

Makale Gönderim Tarihi: 15.11.2022

Yayına Kabul Tarihi: 06.01.2023

Sürekli Madencilik Sistemi Performans Analizi: Verimlilik ile Amortisman Değişimleri

*Continuous Mining Systems Performance Analysis: Variation of Depreciation with Productivity*Tahir Mallı^{1*}, C. Okay Aksoy¹, G. Gülsev Aksoy²¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir.² Hacettepe Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Ankara.*Sorumlu yazar, e-mail: tahir.malli@deu.edu.tr

Özet

Açık kömür işletme planlamasında, sürdürülebilir kapasite ve verimliliğin yükseltilmesine yönelik strateji ve çözümlerin geliştirilmesi önemlidir. Özellikle örtü kazı sistemlerinin teknik kısıtlar ve madencilik realitesine uygun yüksek kapasiteli değerlendirilmesi gerekmektedir. Açık kömür işletmelerinde; döner kepçeli ekskavatöre (DKE) dayalı sürekli sistemlerinin konvansiyonel mobil makine-ekipmanlarla konbine edilmesi, işletmenin kömür üretim ve kazı kapasitesi ile verimliliklerini yükseltirken bununla birlikte ekonomik üretimlerin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, sürekli sistem performans analizi modellenmiş ve önerilen yaklaşım değerleriyle işletme operasyonlarının ile karar verme süreçlerinde iyileştirmeler amaçlanmıştır. Yüksek rezervli kömür işletmelerinin planlamasında; konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemiyle entegre çalışan yüksek kapasiteli sürekli sistemlerin verimlilik düzeyi artırılarak, efektif maliyetli üretimlerin sürdürülebilmesi ile ülke rezervlerinin rasyo-ekonomik ve etkin değerlendirilmesi olasıdır.

Anahtar Kelimeler: Açık işletme, sürekli sistem, döner kepçeli ekskavatör, amortisman.

Abstract

In the planning of open pit coal mines, it is important to develop strategy and solution intended to increase sustainable capacity and efficiency. Particularly, the stripping systems need to be evaluated in accordance with high-capacity mining reality and technical restrictions. In open pit mines; the combination of bucket wheel excavator-based continuous systems into conventional mobile machinery-equipment increases the production capacity of the coal mine. Thus, regarding the bucket wheel excavators, whose productivities are increased, it is foreseen to make more economical productions with the efficiency. In this study, continuous system is modeled and improvement decision-making process and mining operations aimed with the proposed approach values. The planning of large-reserve coal mines; the efficiency that would be obtained from the integrated system of conventional excavator-truck system with high-capacity continuous systems and also the ratio-economic and effective evaluation of country reserves seem possible with achievement of sustainable and cost-effective productions at mines.

Keywords: Open pit mine, continuous system, bucket wheel excavator, depreciation.

Giriş

Ülkemiz 19.32 milyar ton linyit rezervi ile Dünya kömür rezervinin % 2.1'ini sahip bulunmaktadır. Linyit rezervleri ortalama 2500 kcal/kg altında kalori değerinde ve bu nedenle üretimin % 85'i termik santrallere yöneliktir (MTA, 2021). Özellikle elektrik enerjisi üretimine yönelik planlanan açık kömür işletmelerde sürdürülebilir, verimli ve rekabetçi efektif üretimlerin sağlanması işletmenin ideal üretim kapasite planlamasını da gerektirmektedir. Afşin-Elbistan linyit kömür işletmesi; 4.3 milyar ton görünür rezerv ve % 22 payı ile ülkemizin en büyük linyit havzası olup özellikle elektrik enerjisi üretimine yönelik planlanmıştır. Yüksek kapasiteli üretimine dayalı planlanan işletmede sürdürülebilir, verimli ve ekonomik kömür üretimlerinin gerçekleştirilmesi ülke kaynaklarının rasyonel ve etkin değerlendirilmesi açısından da oldukça önemlidir.

Enerji sektöründe yaşanan darboğaz ve madencilik realitesi, üretim kapasitelerinin artırılması yönündedir. Büyük rezervli kömür işletmelerinin efektif maliyetli değerlendirilmesi ancak yüksek kapasiteli kazı planlamasını gerektirmektedir. Özellikle kazı ve taşıma kapasitesinde yapılacak iyileştirme ve kapasite artışları, işletmelere önemli kazanımlar sağlanacaktır. Bu yönüyle, sürekli sistem döner kepçe ekskavatör + bantlı konveyör örtü-kazı yöntemi, yüksek kapasiteleri ile avantajlar sağlayabilmektedir. Almanya'da ve diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de Afşin-Elbistan linyit havzasında ekonomik olarak yüksek kapasiteli döner kepçeli ekskavatör sisteminden(DKE) yararlanılmaktadır. Özellikle elektrik enerjisi üretimine dönük kömür işletmelerinin rekabetçi ekonomik üretimleri zorunlu bir gerekliliktir. Ancak DKE kazıcıların ortalama ömürleri 30-35 yıl olduğu için kazı performansları giderek düşmekte ve verimli yararlanılmadığı durumlar için toplam kazı miktarında düşüşler olması kaçınılmazdır. Buna karşın işletmede ekskavatör-kamyon yöntemine dayalı olarak üretim kapasite artışı sağlanması amacıyla sürekli sistem ile uyumlu konvansiyonel ekskavatör-kamyon kombine örtü-kazı sistemi planlanmıştır. DKE' lerin performanslarının geliştirilmesi, işletmecilik açısından zorunludur ve bu nedenle üretim öncesi kazı sahaları ile pano dönüşlerinin ekskavatör-kamyon ile kazılmasını da gerektirmektedir. Bu çalışmada, Afşin-Elbistan Kışlaköy kömür işletmesinde; Döner Kepçeli Ekskavatör-Bant Konveyör sürekli sistemlerinin konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemiyle kombine edilmesinin kapasite artışlarının sağlandığı görülmektedir. İşletmede kombine sistemin uyumlu çalışması ile üretim kapasitenin yükseltilerek rekabetçi üretimlerin gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. Böylelikle, açık işletmelerde sürdürülebilir, verimli ve efektif maliyetli üretimlerin gerçekleştirilmesi ve ülke kaynaklarından olabildiğince ekonomik fayda sağlanması olasıdır.

2.Literatür

Madencilik yüksek ilkyatırımları ve işletme maliyetlerine sahip küresel bir endüstri olup dinamik ve belirsizliklerle dolu operasyonlar bütünüdür. Açık maden işletmelerinde talep artışlarının karşılanabilmesi ve üretim artışlarının ekonomik olarak sağlanması işletmelerde yüksek üretim kapasitelerini gerektirmektedir. Bunun yanısıra, kazılacak ve nakledilecek malzeme miktarının da fazla olması kazı, yükleme ve nakliye ekipmanlarının daha yüksek kapasitelere sahip olmasını gerektirmektedir. Maden makinaları gelişmekte olan yeni teknolojilerle, daha büyük kapasitelere erişmekte ve yüksek verimlilikler üretilebilmektedir. Böylelikle, açık işletme birim maliyetleri düşürülerek ekonomik açık ocak derinliği daha da derinleştirilmektedir (Çebi, 1994). Açık işletme madenciliğinde kömür ve dekapaj malzemesinin kazılıp taşınması işlemi, işletme ekonomisinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, işletmelerde uygulanacak örtü-kazı sistemi ve uygun makina-ekipman seçimleri, kapasite ve verimlilik artışı için önem kazanmaktadır. Planlama çalışmalarında ilk aşamada; maden işletmesi derinlik, örtü-kazı oranı, rezerv-kalite değerleri, satış fiyatı, taşıma mesafesi gibi faktörlere göre tasarlanmaktadır. Stratejik planlama aşamasında

ise uzun dönem maden planlaması ve makine-ekipman seçimi yapılmaktadır(Runge,1998). Açık işletme madenciliği için makina seçimi bir işletmenin ekonomik değerlendirmesini etkileyen, işletme tasarımı ve üretim planlamasında en önemli unsurlardandır. Tüm planlama prosesinin temel amacı, maliyet tahminidir ve gerçekte esas amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren seçimi yapmaktır (Lizotte, 1988). Planlamanın temeli, ideal işletme parametreleri ve makina-ekipmanlarla maliyet değerini olabildiğince düşürmektir. Açık işletme nakliye operasyonu tüm maliyet içindeki dağılımı incelendiğinde nakliyenin genel maliyetin % 33'ünü oluşturmaktadır (Georgen,1987). Açık işletmelerde planlama ve tasarımlarda teknik ve ekonomik kriterler ile birlikte çevresel kısıtların da dikkate alınması ve üretim maliyetlerini minimize edilmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla bu problem bir optimizasyon problemidir. Açık işletme optimizasyonu, genel olarak rezerv, üretim planlama, üretim kapasitesi, koşullara uygun makine-ekipman planlaması ve tasarım alternatiflerinin ekonomik değerlendirilmesinden oluşmaktadır(Dohm,1979). Optimum üretim planlaması ve işletme dizaynı, üretimin sağlanmasını beraberinde getirmekte ve böylece kaynakların verimli kullanımını da mümkün olabilecektir (Başçetin, 2011).

Madencilik faaliyetleri oldukça dinamik ve belirsiz ortamda gerçekleştiği için belirsizliklerin etkisini görmek için benzetim tabanlı optimizasyon tercih edilmelidir. Doğru tahminlerin yapılması için bu belirsizlikleri hesaba katacak benzetim tekniklerine gereksinim vardır. Sistemlerin doğru bir şekilde modellemek ve oluşabilecek alternatif senaryoların sonuçlarını tahmin etmek gereklidir. Benzetimlerin doğru şekilde modellenmesi, büyük sermaye yatırımları içeren güvenilir kararlar için oldukça önemlidir (Uğurlu, Özdemir,2022). Genel olarak açık işletmeler alansal ve hacimsel olarak genişlik ve derinlik kazanmakta, bununla birlikte kazılıp taşınması gereken kütle artışı artan nakliye mesafesiyle birlikte üretim maliyetlerini de önemli oranda yükseltmektedir. Maden işletmelerinde derinlikle artan hacimsel miktar, işletmede farklı operasyonlarda çalışacak makine-ekipmanlar ve özellikle kamyonlar için kapasite ve sayısal artış söz konusu olmaktadır. Kamyon nakliyatı açık ocakları domine etmekte ve teknolojik düzeyi de operasyon maliyetini etkilemektedir. Rasyonel bir seçim için kamyon nakliyesi teknik ve ekonomik yönleriyle detaylı analiz edilmelidir. Bununla birlikte tüm operasyonel parametreler, sahanın spesifik ve jeolojik koşullarına uygunluk ve yükleyici makinalarla uyumluluğu da gözönünde bulundurulmalıdır (Bodziony, 2016).

Sürekli madencilik sistemleri, Almanya açık işletmelerinden sonra Polonya, Romanya, Yunanistan ve Çek Cumhuriyeti gibi bazı Avrupa ülkelerinde adapte olarak uygulanmaktadır(Kavouridis,2008;Huss,2014). Kontinus sistemlerin avantajı; düşük operasyonel giderler, yüksek sistem uyumluluğu, düşük emisyon, yüksek kapasitelerde(240,000 m³/gün) kazı performansı sağlamasıdır(Thyssenkrupp,2020). Ancak nispeten daha yüksek yatırımları karşılayacak düzeyde rezervlerin bulunması, geniş alanda maden yataklanması gerekmekte, gevşek ve konsolide olmayan formasyonlarda büyük kapasiteli üretimler için en etkin makinadır(Atkinson,1971). Kazılabilirliği ve makine performanslarını kesin olarak belirleyen örtü tabakası malzemesinin geometrik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin döner kepçeli ekskavatörlerin verimliliği üzerindeki etkisinin tahmini, uzun vadeli maden planlama ve tasarım fazları için çok önemlidir(Galetakis,2014). Ayrıca, örtü tabakasında çoğunlukla çakıltaşları ve sert kumtaşlarından oluşan sert jeolojik oluşumlar, bağımsız olarak veya mevcut sürekli maden ekipmanı ile kombinasyon halinde kesikli işletme yöntemlerinin ekskavatör-kamyon ve/veya patlatma kullanılmasını zorunlu kılmaktadır(Galetakis,2016). DKE'ler sürekli kazıcı sistemler büyük yatırımlara gerektirdiğinden max sürede yüksek verimlilikle çalışması gerekmektedir. Almanya'da ortalama günlük çalışma süresi 3 vardiya devamlı olarak iyi şekilde adapte olmuş makine için 19.2 saat olduğu yılda 5000 saat aktif çalışma (genel bakımdan sonra net olarak) planlanabilmektedir. Ayrıca,

yumuşak kayalarda örtü-kazı sistemleri birim giderler açısından karşılaştırıldığında sürekli sistem Döner Kepçeli Ekskavatör + bant konveyör örtü kazı sisteminin ekskavatör kamyon sistemine göre ekonomik olduğu belirtilmektedir(Çebi, 1987). Almanya da ve diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de Afşin-Elbistan gibi linyit havzalarında ekonomik olarak yüksek kapasiteli döner kepçeli ekskavatör sisteminden yararlanılmaktadır. Özellikle elektrik enerjisi üretimine dönük kömür işletmelerinin rekabetçi düşük maliyetli üretimleri ekonomik gerekliliktir.



Şekil 1. Afşin-Elbistan linyit havzası Kışlaköy açık işletmesinde DKE görünümü

3. Yöntem

Dünya’da birçok açık kömür işletmesinde olduğu gibi Afşin-Elbistan linyit havzasında döner kepçeli ekskavatör bant konveyör örtü-kazı sistemine dayalı yüksek kapasitede kömür üretilmekte ve termik santrale beslenmektedir. Ülkemiz linyite dayalı termik santral toplam kurulu gücün % 23.6 oluşturan ve linyit sahaları içinde en büyük potansiyele sahip AEL Afşin-Elbistan linyit kömür havzası genelinde yapılan arama ve etüdler sonucu; 4.3 milyar ton görünür ve 3,4 milyar ton işletilebilir rezerv tespit edilmiştir. Kışlaköy açık işletmesinin yaklaşık 582 milyon ton rezervi olduğu belirlenmiştir. 2021 yılı kömür üretim kapasitesi 16 milyon tonu aşan Kışlaköy açık işletmesinde kazı ve kömür üretim hedefleri ve 25 yıllık işletme yüksek kapasitede planlanmaktadır. Kışlaköy İşletmesinde kömür üretim hedefleri, yıllık bazda 20 milyon ton ve beş yıl sonrasında 27 milyon ton üretim hedefi bulunmaktadır(Çelikler,2021).

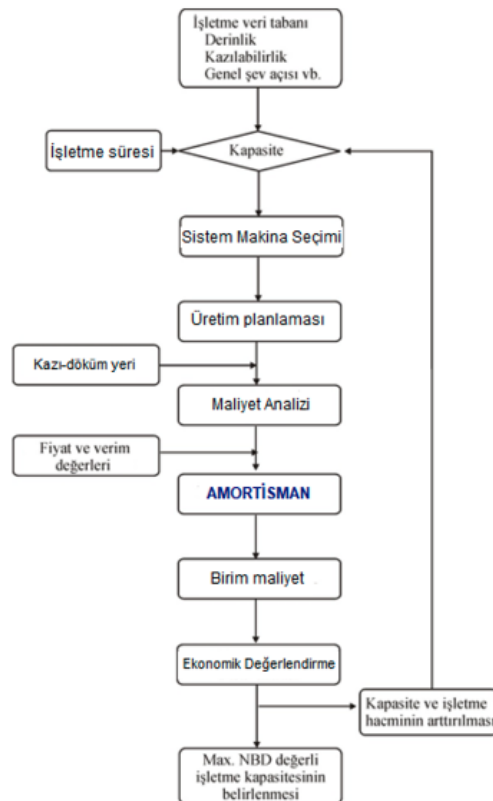
Üretim hedeflerine yönelik; DKE yapılan üretimin, konvansiyonel ekskavatör-kamyon örtü-kazı yöntemiyle konbine uygulamasıyla yıllık üretim ve dekapaj hedefinin tutturulması planlanmıştır. Bunun yanında, DKE’lerin verimliliğinde yaşanan düşüşün de üretim miktarına yansımaması için Ekskavatör-kamyon yönteminin kazı kapasitelerine yüksek miktarda katkısıyla faydalı olacağı ve açık işletmede üzeri açık kömür miktarının artırılması da öngörülmüştür. Bu durum, işletmede olası sorun yaşanması durumunda termik santrale kömür beslenmesi için avantajdır. Ayrıca, işletmede örtü-kazı oranı giderek yükselmekte; 2018 yılında R:2.56 t/m³ iken bu yıl R:3.11 t/m³ düzeyindedir. İşletme örtü-kazı oranıyla birlikte derinlikle artan dekapaj hacmi beraberinde kazı, yükleme ve nakliye sistemlerinde ilave kapasite artışı getirmektedir. Sürekli sistem döner kepçeli ekskavatörlerdeki düşük performans-verimlilik nedeniyle özellikle ekskavatör ve kamyonlar için kapasitesi ile sayısal artış anlamına gelmekte ve sisteminin ekskavatör-kamyon kombinasyonu gerekli olmaktadır. İşletme operasyonlarda çalışacak ana maden makine sayılarını arttırırken işletmecilik için ilk yatırımları da ve amortisman değerlerini etkilemektedir.

DKE'ler ile yapılan kazı ve kömür üretiminin, Ekskavatör-kamyon yöntemiyle desteklenmesi, yıllık 20 milyon ton ve üzerindeki üretim hedeflerine ulaşılması için kazı miktarının yaklaşık %70 oranında yükseltilmesini gerektirmektedir. Artan dekapaj miktarı yanısıra, DKE'lerin verimliliklerindeki düşüslere bağlı olarak kazı kapasitelerinin üretim olumsuz etkilememesi için kombinasyon uygulamasının faydalı olduğu görülmektedir. Açık işletme kazı-nakliye sistemlerinin planlanması ve tasarımında olabildiğince yüksek kapasiteli opsiyonların amortisman değerinin düşürülmesinde etkin olabileceği, bu nedenle işletme dinamiklerine bağlı olarak incelenmesi gerekmektedir. Böylelikle, açık kömür işletmelerde kazı ve üretim kapasitelerinin yükseltilmesi ile ekonomik avantajlı çözümler sağlanabileceği öngörülmektedir.

4. Model ve Uygulama

Model çalışmada, işletmede yıllık kömür üretim kapasite artışlarının örtü-kazı sistemleri üzerindeki etkisi değerlendirilerek artan üretim kapasitesine bağlı olarak yıllık bazda kazı hacimleri ve gerekli ilave kazı kapasiteleri belirlenmektedir. Belirlenen kazı miktarlarına göre, teknik kısıtlar nedeniyle sürekli sistemin dezavantajları konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemi ile dengelenerek kombine uygulaması incelenmektedir.

DKE'ler ile yapılan kazı ve kömür üretiminin, yıllık 20 milyon ton ve üzerindeki üretim hedeflerine ulaşılması ve özellikle dekapaj faaliyetlerinde artan kapasitenin yükseltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, DKE sistemi kazı kapasitesine ilave kapasitenin devreye girmesi gerekmektedir ve bu nedenle, ekskavatör-kamyon yöntemiyle kombine uygulanmaktadır. Maden işletmelerinde derinlikle artan hacimsel miktar, işletmede kazı, yükleme ve nakliye operasyonlarda çalışacak ana maden makine ilkyatırımlarını arttırırken işletme ekonomisini ve amortisman değerlerini etkilemektedir. Özellikle yükleyici ile kamyonlar için kapasite ve sayısal artış ilkyatırımları oldukça yükseltmektedir. İşletmede makinaların ekonomik çalışma süreleri ve diğer değişkenler dikkate alınarak amortisman değerleri ve amortisman şarj değerleri öngörülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Açık işletme makine-ekipman seçimi (Mallı,2013)

Model işletmede; yıllık 20,000,000 t ile 27,000,000 t kömür üretimi ve toplam kazı miktarlarına bağlı olarak işletmede gerekli sürekli sistemi ve konvansiyonel sistemi belirlenmeye çalışılmıştır. Model çalışma, artan üretim kapasitesi ve sabit nakliye-döküm mesafesinde konvansiyonel ekskavatör-kamyon ile DKE örtü-kazı sistemleri için parametre ve kabuller Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. İşletme parametreleri

Parametreler	Değer
DKE yıllık çalışma günü	320
DKE yıllık net çalışma saati (h)	4000-5000 h
DKE kapasite (m ³ /h - yerinde)	2260
Ekskavatör-kamyon sistemi yıllık çalışma saati	5000 h
Kamyon taşıma mesafesi (m)	2000
Ortalama kamyon çevrim süresi (sn)	1000
Maden kamyonu hacmi (m ³)	60
Hidrolik ekskavatör kova hacmi (m ³) (ortalama)	8.5-11 (10)m ³
Ortalama ekskavatör çevrim süresi (sn)	22
Ekskavatör-kamyon sistemi yıllık çalışma gün / saat	278/18 h
Ekskavatör kazı-yükleme kapasitesi (m ³ /h)	909.44
Kamyon nakliye kapasitesi (m ³ /h)	156.06

Model çalışmada, yıllık kömür üretim kapasiteleri minimum 20.0 milyon ton ile maksimum 27 milyon ton arasında değişken alınarak açık işletmede yıllık bazda toplam kazı hacimleri belirlenmiştir. İşletmede örtü-kazı oranı (R); 3,117 t/m³ olarak alınmıştır. İşletmede artan üretim kapasitesine bağlı olarak yıllık bazda kazı hacimleri ve ilave kazı hacimleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. İşletme üretim kapasitesine bağlı kazı ve nakliye miktarları (m³/yıl)

	İşletme üretim ve kazı hedefleri		
	17,500,000	20,000,000	27,000,000
Kömür üretimi (ton/yıl)	17,500,000	20,000,000	27,000,000
Dekapaj miktarı (m ³)	54,547,500	62,340,000	84,159,000
Toplam kazı hacmi (m ³)	68,009,038	77,724,615	104,928,230
DKE sistem Qmax:2260 m ³ /h	67,803,474	67,803,474	67,803,474
Konvansiyonel Ekskavatör-Kamyon	0	9,921,141	37,124,757

İşletmede örtü kazı dekapaj ve kömür üretim miktarlarına bağlı olarak işletmede DKE sürekli sisteminin 17.5 milyon t kömür üretimi ve 68 milyon m³ yıllık kazı kapasitesinin aşılması durumlarında ekskavatör-kamyon sistemine gereksinimi olmaktadır. İşletmede 20,000,000 ton ve üzerindeki kapasiteli yıllık kömür üretimlerinde sürekli DKE sistemin konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemiyle kombine uygulaması kaçınılmaz görülmektedir.

İşletmede üretim miktarlarına bağlı olarak örtü-kazı sistemi ana makina DKE kapasitesinin sabit Q:2260 m³/h olması ve etkin çalışma süresinin t:5000 h durumunda mevcut 6 adet DKE’ ün 17.5 milyon ton kömür üretimi için yeterli olacağı ve bu üretimi aşan hedeflerin sağlanabilmesi için konvansiyonel sistemin entegre edilmesi gerekmektedir.

İşletmede üretim miktarlarına bağlı olarak örtü-kazı sistemi ana makina DKE' ün etkin çalışma süresi t:4000 ile 5000 h olması durumunda gerekli DKE, hidrolik ekskavatör ve kamyon gibi ana makine sayıları öngörülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemi ana maden makine sayıları

Kömür üretim hedefi: 20,000,000 t								
	DKE gün-h	DKE Verim	DKE YÇS-h	DKE YKAP	DKE SİS YILKAP	E+K SİS YILKAP	TOP EXC	TOP KAM
	g-saat	%	saat	m ³ /yıl-ad	m ³ /yıl	m ³ /yıl	ad	ad
Q _{DKE} : 1500 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	7,500,384	45,002,304	32,722,311	7.91	46.09
	320-18	%78.13	4500	6,750,432	40,502,592	37,222,023	9.00	52.43
	320-18	%69.45	4000	6,000,480	36,002,880	41,721,735	10.08	58.77
Q _{DKE} : 1750 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	8,750,448	52,502,688	25,221,927	6.10	35.53
	320-18	%78.13	4500	7,845,504	47,253,024	30,471,591	7.37	42.92
	320-18	%69.45	4000	7,000,560	42,003,360	35,721,255	8.63	50.32
Q _{DKE} : 2000 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	10,000,512	60,003,072	17,721,543	4.28	24.96
	320-18	%78.13	4500	9,000,576	54,003,456	23,721,159	5.73	33.41
	320-18	%69.45	4000	8,000,640	48,003,840	29,720,775	7.18	41.86
Q _{DKE} : 2260 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	11,300,579	67,803,474	9,921,141	2.40	13.97
	320-18	%78.13	4500	10,170,650	61,023,900	16,700,715	4.04	23.52
	320-18	%69.45	4000	9,040,723	54,244,338	23,480,277	5.68	33.07

İşletmede üretim miktarlarına bağlı olarak örtü-kazı sistemi ana makina DKE kapasitesinin sabit Q:2260 m³/h olması ve etkin çalışma süresinin t:5000 h' e yükseltilmesi durumunda mevcut 6 adet DKE' ün ancak 20 milyon ton kömür üretimi için 3 adet ekskavatör ve 14 maden kamyonu ile entegre edilmesiyle yeterli olabileceği öngörülmektedir. Ancak DKE kapasitesinin sabit Q:1500 m³/h ve etkin çalışma süresinin t:4000 h olması durumunda sisteme 10 adet ekskavatör ve 59 maden kamyonu ilavesiyle üretim hedefinin yakalanabileceği öngörülmektedir. İşletmede 27 milyon ton kömür üretim hedefine yönelik kombine örtü-kazı sistemi için gerekli ekskavatör ve kamyon gibi ana makine sayıları öngörülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemi ana maden makine sayıları

Kömür üretim hedefi: 27,000,000 t								
	DKE gün-h	DKE Verim	DKE YÇS-h	DKE YKAP	DKE SİS YILKAP	E+K SİS YILKAP	TOP EXC	TOP KAM
	g-saat	%	saat	m ³ /yıl-ad	m ³ /yıl	m ³ /yıl	ad	ad
Q _{DKE} : 1500 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	7,500,384	45,002,304	59,925,927	14.48	84.41
	320-18	%78.13	4500	6,750,432	40,502,592	64,425,639	15.57	90.75
	320-18	%69.45	4000	6,000,480	36,002,880	68,925,351	16.66	97.05
Q _{DKE} : 1750 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	8,750,448	52,502,688	52,425,543	12.67	73.85
	320-18	%78.13	4500	7,845,504	47,253,024	57,625,207	13.94	81.24
	320-18	%69.45	4000	7,000,560	42,003,360	62,924,871	15.21	88.64
Q _{DKE} : 2000 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	10,000,512	60,003,072	44,925,159	10.86	63.28
	320-18	%78.13	4500	9,000,576	54,003,456	50,924,775	12.31	71.73
	320-18	%69.45	4000	8,000,640	48,003,840	56,924,391	13.76	80.18
Q _{DKE} : 2260 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	11,300,579	67,803,474	37,124,757	8.97	52.29
	320-18	%78.13	4500	10,170,650	61,023,900	43,904,331	10.61	61.84
	320-18	%69.45	4000	9,040,723	54,244,338	50,683,893	12.25	71.39

• İşletmede 27 milyon ton kömür üretimi için DKE sistemi ana makina kapasitesinin sabit Q:2260 m³/h olması ve etkin çalışma süresinin t:5000 h' e yükseltilmesi durumunda mevcut 6 adet DKE' e 9 adet ekskavatör ve 53 maden kamyonu ile entegre edilmesiyle yeterli olabileceği öngörülmektedir.

• Ancak DKE kapasitesinin sabit Q:1500 m³/h ve etkin çalışma süresinin t:4000 h olması durumunda sisteme 15 adet ekskavatör ve 85 maden kamyonu ilave edilmesiyle üretim hedefinin yakalanabileceği öngörülmektedir.

İşletmede, 20 milyon tonu aşan kömür üretim hedeflerinde sürekli sistemin konvansiyonel ekskavatör-kamyon ile kombinasyonu kaçınılmaz görülmekte ve artan üretim kapasitelerinde daha yüksek oranda mobil ana maden makinası gereksinimi olacağı öngörülmektedir.

5. Değerlendirme

Açık işletmelerin kapasite artışlarını sağlamak belirli miktarlarda ilkyatırımları da beraberinde getirmektedir. Yüksek kapasiteli DKE sürekli sistemleri konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemleriyle uyumlu çalışması durumlarında işletmeye avantajlar sağlayacağı ve dekapaj faaliyetlerinde yüksek oranında kapasite artışları sağladığı görülmektedir. İşletmede artan işletme kapasiteleriyle birlikte DKE sürekli sisteminin yıllık kazı kapasitesi olan 54 milyon m³ kazı miktarının ileriki yıllarda aşılması muhtemeldir ve bu durumlar için ekskavatör-kamyon sisteminde gereksinimi zorunlu olmaktadır.

İşletmenin kömür üretim kapasitesinin 18 milyon ton üretimini aşan üretim işletmelerde döner kepçeli ekskavatöre dayalı sürekli sistemlerinin yüksek kazı ve etkin çalışma süresinde çalıştırılmaları işletme açısından teknik ve ekonomik yönden oldukça avantajlıdır. Ancak işletme koşulları ve DKE kazıcı makinalardan ideal kapasitelerde çalıştırılmasını sağlamak gereklidir. Bu durumda DKE ana makinalarının yıllık ortalama 5000 çalışma saatini aşarak ve belirli kazı

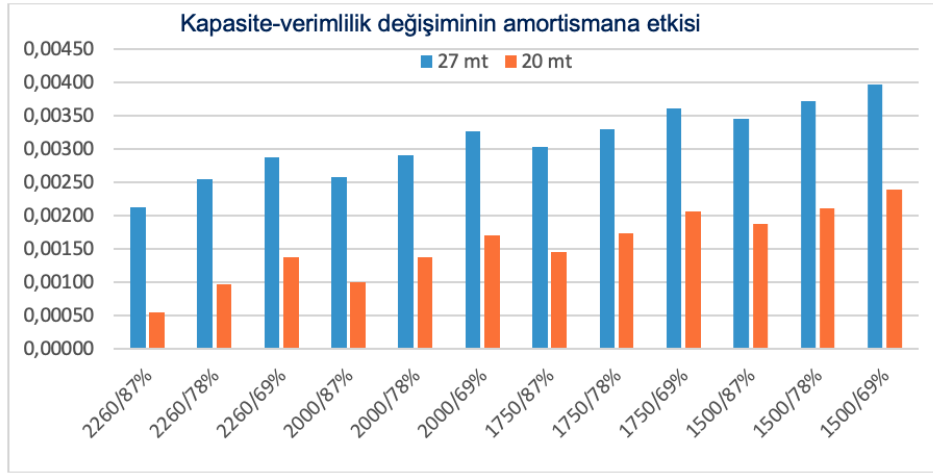
kapasitesinde etkin çalışmasının programlanması gerekmektedir. İşletmede 20 milyon ton ve 27 milyon ton kömür üretim hedefleri için DKE kazı kapasitesine bağlı değişen yatırımların 40000 saatlik aktif çalışma süresi için amortisman şarjları iki farklı üretim hedefi için hesaplanmaktadır. İşletmede 20 milyon ton üretim hedefi için sürekli sistem kapasitesi 1500 m³/h kapasite ile 320 gün ve günlük 18 saat %78 verimle 4500 saat çalışması yerine 27 milyon ton üretimde 2260 m³/h ile %86 verimle 5000 saat çalışması durumunda ana maden makine yatırımları ve amortisman değerlerinin eşit olması öngörülmektedir.(Tablo 5)

Tablo 5. Konvansiyonel sisteminde ana maden makine yatırımlarının amortisman değerleri

Sürekli sistem	DKE ÇGS-h	DKE Verimlilik	DKE YÇS-h	E+K SİSTEMİ İLKİYATIRIM AMORTİSMANLARI	
				20,000,000 t/y	27,000,000 t/y
Kapasite	gün-saat	%	saat	20,000,000 t/y	27,000,000 t/y
Q _{DKE} :1500 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	0.00240	0.00400
	320-18	%78.13	4500	0.00212	0.00370
	320-18	%69.45	4000	0.00188	0.00350
Q _{DKE} :1750 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	0.00206	0.00360
	320-18	%78.13	4500	0.00173	0.00330
	320-18	%69.45	4000	0.00146	0.00300
Q _{DKE} :2000 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	0.00170	0.00330
	320-18	%78.13	4500	0.00137	0.00290
	320-18	%69.45	4000	0.00100	0.00260
Q _{DKE} :2260 m ³ /h	320-18	%86.61	5000	0.00137	0.00290
	320-18	%78.13	4500	0.00097	0.00255
	320-18	%69.45	4000	0.00055	0.00212

İşletme performansları;

- DKE sistem kapasitesi % 50 arttırıldığında ve kullanım verimi % 86.61 le 5000 saate ulaşıldığında minimum ilkyatırıma gereksinimi vardır.
- DKE sistem kapasitesi artışı olmaksızın, kullanım verimi % 69.45 le 4000 saat çalışması durumunda ana makina ilkyatırımları en yüksek değerine ulaşmaktadır.
- Bu nedenle, işletme kapasitesinin 27 milyon ton üretime odaklanması ve DKE sistemin yüksek verimliliklerinde çalışması ile amortisman şarjlarının maliyete etkisinin eşit olacağı öngörülmektedir.
- Yüksek kapasiteli işletmelerde yüksek verimlilikteki sistemlerin ilkyatırım kaynaklı amortisman değerleri giderek düşmektedir.



Şekil 4. Kapasite-verimlilik değişiminin amortisman şarjlarına etkisi

DKE sistem kapasitesi değişimi ve kullanım verimi düşüşü amortismanlarda artışlara neden olmaktadır. İşletmede kapasite ve verimlilik artışı olmaması durumunda 27 milyon ton kömür üretiminde amortismanların en yüksek değere ulaşması beklenmektedir. Tablo 6'da sürekli sistem kapasitesine bağlı olarak değişen kapasitelerde yıllık kullanım çalışma saatlerinde 5000 ile 4000 arası değişen durumlarda amortismanların değişimi verilmektedir.

Tablo 6. Kombine sistemde kapasite ile verimliliklerin amortismanlara etkisi

Sürekli Sistem Kapasitesi	Kapasite Artışı	Verimlilik Değişimi	Amortisman Değişimi
Q _{DKE} (m ³ /h)	%	%	%
2260	+ 50.00	-	-
		- 8.48	+ 20.02
		- 17.16	+ 35.69
2000	+ 33.33	-	+ 21.44
		- 8.48	+ 37.10
		- 17.16	+ 54.30
1750	+ 16.67	-	+ 42.87
		- 8.48	+ 55.71
		- 17.16	+ 69.96
1500	-	-	+ 62.89
		- 8.48	+ 75.73
		- 17.16	+ 87.16

İşletmede;

- DKE sürekli sistem kapasitesi % 50 arttırıldığında ve kullanım verimi % 8.48 düşüşle 4500 saate ulaşıldığında amortismanlarda % 20.02 artmaktadır. Kullanım verimi % 17.16 düşüşle 4000 saate gerilediğinde ise amortismanların % 35.69 artması öngörülmektedir.
- DKE sürekli sistem kapasitesi % 33.33 arttırıldığında ve kullanım verimi 5000 saate ulaşıldığında amortismanlarda % 21.44 artmaktadır. Kullanım verimi % 17.16 düşüşle 4000 saate

gerilediğinde ise amortismanların % 54.30 artması öngörülmektedir.

- DKE sistem kapasitesi % 16.67 arttırıldığında ve kullanım verimi 5000 saate ulaşıldığında amortismanlarda % 42.87 artmaktadır. Kullanım verimi % 17.16 düşüşle 4000 saate gerilediğinde ise amortismanların % 69.96 artması öngörülmektedir.

- DKE sistem kapasitesinde değişim olmaksızın kullanım süresi 5000 saate ulaşıldığında amortismanlarda % 62.89 artmaktadır. Kullanım verimi 4500 saat de ise amortismanların % 75.73 artması öngörülmektedir.

- DKE sürekli sistem kapasitesinde ve kullanım süresinde değişim olmaksızın devam edilmesi durumunda konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemiyle entegre edilip desteklenmesi için amortismanlarda % 87.16 artış öngörülmektedir.

6. Sonuç

Açık kömür işletmelerinde sürdürülebilir ve kapasite gelişimleri de göz önünde bulundurularak ideal örtü-kazı sistemlerinin planlanıp uygulanması ekonomik üretimlerin sektör açısından kaçınılmaz bir realitedir. Yüksek kapasiteli üretim modellerinde sürekli örtü kazı sistemlerinin konvansiyonel ekskavatör-kamyon yöntemiyle entegrasyonu zorunlu görünmektedir. Böylelikle teknik dezavantajlar diğer sistemle en aza indirgenerek işletmecilik açısından avantajlar oluşturulmaktadır. Bu çalışmada; açık kömür işletmelerinde DKE+bant konveyör sisteminin teknik kısıtları ve işletme dinamikleri gereği konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemiyle entegre edilip desteklenmesi sayesinde yüksek kapasiteli üretim ve dekapaj kazılarının gerçekleştirilmesi olası görülmektedir.

İşletmede 20 milyon ton üretim hedefi için sürekli sistem kapasitesi 1500 m³/h kapasite ile 320 gün ve günlük 18 saat %78 verimle 4500 saat çalışması yerine 27 milyon ton üretimde 2260 m³/h ile %86 verimle 5000 saat çalışması durumunda ana maden makine yatırımları ve amortisman değerlerinin eşit olması öngörülmektedir. Yüksek kapasiteli kömür işletmelerinin planlamasında; konvansiyonel ekskavatör-kamyon sistemiyle entegre çalışan yüksek kapasiteli sürekli sistemlerden alınacak verimlilikler ile amortisman düzeyleri idealize edilebilir. Böylelikle işletmede sürdürülebilir efektif maliyetli üretimlerin gerçekleştirilmesi ile ülke rezervlerinin rasyo-ekonomik ve etkin değerlendirilmesi de olasıdır.

Teşekkür

Çalışma sırasında ÇELİKLER Holding ve E.Ü.A.Ş. çalışanlarına yapmış oldukları katkı ve öneriler için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Atkinson, T., 1971. Institution of Mining and Metallurgy, Transaction, July 1971. Açık işletmelerde kazı ve yükleme teçhizatının seçimi, (Çeviri) Ömer Ünver, Madencilik, Cilt 11, Sayı:5,36-72.

Başçetin A., Adıgüzel D., Tuylu S., 2011. The study of energy consumptions and CO2 emissions in the production of aggregate for different rock units. SME Annual Meeting, February 27. Denver-USA, CO. Preprint 11-026.

Bodziony P., Z. Kastelewicz, P. Sawicki ,2016. The problem of multiple criteria selection of the surface mining haul trucks. Archives of Mining Sciences, 61, 223-243.

Çelikler,2021. Afşin-Elbistan Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş. Aylık Faaliyet Raporu, Ekim 2021.

Çebi, Y., Köse, H.,1987. A Computer Program for the Selection of Open-Pit Mining Equipment and Economical Evaluation of Open-Pit Mining Methods, Proceedings of the Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, İstanbul. 417-42

Dohm, G. C. Jr., 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization. Open Pit Mine Planning and Design, (Ed. Hustrulid, W., Kuchta, M.) Balkema Rotterdam, 1995, 625.

Galetakis M., Papadopoulos S., Vasiliou A., Roumpos C., M. Theodoros, 2014. Development of an Expert System for the Prediction of the Performance of Bucket-Wheel Excavators Used for the Selective Mining of Multiple-layered Lignite Deposits. C. Niemann-Delius. (ed.), Proc. of the 12th Int. Symp Continuous Surface Mining, Aachen 2014, 47-58.

Galetakis M., Michalakopoulos T., Bajcar A., Roumpos C., Lazar M., Svoboda P., 2016. Project Bewexmin: Bucket Wheel Excavators Operating Under Difficult Mining Conditions Including Unmineable Inclusions and Geological Structures with Excessive Mining Resistance. 13th ISCSM 2016 Belgrade, 11-14 September.

Georgen, H., 1987. Festgesteins-Tagebau, Trans Tech Publications, Aachen., pp 96.

Huss W., 2014. Problems of Bucket-Wheel Excavators Body in Hardly Workable Grounds in Polish Open Pit Mines, C. Niemann-Delius. (ed.), Proc. of the 12th Int. Symp Continuous Surface Mining, Aachen, 59-71.

Kavouridis K., Roumpos C., Galetakis M., Pavloudakis F., 2008. Methods and technological Improvements for the efficient removal of the overburden hard rock formations at South Field Lignite Mine, Ptolemais, Greece. Proceed of 9th International Symposium ‘Continuous Surface Mining’, 8-11 October 2008, Petrosani-Romania, 91-100.

Lizotte, Y., 1988. Economic and Technical Relations between Open-Pit Design and Equipment Selection, Mine Planning and Equipment Selection, Singhaj (Ed), Balkema, Rotterdam.

M.T.A., 2021. MTA Kömür Arama Araştırmaları, www. mta.gov.tr MTA Genel Müdürlüğü. Ankara.

Runge, I.C. 1998. Mining Economic and Strategy. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, SME, Littleton, USA, 24-171.

Thyssenkrupp, 2021. Industrial Solutions, Continuous Mining Systems. www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/en/products-and-services/mining-systems/bucket-wheel-excavators

Uğurlu, Ö. F., Özdemir Ö.,2022 Cevher Üretim Operasyonlarında Gerekli Kamyon Sayısının Benzetim Yoluyla Belirlenmesi, Yer Altı Kaynakları Dergisi, Yıl:11, Sayı:22, Ağustos, 2022.