalanmalar üretim hedeflerinden sapmalara neden olur. Madencilik operasyonlarında belirsiz parametrelerin etkisini dikkate almak ve üretim hedeflerine karar vermek için benzetim tabanlı bir optimizasyon modeli tercih edilmelidir.

Benzetimler gerçek dünya sistemlerini taklit ederek, bilgisayar ortamında olası senaryolar üretirler. Madencilik ve hafriyat işlemleri, ayrık olay benzetimi ile modellenmeye uygundur, çünkü faaliyetler ayrı olaylar dizisine sahiptir (Blouin ve ark., 2007; He ve ark., 2010; Gurgur ve ark., 2011; Ta ve ark., 2013; Golzarpoor ve ark., 2017; Afrapoli ve Askari-Nasap, 2017). Bir diğer deyişle, ayrık olay benzetimi madencilik faaliyetlerini en iyi temsil eden benzetim çeşitlerinden birisidir. Ayrık olay benzetimi, zaman içinde farklı bir dizi etkinlik içeren bir sistemi benzetimlemek için kullanılan bir yöntemdir. Karar vericinin sistemdeki oluşan değişimlere göre karar vermesine yardımcı olur. Ayrık olay benzetimi, imalatta montaj hatları, hastane tedarik yönetimi, sermaye yatırım kararlarının değerlendirilmesi, banka ve çağrı merkezlerinde personel tahsisi, trafik ağı benzetimleri gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Madencilik operasyonları, sondaj, patlatma, yükleme, taşıma ve boşaltma gibi zamana bağlı ayrı olaylar

dizisi içerdiğinden, madencilik operasyonlarındaki özellikle malzeme taşıma sistemlerini en iyi şekilde temsil eder(Ozdemir ve Kumral, 2019).

Benzetim daha önce, maden üretiminde makine sayısının belirlenmesi (Nageshwaraniyer ve ark., 2013; Ozdemir ve Kumral, 2019; Ugurlu ve Kumral, 2020), kısa vadeli maden planlaması (Torkamani ve Askari-Nasap, 2015), açık ocak madenlerinde tesislerin konumlandırılması (Paricheh ve Osanloo, 2018), madenciliği modellemek için bir kömür madenindeki madenden limana malzeme taşıma ağında kullanılmıştır(Bodon ve., 2011). Ayrıca, Jaoua vd. (2012), yerüstü madenlerinde dahili nakliye ağının karmaşık davranışını modellemek için gerçek zamanlı filo yönetimi için bir benzetim çerçevesi önermiştir. Sonuç olarak, gerçek zamanlı kamyon filosu yönetimi iyileştirilmiş ve nakliye ağlarının dahili trafiği kontrol edilmiştir. Ayrıca, kamyon sistemini yönetmek için benzetime dayalı gerçek zamanlı kontrol oluşumu uygulanmaktadır. Oluşum, gerçek zamanlı uygulamaların temel özelliklerini, eşzamanlılığı, tepkiselliği ve uygun zamanlamayı içerir. Ayrıca seyahat süresi, kuyrukta bekleme ve sürücü değişimi gibi belirsiz özellikler benzetim tabanlı tekniklerle modelde değerlendirilebilir (Bastos, 2013).

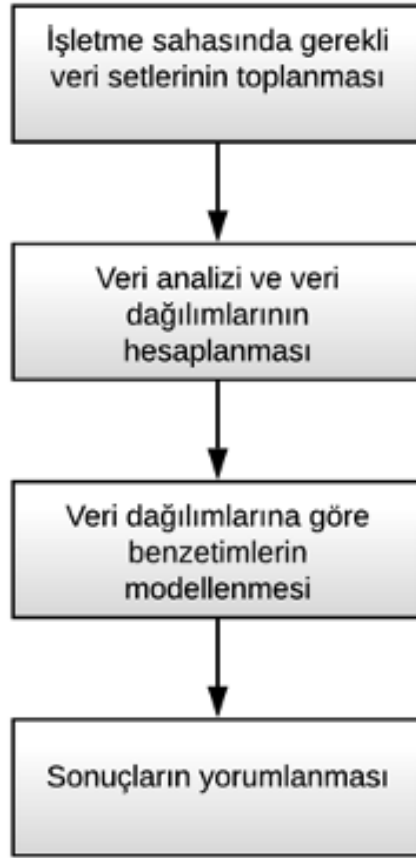
Bu araştırmada ayrık olay benzetimi kullanmanın temel amacı, madencilik operasyonlarında belirsiz parametrelerle ilişkili riskleri değerlendirmektir. Örneğin, maden yollarındaki dinamik değişim nedeniyle kamyonların döngü süresi belirsizdir. Maden yolları dayanıklıysa, kamyonlar daha hızlı hareket edebilir; bu nedenle döngü süreleri daha kısa olacaktır. Hava koşullarının değişmesi ve ağır araçların etkisiyle yollarda bozulmalar olabilir; bu da döngü süresinin artmasına neden olur. Ayrıca nakliye kamyonu operatörleri, kamyonların döngü sürelerini etkiler. Sonuç olarak, kamyon tam tur süreleri değişkenlik göstermektedir. Benzer şekilde, kepçe yükleme süresi de belirsizdir. Ayrıca, doldurma faktörü ve malzemenin yağışlı havalarda kamyon kasasına yapışması nedeniyle kamyonların taşıdıkları malzemenin ağırlığı da değişkendir.

Tüm bunların yanında makine arızası öngörülemeyen ve üretim operasyonunun durmasına neden olabilecek belirsizliklerden biridir. Makine arızası hesaba katılmadan yapılan maden üretim planlamalarında büyük ölçekli sapmalar meydana gelebilmektedir. Bu sapmalar yanlış değerlendirilebilir ve makine alımı ya da işletmedeki makinelerin yanlış kullanımı gibi maliyetli kararlara neden olunabilir.

Madencilik faaliyetleri oldukça dinamik ve belirsiz bir ortamda gerçekleştiğinden, belirsizliklerin etkisini görmek için benzetim tabanlı optimizasyon tercih edilmelidir. Bu makalede, kamyon-kepçe sistemlerinin kullanımını en üst düzeye çıkarmak için kamyon ve kepçe filoları, madencilik operasyonundaki belirsizlikleri dikkate alan ayrık olay benzetimi tabanlı bir optimizasyon yöntemi ile açık ocak maden işletmesinden toplanan veriler yardımıyla, ocakta malzeme nakliyatında kullanılmak üzere modellenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 1'de görülmektedir.

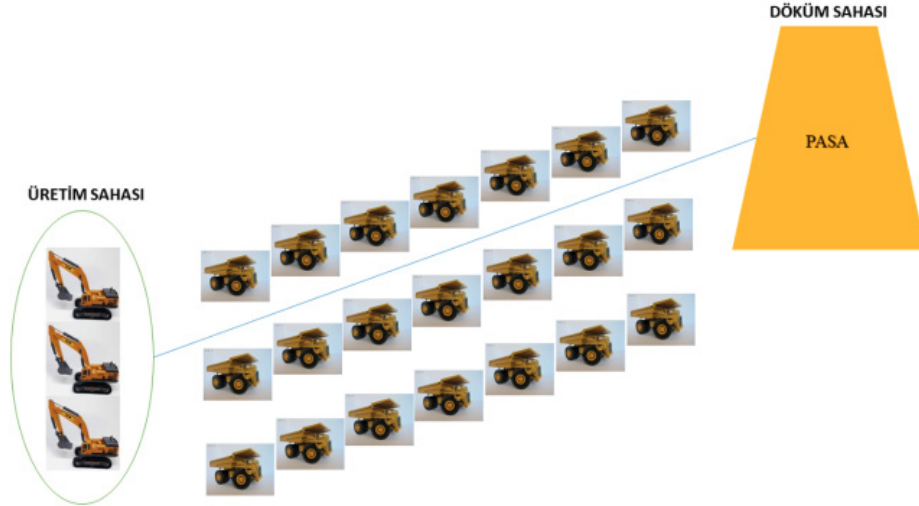


Şekil 1. Akış şeması

### 2.1 Veri Toplanması

Çalışma kapsamında kullanılan veri setleri ülkemiz linyit yatakları içinde en büyük potansiyele sahip olan Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ilçesinin kuzeydoğusunda yer alan Afşin-Elbistan linyit havzasındaki Kışlaköy Açık İşletmesi'nden elde edilmiştir. Tüm havzadaki işletilebilir linyit miktarı 3.9 milyar ton olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin bilinen linyit rezervinin yaklaşık %20'si burada bulunmaktadır. Üretilen linyitin tamamı termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

İşletme bünyesinde linyit üretiminde 10'ar saatten 2 vardiya şeklinde çalışılmaktadır. 6 basamaklı oluşan açık işletme üretim sahasında 6 adet döner kepçeli ekskavatör çalışmaktadır. Kazılan malzemeler bant konveyörler vasıtasıyla stok sahasına veya dış döküm sahasına taşınmaktadır. Kazıcı makinenin kazamadığı veya kapasitesini düşüren sert formasyonlar delme-patlatma yapılarak gevşetilmektedir. Bu alanlarda kamyon kepçe grubuyla malzeme döküm sahalarına taşınmaktadır. İşletme bünyesinde 6 m<sup>3</sup> kapasiteli 3 kepçe ve 18 m<sup>3</sup> kapasiteli 21 kamyon bulunmaktadır. Kamyon kepçe grubunun kullanıldığı üretim sahası krokisi Şekil 2'de görülmektedir. Üretim sahası ve döküm sahası arasındaki mesafe 6 km'dir.



Şekil 2. Üretim sahası krokisi

Belirli bir popülasyonun (population size) tamamının ölçülemediği durumlarda popülasyonu temsil edebilecek yeterli büyüklükte bir küme belirlenmelidir. Bu kümeye örneklem (sample size) denir ve Denklem 1 kullanılarak minimum örneklem büyüklüğü hesaplanabilir (Evans ve ark., 2000). İşletme bünyesinde bir haftalık süre içerisinde ortalama 3600 kamyon seferi olması nedeniyle aşağıda verilen formüle göre en az 348 seferin gözlenerek (sample size), gereken verilerin toplanması gerekmektedir.

$$\text{Gerekli örnek sayısı} = \frac{Z \text{ skoru}^2 \times \text{Standart Sapma} \times (1 - \text{Standart Sapma})}{\text{Hata payı}^2} \quad (1)$$

Bu çalışma kapsamında kepçe doldurma süresi, kamyon dolu gidiş süresi, kamyon malzeme boşaltma süresi ve kamyon boş dönüş süresi 350 sefer için kaydedilmiş ve sürelerin dağılımları hesaplanarak, benzetim modellemede kullanılmıştır.

## 2.2 Veri Analizi ve Veri Dağılımını Belirleme

İşletme bünyesinden toplanan veri setlerinin istatistiksel analizi betimsel analiz yöntemi ile SPSS programı kullanılarak yapılmış ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İstatistiksel analiz sonuçları

	Kepçe dol- durma süresi (sn)	Kamyon dolu gidiş süresi (sn)	Kamyon malzeme boşaltma süresi (sn)	Kamyon boş dönüş süresi (sn)	Tam tur (sn)
Maksimum	195	787	130	447	1529
Minimum	106	735	87	394	1398
Ortalama	171	764	106	415	1455
Standart Sapma	15	13	10	13	28
Varyans	225	177	109	161	763

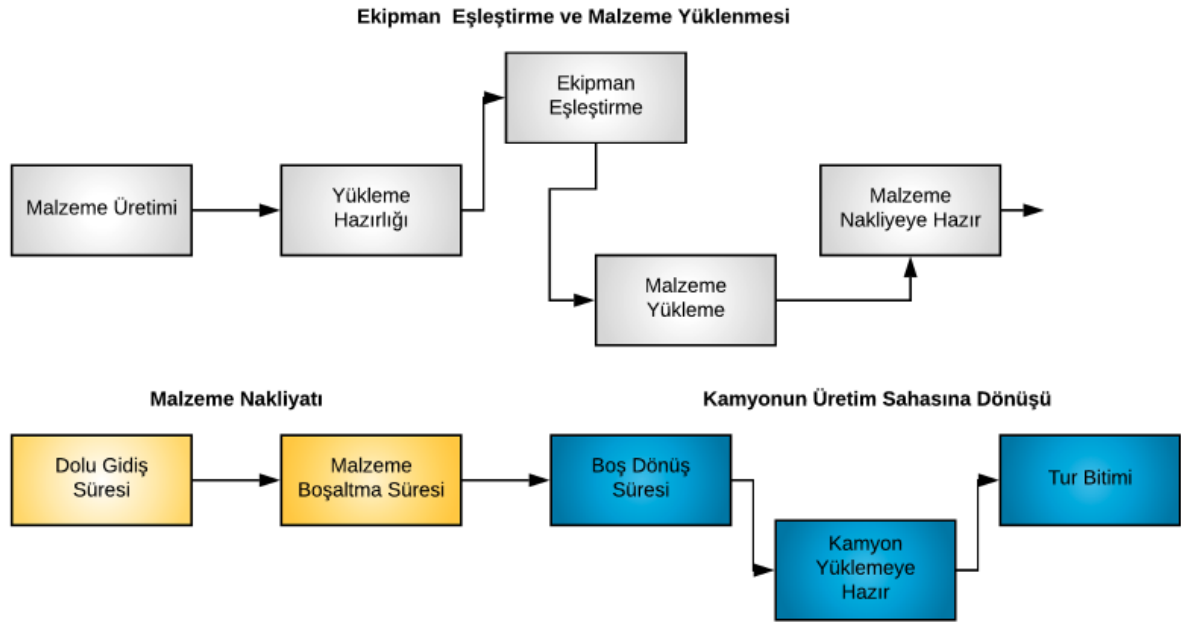
Elde edilen veri setlerine EastFit programı kullanılarak dağılım ataması yapılmıştır. Dağılım atamalarına göre her veri seti için en uygun ilk üç dağılım içerisinde yer alması nedeniyle, benzetim modelinde kolaylık sağlaması için benzetim modellenirken üçgen dağılım (TRIA) seçilmiştir. Benzetim modellemede kullanılan dağılım değişkenleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Veri dağılımları

	Dağılım türü	Minimum	Ortalama	Maksimum
Kepçe doldurma süresi (sn)	TRIA	103	190	193
Kamyon dolu gidiş süresi (sn)	TRIA	735	770	787
Kamyon malzeme boşaltma süresi (sn)	TRIA	85	95	135
Kamyon boş dönüş süresi (sn)	TRIA	394	403	447
Kamyon arızasız çalışma süresi (sa)	TRIA	10	100	140
Kamyon bakım süresi (sa)	TRIA	0.5	5	20

### 2.3 Ayrık olay benzetimi ve benzetim sonuçları

Bu çalışma kapsamında, işletme bünyesinden toplanan veriler ve ARENA benzetim programı yardımıyla kamyon nakliyatı modellenmiştir. Bir kepçe ve yedi adet kamyonun rastgele eşleştiği göz önüne alınarak benzetim modellenmiştir. Bu benzetim kapsamında Tablo 2’deki veriler kullanılmış ve elde edilen model Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Arena benzetim programı ile modellenen benzetim modeli

Modelin gerçek işletme şartlarını yansıtması için kamyon arızaları da eklenerek, ön görülmesi zor şartlar da benzetime eklenmiştir. Mevcut maden şartlarında kömür nakliyatı benzetim sonuçları ile kamyon sayısının artırıldığı (1. Durum) ve azaltıldığı (2. Durum) durumlardaki sonuçlar karşılaştırılmış ve gerekli yorumlar yapılmıştır.

Tablo 3’te benzetim sonuçları yer almaktadır. Burada üç farklı durum için kamyonların çalışma sürelerinin yüzde cinsinden değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar günde 10 saatten 2 vardiya çalışılan işletmedeki bir haftalık malzeme nakliyatı sonuçlarını içermektedir. Aynı benzetim 5 sefer (replication) tekrar edilerek sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3. Benzetim sonuçları (Aktif performans makine kullanım süreleri)

	Mevcut durum (%)	1. Durum (%)	2. Durum (%)
Kamyon 1	0.72	0.57	0.78
Kamyon 2	0.70	0.59	0.84
Kamyon 3	0.71	0.58	0.77
Kamyon 4	0.65	0.62	0.80
Kamyon 5	0.71	0.62	0.82
Kamyon 6	0.65	0.58	0.80
Kamyon 7	0.68	0.62	--
Kamyon 8	--	0.63	--
Kepçe	0.54	0.54	0.54

Mevcut durum ve 1. durum benzetim sonuçlarına göre bir haftalık çalışma için toplamda 1200 tur malzeme nakliyatı yapılmış, 2. durumda ise bu sayı 1198 olarak bulunmuştur. Her üç durum için de kepçe çalışma süresinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Kamyonların belirlenen süre içerisinde yapmış oldukları tur sayıları Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. Kamyon tur sayıları

	Mevcut durum	1. Durum	2. Durum
Kamyon 1	180	142	195
Kamyon 2	173	148	209
Kamyon 3	177	145	192
Kamyon 4	163	154	200
Kamyon 5	176	156	205
Kamyon 6	163	144	199
Kamyon 7	169	154	--
Kamyon 8	--	157	--

### 3. Tartışma ve Sonuçlar

Madencilik yüksek işletim maliyetine sahip operasyonlar bütünüdür. Bu işletim maliyetlerinin önemli bir kısmını ekipman maliyeti oluşturmaktadır. Herhangi bir madende üretim planı yapılırken ekipman temini gibi durumlarda karar vermeden önce benzetim yoluyla operasyonları modellemek ve sonuçları karşılaştırmak, maden işletmesi için önem arz etmektedir. Temini pahalı olan bu ekipmanların performans analizleri de benzetim yoluyla elde edilebilmektedir. Ekipman performansının yanında bakım işlerinde görevli personelin de performansı benzetim yoluyla kontrol edilebilir.

Bu çalışmada 3 farklı durum karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda kamyonlar çalışma sürelerinin %70’inde aktif olarak performans vermekteyken, kepçe %55 aktif performansla çalışmaktadır. Mevcut durumda kamyonların malzeme taşıma süresinin, kepçe malzeme doldurma süresine göre fazla olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle 1. durumda kepçe aktif performans süresini arttırmak için kamyon sayısı 1 artırılmıştır. Bu benzetimin sonucunda kepçe aktif performans süresinin değişmediği ve kamyon aktif performans sürelerini azaldığı ve kuyrukta bekleme sürelerinin arttığı görülmüştür. 2. durumda mevcut duruma göre 1 kamyon sistemden çıkartıl-



miş ve kamyon ve kepçe çalışma süreleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre kepçe çalışma süresi yine değişmemiş, fakat kamyon çalışma sürelerinde ortalamada %10'a yakın artış görülmüştür. Bu nedenle 2. durumun kamyon nakliyatı için mevcut duruma göre daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Mevcut durum ve 1. durumda 1200 tur malzeme nakliyatı olmuşken, 2. durumda 1. duruma göre 2 kamyon eksik olmasına rağmen 1198 tur malzeme nakliyatı yapılmıştır. 2 turun, bir haftalık çalışma diliminde gözardı edilebilecek bir fark olması nedeniyle, 2. durumun ekonomik açıdan optimum durum olduğu görülmektedir.

2. durumda kamyon aktif çalışma performans süresinin %80-85 aralığında olması, benzetime eklenen makine arızaları ve bakım sürelerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu sürelerin %90-95 seviyelerine gelebilmesi için arıza sonucu makine tamiri için gerekli olan bakım sürelerinin azaltılması ile mümkün olabilir. Bu sürelerin azaltılması bakım personelinin yeterli sayıda olmasına ve iyi şekilde eğitilmiş olmasına, tamir için gerekli olan ekipman ve parçaların işletme bünyesinde bulunmasına veya temininin hızlı bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Doğru bir maden üretim planlaması için benzetim modellerinin kullanılması önem arz etmektedir. Üretim sürecinde malzeme nakliyatı için sisteme kamyon ekleyip çıkararak veri elde etmenin maliyetli bir iş olması nedeniyle benzetim modellerinin kullanımı karar vermede maden işletmelerine kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca geçmiş veriler kullanılarak ön görülmesi zor şartların da benzetim modeline eklenebilmesi, yapılan üretim planının gerçeğe çok yakın sonuçlar vermesine yardımcı olmaktadır.

### **Teşekkür**

Bu makale Ömer Özdemir'in İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa bünyesinde yapmış olduğu Bitirme Projesi kapsamında Çelikler Holding bünyesinde bulunan Açık Kömür İşletmesi'nden elde ettiği veriler yararlanarak hazırlanmıştır. Bu nedenle yardımlarından dolayı Çelikler Holding çalışanlarıyla birlikte makale inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

### **Kaynaklar**

Afrapoli, A.M. and Askari-Nasab, H.,2017. Mining fleet management systems: a review of models and algorithms. *Int. J. Surf. Min. Reclam. Environ.*, 1–19.

Alarie, S., and Gamache, M., 2002. Overview of solution strategies used in truck dispatching systems for open pit mines. *Int. J. Surf. Min. Reclam. Environ.*, 16(1), 59–76.

Bastos, G.S., 2013. Decision making applied to shift change in stochastic open-pit mining truck dispatching. *IFAC Proc.* 46(16), 34–39.

Blouin, S., Guay, M. and Rudie, K., 2007. An application of discrete-event theory to truck dispatching. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, 15 (4), 369–391.

Bodon, P., Fricke, C. and Sandeman, T., 2011. Stanford, Modeling the mining supply chain from mine to port: a combined optimization and simulation approach. *J. Min. Sci.* 47(2), 202–211.

de Werk, M., Ozdemir, B., Ragoub, B., Dunbrack, T. and Kumral, M., 2017. Cost analysis of material handling systems in open pit mining: case study on an iron ore prefeasibility study. *Eng. Econom.*, 62(4), 1–18.

Evans, M., Hastings, N. and Peacock, B., 2000. *Statistical Distributions* (3rd ed.). New York: Wiley.

Golzarpoor, H., González, V.A., O'Sullivan, M., Shahbazpour, M., Walker, C.G. and Poshdar, M., 2017. A non-queue-based paradigm in Discrete-Event-Simulation modelling for construction operations. *Simul. Modell. Pract. Theory*, 77, 49–67.

Gurgur, C.Z., Dagdelen, K. and Artittong, S., 2011. Optimisation of a real-time multi-period truck dispatching system in mining operations. *Int. J. Appl. Decis. Sci.*, 4(1), 57–79.

He, M. X., Wei, J. C., Lu, X. M. and Huang, B. X., 2010. The genetic algorithm for truck dispatching problems in surface mine. *Inf. Technol. J.*, 9(4), 710–714.

Jaoua, A., Riopel, D. and Gamache, M., 2012. A simulation framework for real-time fleet management in internal transport systems. *Simul. Modell. Pract. Theory* 21(1), 78–90.

Kambur, S., and Cinar, U., 2020. Investigation of the effect of noisy environment on employees' visual attention. *Fresenius Environmental Bulletin* 29(10), 8950-8953.

Külekçi, G., Çullu, M. ve Yılmaz, A. O., 2018. Environmental problems to be created in in mining procedures and measures to be taken; quarry an example of dust emissions. *Eurasia Waste Management Symposium, İstanbul, Turkey*, 219-227.

Külekçi, G. ve Yılmaz, A. O., 2018. Taş ocağı işletmelerinin çevre ve tarım arazilerine etkileri üzerine örnek bir çalışma. *Bahçe 47(Özel Sayı 2: Uluslar arası Tarım Kongresi)*, 230-237.

Külekçi, G. ve Yılmaz, A. O., 2019. Bir bakır işletmesinde üretim faaliyetlerinin tarihi eserlere etkisinin incelenmesi, *Gümüşhane Süleymaniye örneği. MT Bilimsel* 16, 1-14.

Külekçi, G. ve Vural, A., 2021. Bir taş ocağındaki kazılabilirliğin belirlenmesi ve uygulanan yöntem ile karşılaştırılması. *International Halich Congress on Multidisciplinary Scientific Research*, 299-307.

Nageshwaranier, S.S., Son, Y. J. and Dessureault, S., 2013. Simulation-based optimal planning for material handling networks in mining. *Simulation* 89(3), 330–345.

Ozdemir, B. and Kumral, M., 2019. Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines. *Simul. Modell. Pract. Theory* 95, 36-48.

Paricheh, M. and Osanloo, M., 2018. A simulation-based risk management approach to locating facilities in open-pit mines under price and grade uncertainties. *Simul. Modell. Pract. Theory* 89, 119–134.

Ta, C.H., Ingolfsson, A. and Doucette, J., 2013. A linear model for surface mining haul truck allocation incorporating shovel idle probabilities. *Eur. J. Oper. Res.*, 231(3),770–778.

Torkamani, E. and Askari-Nasab, H., 2015. A linkage of truck-and-shovel operations to short-term mine plans using discrete-event simulation. *Int. J. Min. Miner. Eng.* 6(2),97–118.

Ugurlu, O. F. and Kumral, M., 2020. Management of drilling operations in surface mines using reliability analysis and discrete event simulation. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 20, 1143–1154.