

Kazıcı-Yükleyici (Ekskavatör) Karşılaştırması Yapan Bir Simülasyon Programının Geliştirilmesi

The Development of New Simulation Based Software for Excavator Selection

Özgür Akkoyun¹, Sabite Nilay Ergene¹,

¹*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakir*

ÖZET: Bu çalışmada simülasyon yöntemi kullanılarak iki kazıcı-yükleyici iş makinasını karşılaştıran bir bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada kısaca simülasyon ve türleri hakkında bilgi verilmiş, makine-ekipman seçiminde kullanılan yöntemlerden söz edilmiş ardından geliştirilen simülasyon programı temel yapısı, algoritması ve arayüzü hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak programın ürettiği sonuçlar tablo ve grafik halinde sunularak değerlendirme yapılmıştır.

ABSTRACT: In this study, new developed simulation based software for excavator selection is introduced. First, brief information about simulation and simulation types are given, then, new methods for machine selection are presented. After that, basic idea, algorithm and interface windows of the program are introduced. Finally, the results which are produced by the program are discussed.

1.GİRİŞ

Makine-ekipman seçimi, madencilik faaliyetleri içinde, birim maliyeti etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Makine-ekipmanın performansı ve ömrü, ekonomik hedefler, genel performans ve iş güvenliği gibi önemli parametreler de seçim sürecinde bu değerlendirmenin içine dahil edilmelidir. Büyük kapasiteli makine, düşük hareket kabiliyeti getirirken, düşük kapasiteli makinaların hareket kabiliyetleri yüksektir. Bu nedenle çalışmanın yapılacağı ocak için teknik ve ekonomik parametreler birlikte düşünülmeli ve seçim aşamasında, en iyi çözümü bulmak için parametreler değerlendirilmelidir (Koehler, 1980).

Makine ekipman seçimi sürecinde üreticilerin sağladığı bilgiler, bütçe, makinalara ait geçmiş tecrübeler ve

madencilik faaliyetinin yapılacağı ocağın kendi koşulları gibi parametreler seçim kararında etkili olmaktadır.

Gerçek hayatta iki kazıcı-yükleyici iş makinasını karşılaştırmanın ve seçim yapmanın en iyi yolu, her ikisine de aynı koşullar altında aynı işi yaptırarak süre, verim ve maliyet gibi kıyaslamaya yardımcı olacak sonuçlar açısından bir değerlendirme yapmaktır. Ancak, bu çok fazla sayıda makine çeşidi ve her makina için çok fazla sayıda değişken parametre olduğu düşünüldüğünde oldukça maliyetli ve zor bir iş olacaktır. İstatistik açıdan doğru sonuçlar alabilmek için, aynı makine ile aynı yükleme işini birçok kez yapmak gerektiğini de düşünürsek işlemin maliyeti katlanarak artacaktır.

Bu aşırı maliyet ve zorluklar nedeniyle son yıllarda bu seçim kararı süreçlerinde

bilgisayar destekli farklı yöntemlerin kullanımında bir artış gözlenmiştir. Uzman sistemler (Kırmanlı ve Erçelebi, 2005; Kirmanlı ve Erçelebi, 2009), bulanık mantık (Yang ve diğ., 2003), analitik hiyerarşi süreci (Perçin, 2012) bu yöntemlerden bazılarıdır.

Makine-ekipman seçiminde yayın kullanılan bilgisayar destekli yöntemlerden birisi de simülasyondur. Simülasyon, gerçek hayattaki bir sistemin veya sürecin çalışmasının taklit edilmesidir. Simülasyon ile iki iş makinasının çalışması taklit edilerek seçime yardımcı olacak sonuçlar üretilmektedir. Böylece çok büyük maliyetler ve zorluklara katlanmadan işlemler bilgisayar ekranında gerçekleşmektedir.

Bunun ile ilgili literatürde ekskavatörün maliyet analizleri (Çebi ve Aksoy, 2000), modellenmesi (Makkonen ve diğ., 2006; Zarotti ve diğ., 2010; Liu ve diğ., 2010), tüm kazı faaliyetlerinin simülasyonu (Li ve diğ., 2014), makine hidrolik sistemini de içine alan ayrıntılı bir modelleme çalışması (Gu ve diğ., 2007) gibi çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada iki ayrı kazıcı-yükleyici iş makinasını simülasyon yöntemi ile kıyaslayarak veri üreten bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

2. YÖNTEM

İki adet kazıcı yükleyici iş makinasının simülasyon yöntemi ile karşılaştırılabilmesi için öncelikle çalışmanın kurgulanması gerekmiştir. Simülasyon kurgusuna göre belirli bir miktar malzeme (örneğin patlatma sonrası ham cevher, pasa ya da konsantre) iş makinası tarafından kamyonlara yüklenerek taşınacaktır. Bu malzeme önce birinci, ardından ikinci makine tarafından kamyonlara yüklenerek taşınacak, bu sırada geçen zaman, taşınan malzeme, maliyet, verim gibi parametreler hesaplanacaktır.

Bunun için önce hesaplamalara ve simülasyona temel olacak parametreleri belirlemek gerekir.

2.1. İş Makinası Önemli Parametreleri

Kamyon yüklemesinde çalışan bir kazıcı-yükleyici iş makinasının en önemli çalışma parametreleri şunlardır;

- Yüklenecek malzeme ile ilgili olarak; malzeme tane boyu ve dağılımı, özgül ağırlığı, kabarma faktörü
- İş makinası ile ilgili olarak; kova hacmi, periyot zamanı, kova dolum faktörü, yükleme sayısı, makine gücü ve verimi (Atkinson, 1992) ve özgül makine kazı gücü
- Çalışma koşulları ve kamyonlar ile ilgili olarak; kasa hacmi, kasa dolum faktörü, tur zamanı ve mesafe, bekleme zamanı

Yükleme periyodu, kepçenin doldurulması, kaldırılması, dönmesi ve boşaltılması aşamalarından ve tekrar ilk pozisyondaki durumunu almasından oluşur. Kepçe dolum faktörü, fiili kapasitenin teorik kapasiteye oranı olarak tanımlanmakta olup parçacık geometrisi ve boyutuna bağlıdır. Malzemenin boyutu küçüldükçe kepçe dolum faktörü ve faydalı kapasite artmaktadır. Dolum faktörüne, operatörün deneyimi, malzemenin kepçeye yüklenme açısı ve parça boyutu gibi parametreler de etki etmektedir (Mallı, vd., 2005).

Özgül makina kazı gücü, makinanın toplam kurulu motor gücünün kepçe kapasitesine oranı, kW/m³, olarak tanımlanır. Bu oran kazı gücü yeteneğinin bir göstergesidir (Anon, 2001). Bu değeri görece yüksek olan makinalar yeğlenmelidir (Özdoğan, 2002).

2.2. Simülasyon Parametreleri

Simülasyon, sistemin yapay geçmişinin üretilmesine ve gerçek sistemin karakteristik özelliklerine dair çıkarımlar yapmak üzere bu geçmişin gözlemlenmesine olanak verir. Simülasyon sistemin davranışını tanımlamak ve analiz etmek ve "...olursa ne olur?" sorularına cevap vermek için kullanılır.

Farklı simülasyon tipleri şunlardır;

- a) Statik (Zamanın model içinde önemi yoktur)
- b) Dinamik (Zamanın model içinde önemi vardır)
- c) Sürekli (Olayın (event) değişimi zaman içinde sürekli)
- d) Ayrık (Olayın değişimi zaman içinde ayrıktır)
- e) Deterministik (Her parametre kesindir ya da kullanıcı belirler)
- f) Stokastik-Rastgele (Parametreler kullanıcıdan bağımsız olarak rastgele değişebilir)

En kullanışlı simülasyon modelleri dinamik, ayrık ve stokastik olan modellerdir.

Bu çalışmada kazıcı-yükleyicinin kamyonları yüklemesinden oluşan bir durumu modelleneneği için zaman (süre) önemlidir, kamyonların beklemesi, gelmesi, gitmesi gibi bağımsız durumlar olduğu için durumun değişimi zaman içinde ayrıktır, parametrelerin sadece çok azı sabit ve kesindir, diğerleri –belli kısıtlar içinde de olsa- rastgele oluşmaktadır. Bu durumda simülasyon modelimiz dinamik, ayrık ve stokastik bir modeldir.

Modelimizde şu değişkenler simülasyon parametresi olarak kullanılacaktır;

- a) İş makinası kurulu gücü
- b) İş makinası kova hacmi
- c) Kova doluluk oranı
- d) Yükleme öncesi hazırlık süresi
- e) Kamyon yanaşma süresi
- f) Yükleme periyodu
- g) Kamyon kasa hacmi
- h) Kasa doluluk oranı
- i) Sonraki kamyonu bekleme süresi
- j) İş makinası yakıt sarfi
- k) Bakım-onarım giderleri
- l) Diğer giderler

Bu parametrelerden sadece kurulu güç, kova hacmi ve kasa hacmi sabit tutulmuş, diğer tüm parametrelerin belirli kısıtlamalar dahilinde rastgele değişimleri sağlanmıştır. Parametrelerin normal dağılıma uygun olarak dağılım gösterdikleri kabul edilmiş, normal

dağılıma uygun dağılım gösteren veri setlerinden dağılım özelliklerine uygun yeni veri üretme teknikleri kullanılarak simülasyon modeli rastgele veri üretimi sağlanmıştır. Kullanıcının, hemen tüm parametreler için dağılımın basıklık derecesi ve verilerin ortalamadan ne oranda sapma gösterdikleri ile ilgili olarak bilgi girmesine olanak sağlanmıştır.

2.3. Algoritma ve Program

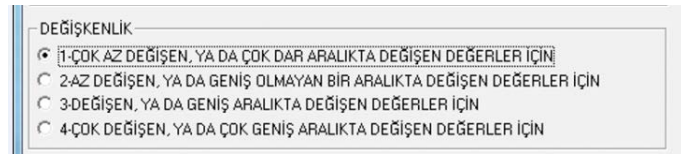
Önceki bölümlerde anlatılan kurguya uygun olarak bir kazıcı-yükleyici iş makinasının kamyon yükleme işlemi ile ilgili iş akım şeması aşağıdaki şekilde yapılmıştır;

1. Patlatma sonrası dağılan malzemenin iş makinası tarafından yüklemeye hazır hale getirilmesi
2. İlk kovanın yüklenmesi ve kamyonla doğru dönme
3. Kamyonun yanaşması
4. Kamyonla yükün boşaltılması
5. İş makinasının kazıya geri dönmesi
6. Kamyon dolana kadar yüklemeye devam edilmesi
7. Dolan kamyonunu hareket etmesi
8. Yeni kamyonun beklenmesi
9. Yeni kamyonun 3-4-5 ve 6 numaralı adımları tekrarlayarak yüklenmesi
10. Tüm yüklenecek malzeme bitene kadar 3-9 aralığındaki adımların tekrarlanması

Algoritma içerisine yerleştirilen alt yordamlar; geçen süre, yüklenen miktar, yüklenen kova sayısı, kamyon sayısı, iş makinasının giderleri ve özgül makina kazı gücü gibi parametreleri ayrıca hesaplamaktadır. Bunun yanı sıra, simülasyon modeli içinde rastgele değişecekleri öngörülen tüm parametreler, önceden belirlenen standart sapma değeri kadar (ya da kullanıcının gireceği standart sapma değeri kadar) olan aralıkta rastgele değerler üreterek hesaplamalara katılmaktadır.

Simülasyon modelinin sağlıklı sonuçlar üretmesi için belirli sayıda tekrarlanması gerekmektedir. Bu tekrarlama hem tüm olası sonuçları ortaya çıkarabilmek ve hem de gerçekçi değerlerin sayısını artırarak gerçekçi olmayan uç değerlerin istatistik analizde öne çıkmasını önlemek içindir. Simülasyon literatüründe ‘iterasyon sayısı’ denilen bu değer, bu çalışmada 100 olarak alınmıştır. Bunun anlamı şudur; simülasyon programı bir kez çalıştırıldığında modellenen kazı-yükleme işlemi 100 kez yapılmış gibi rastgele değerler 100 kez üretilmekte ve hesaplamalar 100 kez yapılmaktadır.

Programın gerçekçi olabilmesi ve aynı zamanda stokastik özelliğini koruyabilmesi için rastgele değişen değerlere mümkünse hiç, değilse çok az dışarıdan müdahale edilmesi gerekir. Ancak, değişim gösterecek değişkenlerin hangi standart sapma aralığında değişim göstereceğinin de programa bir biçimde yüklenmesi gerekmektedir. Simülasyon ya da istatistik konularında bilgi sahibi olmayan bir kullanıcının da bu bilgileri girebilmesi için kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmıştır. Buna göre kullanıcı, tüm değişen parametreler için o parametrenin gerçek çalışma koşullarında ne oranda değiştiğini sözelleştirilmiş dört seçenekten birisini seçerek programa girmektedir (Şekil1).



Şekil1. Değişkenliğin kullanıcı tarafından bir arayüz ile seçilmesi

Bu arayüz ile seçilen aslında standart sapma aralığıdır.

Programın veri giriş penceresi ve sonuç penceresi sırasıyla Şekil2 ve Şekil3’de verilmiştir.

KAZILACAK TOPLAM MİKTAR (m3) 10000		
İŞ MAKİNASI ÖZELLİKLERİ		İŞ MAKİNASI ÖZELLİKLERİ
2.1	—YÜKLEYİCİ KOVA HACMİ (m3)—	2.1
85 (3)	—KOVA DOLULUK ORANI (%)—	85 (3)
25	—KAMYON KASA HACMİ (m3)—	25
75 (3)	—KASA DOLULUK ORANI (%)—	75 (3)
60 (3)	—KAMYON YANAŞMA SÜRESİ (san)—	60 (3)
40 (3)	—YÜKLEYİCİ YÜKLEME PERİYODU (san)—	40 (3)
600 (3)	—YÜKLEME ÖNCESİ HAZIRLIK SÜRESİ (san)—	600 (3)
60 (3)	—SONRAKİ KAMYONU BEKLEME SÜRESİ (san)—	60 (3)
150	—İŞ MAKİNASI YAKIT SARFI (TL/saat)—	150
5000 (3)	—BAKIM ONARIM GİDERLERİ (TL/AY)—	6000 (3)
6000 (3)	—DİĞER GİDERLER (TL/AY)—	5000 (3)
	—YÜKLEYİCİ KURULU GÜÇ (kW)—	

DEĞİŞKENLİK

1-ÇOK AZ DEĞİŞEN, YA DA ÇOK DAR ARALIKTA DEĞİŞEN DEĞERLER İÇİN

2-AZ DEĞİŞEN, YA DA GENİŞ OLMAYAN BİR ARALIKTA DEĞİŞEN DEĞERLER İÇİN

3-DEĞİŞEN, YA DA GENİŞ ARALIKTA DEĞİŞEN DEĞERLER İÇİN

4-ÇOK DEĞİŞEN, YA DA ÇOK GENİŞ ARALIKTA DEĞİŞEN DEĞERLER İÇİN

YARDIM

HER İŞ MAKİNASI İÇİN, VERİLEN DEĞERLERİ ÜZERİNE TIKLAYARAK DEĞİŞTİREBİLİRSİNİZ.

HER ÖZELLİK İÇİN DEĞİŞKENLİK DEĞERİNİ YUKARIDAKİ SEÇENEKLERDEN SEÇEBİLİRSİNİZ.

Şekil2. Veri giriş penceresi

10,000	—TOPLAM KAZI (m3)—	10,002
517	—YÜKLENEK KAMYON SAYISI—	589
2580	—TOPLAM KOVA SAYISI—	3528
4.99	—ORTALAMA YÜKLEME (KOVA/KAMYON)—	6.99
3.878	—ORTALAMA KOVA HACMİ (m3)—	2.84
35.21	—TOPLAM SÜRE (saat)—	37.73
0.07	—BAKIM-ONARIM GİDERLERİ (TL/m3)—	0.05
0.528	—YAKIT GİDERİ (TL/m3)—	0.566
0.063	—DİĞER GİDERLER (TL/m3)—	0.064
0.658	—BİRİM MALİYET (TL/m3)—	0.675
6.573	—TOPLAM MALİYET (TL)—	6.755
64	—ÖZGÜL MAKİNA KAZI GÜCÜ (kW/m3)—	88

YENİ VERİ GİR

ÇALIŞTIR

KAPAT

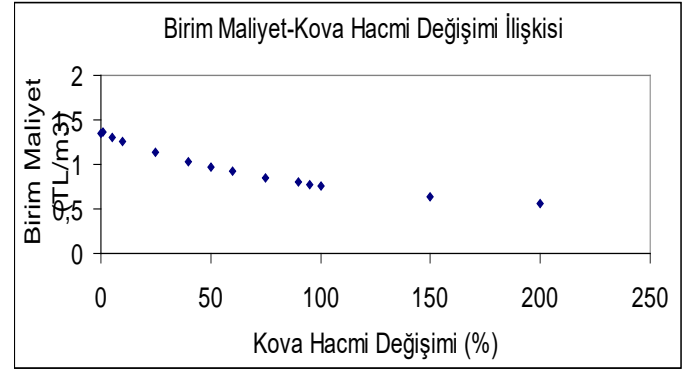
Şekil3. Sonuçlar ve seçim penceresi

3.UYGULAMA VE SONUÇLARI

Program çalıştırıldığında temel algoritmasına uygun olarak sonuçlar üretmiştir. Rastgele değişen parametrelerinin değişim aralığının büyüklüğüne bağlı olarak bu sonuçlar da büyük ya da küçük aralıklarda değişimler göstermişlerdir.

Program kullanılarak birçok farklı parametrenin birbirleri ile olan ilişkileri ve değişimlerini gözlemlemek mümkündür. Örneğin; kazıcı-yükleyici seçiminde ya da kullanımında çok önemli bir parametre olan kova hacmi parametresi önce 2m³ olarak seçilmiş, ardından bu değer adım adım

artırılarak diğer parametrelerin nasıl değiştiği gözlenmiştir (Tablo1). Buna göre kova hacmi değiştikçe birim maliyetteki değişim Şekil4'de verilmiştir.



Şekil4. Birim maliyet-kova hacmi ilişkisi

Tablo1. Kova hacmi değişiminin diğer parametrelere etkisi

Değişim (%)	Kova Hacmi	Toplam Süre (saat)	Birim maliyet (TL/m3)	Toplam maliyet (TL)	Özgül kazı gücü (kW/m3)
0	2	72,64	1,35	13120	113
1	2,02	73,4	1,37	13760	111
5	2,1	69,38	1,296	12949	104
10	2,2	67,72	1,265	12644	99
25	2,5	61,18	1,142	11411	87
40	2,8	55,61	1,035	10330	80
50	3	52,13	0,976	9752	72
60	3,2	49,65	0,929	9286	69
75	3,5	45,54	0,849	8472	64
90	3,8	43,19	0,807	8067	57
95	3,9	41,25	0,769	7681	56
100	4	40,71	0,758	7583	55
150	5	33,79	0,63	6297	44
200	6	29,97	0,558	5580	37

4.SONUÇ

Bu çalışmada, madencilik yatırım ve faaliyetlerini doğrudan etkileyen en önemli konulardan birisi olan makine-ekipman seçimi sürecinde kullanılabilir bir simülasyon programı tanıtılmıştır. Çalışma sonucunda kullanıcının hemen tüm parametrelerini değiştirebileceği, değişkenlik sınırlarını belirleyebileceği bir arayüze sahip bir program elde edilmiştir. Program ile farklı girdiler ile farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sayede kazı-yükleme işlemlerinde hangi parametrenin diğer parametreler üzerinde ne oranda etkili

olduğu, kova ya da kasa doluluk oranının ne oranda önemli olduğu ve değişkenliğin fazla ya da az olmasının ne tür sonuçlar doğurabileceği gibi önemli sonuçlara ulaşılabilir. Örnek olarak kova hacminin değişiminin kazı-yükleme birim maliyeti üzerinde doğrudan bir etkisinin olduğu ($r^2=0,95$) program tarafından ortaya konulmuştur.

Çalışmanın sonraki aşamasında, yazılımın benzer koşullara sahip iki yükleyiciye ait gerçek veriler ile denenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Anon., 2001; P&H Mining Equipment Teknik Verileri, Milwaukee, USA.
- Atkinson, T.. 1992. Selection and Sizing of Excavating Equipment., *SME Mining Engineering Handbook*, (sf. 1311-1333).
- Çebi, Y. Aksoy, M.M., 2000, Belirli bir dekapaj için değişik ekskavatör-kamyon kombinasyonlarının maliyet analizi ile değerlendirilmesi, *DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 2 Sayı: 3 s. 67-77.
- Gu, J., Taylor, J., Seward, D, 2007, Modelling of an hydraulic excavator using simplified refined instrumental variable (SRIV) algorithm, *Journal of Control Theory and Applications* 2007 5 (4) 391–396
- Kırmanlı, C. ve Erçelebi, S., 2005, Açık işletmelerde optimum ekipman seçimi, *itüdergisi/d Mühendislik* Cilt:4, Sayı:2, sf. 67-78
- Kirmanli, C., ve Ercelebi, S.G, 2009, An expert system for hydraulic excavator and truck selection in surface mining, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Volume 109, sf. 727-738.
- Koehler, S.S.. 1980, Mining Methods and Equipment. *Montana College of Mineral Science and Technology*. Montana.
- Li, D., Petre, C., Kerr, C., Joseph, T., Aburizk, S., Mohamed, Y., 2014, Design and Development of A Distributed Earthmoving Simulation, *26th European Modeling and Simulation Symposium*, sf.334-343.
- Liu, Y., Hasan, M.S., Yu, H., 2010, Modelling and Remote Control of an Excavator, *International Journal of Automation and Computing*, Volume 7, Issue 3, sf 349-358.
- Makkonen, T., Nevala, K., Heikkila, R., 2006, A 3D Model Based Control of an Excavator, *Automation in Construction* 15 (2006), sf. 571–577.
- Mallı, T., Aksoy,C.O., Köse, H., 2005, Küçük Ölçekli Madencilikte Tekerlekli Yükleyiciler İçin Ekonomik Taşıma Mesafesi, *IMCET2005, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, (sf.93-97) İzmir.
- Özdoğan, Metin, 2002, Elektrikli Yerkazı Makinalarının Kazı Gücü Etkileyicileri ve Karşılaştırma Ölçütleri, *Madencilik Dergisi*, Cilt 41, Sayı 4, S.3-10
- Perçin, S., 2012, Bulanik AHS ve TOPSİS Yaklaşımının Makine-Teçhizat Seçimine Uygulanması, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 21, Sayı 1, 2012, Sayfa 169-184
- Yang, J, Edwards, D.J., Love, P.E.D., 2003, A computational intelligent fuzzy model approach for excavator cycle time simulation, *Automation in Construction* 12 (2003) sf. 725–735
- Zarotti, S., Leati, E., Paoluzzi, R., 2010, Hydraulic Excavator Working Cycle: From Field Test to Simulation Model, *7th International Fluid Power Conference*, Aachen 2010,