





Demir Çelik Endüstrisinde Torpido Taşıma Sistemi Benzetimi

¹Sena Azdemir, ²M. Fatih Ballı, ¹Muhammet Erikli, *¹Çağrı Sel

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik F., Endüstri Müh. Böl., Karabük, Türkiye,   

²KARDEMİR Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Karabük, Türkiye, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 19.02.2019

Kabul Tarihi: 23.09.2019

Öz

Demir-Çelik endüstrisinde sürekli üretim söz konusudur. Ham demir cevherini katı çelik formuna getiren birçok firma tam gün aralıksız çalışmaktadır. Bu tür firmaların üretim süreçleri oldukça maliyetli ve zahmetlidir. Sıvı ham demirin sürekli olarak döküm operasyonları arasında taşınması gerekmektedir. Taşımalarda yaşanan aksaklıklar üretici firmanın büyük mali kayıplara yaşamasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada; bir demir-çelik firmasında üretilen sıvı ham demirin proses içerisinde taşınması için kullanılan torpidoların verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Üretim sisteminin olay artırımı benzetimi yapılmıştır. Üretimde darboğaz yaratan torpidoların kullanılmaması önerilmiştir. Üretime yönlendirilecek torpidolara, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Topsis metodu ile karar verilmiştir. Mevcut sistem ile önerilen yöntem benzetim ortamında kıyaslandığında zaman kaybı %66,35 oranında azalırken üretim miktarında %9,06 (ayda ortalama 13.215,33 ton sıvı ham demire karşılık gelen) bir artış sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demir-Çelik Endüstrisi, Sürekli Üretim, Benzetim, Torpido Taşıma Sistemi, Topsis

Torpedo Transportation System Simulation in Iron and Steel Industry

¹Sena Azdemir, ²M. Fatih Ballı, ¹Muhammet Erikli, *¹Çağrı Sel

¹Karabük University, Engineering F., Industrial Eng. Dep., Karabük, TURKEY
²KARDEMİR Karabük Iron Steel Industry Trade & Co. Inc., Karabük, TURKEY

Abstract

The Iron and Steel Industry is a process industry and subject to continuous production. In the iron and steel sector, many companies producing solid steel form using raw iron ore work for full-day shifts. Production process is costly and laborious. Liquid iron ore must be continuously transported between the casting operations. Transportation problems cause high financial losses. In this study, we aim to increase the efficiency of torpedoes transferring the liquid steel between the casting operations in an iron and steel company. We introduce an event-based simulation model and propose not using the torpedo causing bottleneck in production. The torpedo used in the production is decided by Topsis method which is a multi-criteria decision-making approach. Comparing to existing system and the proposed approach using the simulation model, it has been observed that production quantity increases by %9,06 (13.215.33 tons of liquid iron on average per month) while the waste of time decreases by %66,35.

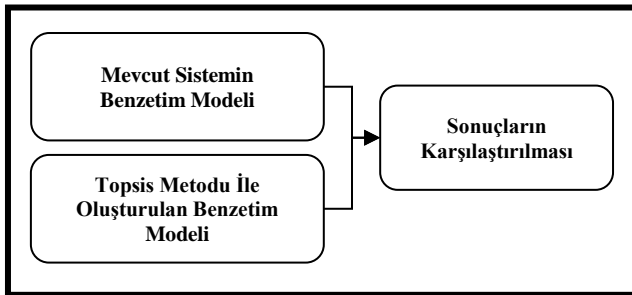
Keywords: The iron and steel industry, continuous production, simulation, torpedo transportation system, Topsis

1. GİRİŞ

Küreselleşen ekonomilerde demir çelik sektörünün de talepler her geçen gün artmaktadır. Demir çelik sektöründe artan ürün taleplerini yetiştirmek ve siparişleri zamanında teslim etmek firmaların temel amaçlarından. Firmaları, zamanında teslim edilemeyen siparişler, uygulanan yanlış üretim ve envanter politikaları olumsuz etkilemektedir.

Demir çelik endüstrisinde, firmalar üretim miktarını artırmak, üretim süresini kısaltmak ve ürünü zamanında teslim etmek için üretim süreçlerini iyileştirme çabası içerisinde. Çalışmada ele aldığımız firma, artan üretim hedeflerine paralel olarak teknolojik alanda da yenilikçi bir yol izlemiştir ve 2018 yılında sıcak maden taşıma sistemini değiştirmiştir. 2018 yılı öncesinde, firmada yüksek fırınlarda üretilen sıvı ham demirin taşıma işlemleri potlarla yapılmakta iken 2018 yılından sonra bu taşımalar tamamıyla torpidolarla gerçekleştirilmektedir.

Çalışmanın amacı bu taşıma sistemini verimli hale getirecek öneriler sunmaktır. Ortaya koyulan en temel öneriler; (i) darboğaz oluşturan, kullanım ömrünü tamamlamış veya yeterli kapasiteye sahip olmayan torpidoların sisteme kabul edilmemesidir, (ii) kullanılacak torpidoların seçilmesi için Topsis metodu ile çok kriterli karar verilmesidir. Şekil 1’de gösterildiği gibi mevcut durum ile önerilerin neticeleri üretim ve taşıma sisteminin olay artırımı benzetimi yapılarak kıyaslanmıştır.



Şekil 1. Araştırma Metodolojisi

Takip eden bölümlerde; Bölüm 2’de literatürde yer alan üretim benzetimi çalışmaları incelenmiştir. Bölüm 3’te üretim sürecinin ve karşılaşılan problemin detaylı tanımı gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4’te sistem benzetimi yaklaşımı açıklanmıştır ve benzetim modeli sunulmuştur. Bölüm 5’te Topsis yöntemi açıklanmıştır ve önerilen senaryo tarif edilmiştir. Son olarak, Bölüm 6’da ve Bölüm 7’de kıyaslamalı sonuçlar verilmiştir ve gelecek çalışmalar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde bilgisayar destekli benzetim uygulamaları üretim ve hizmet sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Bu bölümde ele alınan probleme yönelik literatürde yer alan benzetim uygulamaları incelenmiştir.

Benzetim, bir sistemin davranışlarını modelleyerek inceleyebileceğimiz bir araçtır. Küçükönder ve Uçar [1] çalışmalarında benzetim modellemenin üretim tesislerinde uygulanması durumunda, üretim etkinliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sabır ve Batuk [2] çalışmalarında seçilmiş bir boya terbiye işletmesinin üretim maliyeti ve süresi değişken talebe dayalı olarak, orta ve kısa dönemli planlama için benzetim yöntemiyle modellenmişlerdir. Gerçek veriler kullanılarak boya terbiyede üretim maliyetleri ve üretim süresi hesaplanmıştır. Üretim için gerekli operatör ihtiyacı belirlenmiştir. Boya terbiye işletmelerindeki üretimin maliyet ve süreye dayalı olarak modellenebileceği ve modelin çözülebileceği ortaya koyulmuştur.

Benzetim, sanal bir ortamda sistemin farklı durumdaki çıktılarını gözlemlememizi sağlar. Bir sistemin benzetimini yapıp farklı senaryolar oluşturularak en iyi senaryoyu görebiliriz. Koruca’nın [3] çalışmasında, kriz ortamında esnek benzetim vardiya planı geliştirmeyi amaçlanmıştır. Bu çalışmada Fabrika Organizasyonu Benzetim Yöntemi (Faborg-Sim) yazılımından faydalanılarak kalorifer kazanı imal eden bir işletmede vardiya planlama modülü geliştirilmiştir. İşletmenin mevcut veriler ve çalışma sürelerinden yola çıkarak olası kriz ortamlarına uygun dört farklı vardiya planı senaryosunu ele alınmıştır. Benzetim sonuçlarından kapasite kullanım oranları, dolaşım süreleri, süreçte bekleyen işlerin başarımları ve teslimat oranları elde edilmiştir. Mevcut durumda haftada 56 saat çalışılırken, 1. Senaryoda 45 saat, 2. Senaryoda 40 saat, 3. Senaryoda 35 saat ve 4. Senaryoda 25 saatlik vardiya planları değerlendirilmiştir.

Literatür araştırmamızda farklı senaryolar deneyerek en iyi senaryonun seçilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanan birkaç çalışma detaylıca incelenmiştir. Bu çalışmalardan biri olan Gül vd. [4], hastane acil departmanlarında ortalama hasta kalış süresini azaltan, hasta verimliliğini (birim zamanda hizmet gören hasta sayısını) artıran, kaynak kullanım oranlarını yükselten ve tüm bunlara bağlı olarak personel seviyesini belirleyen 10 farklı senaryo geliştirmiştir. Bu senaryolar çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmiştir. En iyi senaryo performans ölçütü ağırlıkları Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) kullanılarak belirlenmiştir. Senaryolar VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yöntemleri ile sıralanarak birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Literatür taramamızda incelenen diğer bazı çalışmalarda hem farklı senaryolar denenmiş hem de istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Boyraz [5] çalışmasında, rafineriler, boru hattı, döküm depo, akaryakıtla ilgili birlikler ve tugaylardan oluşan kompleks akaryakıt ikmal sistemini ele almıştır. Lojistik yöneticilerine döküm depo ile tugay arasındaki bölümünde, dağıtım sisteminin kurulması esnasında yardımcı olacak karar destek aracı sunulmuştur. Bunun için Promodel benzetim programında 2 adet tedarik ağı tasarlanmıştır. 5 farklı senaryo, t testiyle %95 güven

aralığında istatistiksel olarak incelemiştir. Minimum taşıma maliyeti açısından değerlendirdiğinde 2. alternatifin daha iyi sonuç verdiğini ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, dağıtımın bir kısmının yükleniciler bir kısmının da birlik araçları vasıtasıyla yapılması ile ortaya çıkan karma bir sistem önerilmiştir. Benzer bir çalışmada, Kurşun [6] bir tekstil işletmesinin gömlek dikim hattını ele alarak darboğaz noktaları belirlemiştir. Bu noktalara tezgâh, işçi ekleme çıkarma kararlarıyla hattın dengelenmesi sağlanmıştır ve alınacak yatırım kararlarına destek olacak öneriler sunulmaya çalışılmıştır. Veri analizinde öncelikle iş-zaman etüdü yapılarak hesaplanan işlem sürelerinin bağımsızlığı kontrol etmiştir. İşlem sürelerinin bağımsızlığını kontrol etmek için serpilme diyagramı, otokorelasyon ve koşum testleri uygulanmıştır. Her bir operatörün yaptığı işlem sürelerinin bağımsızlığı kanıtlandıktan sonra, hangi dağılıma uygun olduğunun belirlenmesi için verilerin histogramları çizilmiştir. Stat:Fit programı yardımıyla çizilen histogramların hangi dağılımlara uyduğu tahmin edilmiştir ve Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi aracılığıyla tahmin edilen dağılıma uyup uymadığı kontrol edilmiştir. Benzetim modeli Enterprise Dynamics programında kurmuştur. Benzetim sonucunda değerlendirme ölçütleri incelenerek sistemde darboğaz oluşan noktalar tespit etmiştir ve darboğaz oluşan tezgâh gruplarına ekleme yapılarak model üzerinde Seçenek 1, Seçenek 2 ve Seçenek 3 olmak üzere 3 farklı senaryo denenmiştir.

Bağ ve Aslan [7] bir tekstil fabrikasının üretim sisteminin mevcut durumunu analiz etmek için benzetim modeli kurulmuştur. Benzetim programı olarak ProModel 9.2 kullanılmıştır. Kurulan model sayesinde fabrikanın dikiş bölümünün bir gün içerisindeki üretimini bilgisayar ortamında görsel olarak takip etmek ve sayısal analizler gerçekleştirmek mümkün olmuştur. Bu analizler sonucunda hedeflenen üretim miktarının mesai saatleri içerisinde yetiştirilemediği ve bazı makinelerin kullanım oranlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre iki alternatif senaryo denenerak makine kullanım oranlarını yükseltmiştir.

Uner vd. [8] çalışmalarında, hem farklı senaryolar denemiş hem de istatistiksel yöntemler kullanmıştır. Akış tipi bir üretim sisteminde yüksek seviyede iş gücü kullanarak, fazla miktarda ara-stokla taşıma yapan forkliftler yerine otomatik konveyör sistemleriyle tek yönlü, operatörsüz taşıma yapabilen bir sisteme geçiş incelenmiştir. Analizler ProModel benzetim paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alternatif tasarımlar, performans kriterlerine göre istatistiksel yöntemler vasıtasıyla mukayese edilmiştir.

Kuvvetli ve Erol [9] ele aldığımız çalışmaya benzer olarak bir malzeme taşıma sistemi incelemiştir. Çalışmada, ağaç ürünleri üretimi yapan bir işletmede üretim sahasındaki iş merkezleri arasındaki malzeme taşıma sistemi ele alınmıştır. Taşıma alternatifleri kesikli olay benzetimi yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, konveyör sistemlerinin

kullanımının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu tespit edilmiştir.

Oleghe ve Salonitis [10] çalışmalarında, yalın üretim sistemlerinde insan faktörleri ve süreç akış elemanları arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurması gereken iyileştirme kararları almak için bir benzetim modeli oluşturmuştur. Bu çalışma benzetim modelleme sürecini basitleştirmiştir ve model daha esnek hale getirilerek çeşitli yalın üretim problem durumlarında kullanılması sağlanmıştır.

Çolak vd. [11] çalışmalarında, bir konteyner limanındaki darboğazları gidererek en uygun istif planını ortaya koyabilmek için mevcut durumu ve iki alternatif senaryoyu benzetim yoluyla karşılaştırmıştır. Gelen gemiler için boşaltma zamanının azaltılması, taşıyıcı vinçlerin altındaki bekleme sürelerinin kısaltılması ve tüm ekipmanların adil kullanımı için en uygun saha düzeninin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece, enerji ve işgücü maliyetlerinin azaltılması planlanmıştır. Bu çalışmaları doğrultusunda ikinci senaryo uygulanırsa, toplam boşaltma süresinin mevcut duruma göre %31.65 iyileşebileceği gözlenmiştir ve ikinci senaryonun en iyi alternatif olduğu görülmüştür.

Fredman vd. [12], çelik üretim süreçlerinin iki boyutlu matematiksel bir model sunmuştur. Çalışmada, torpido içerisinde çeliğin bekleme süresi, malzeme seçimi ve refrakter tabaka kalınlıkları gibi bir dizi değişkenin, döküm sırasındaki çelik sıcaklık gelişimine etkileri bakımından incelenebileceği bir model oluşturulmuştur. Bu çalışma ile sıvı çeliğin sıcaklığının, torpido içerisindeki bekleme süresinin ve torpidoya döküm şeklinin torpido içerisinde bulunan refrakter tuğlaları hızla aşındırdığı ve torpidonun ömrünü azalttığı belirlenmiştir.

Guasch vd. [13], bir çelik fabrikasında sıcak çelik bobinlerin demiryolu akışını analiz etmek için renkli bir Petri net kavramsal modeli ve bir Arena benzetim modeli geliştirmiştir. Çalışmada potalar kullanılarak yapılan taşıma sistemi analiz edilmiştir. Taşıma işlemleri gerçekleştirilen demiryolu kaynaklarının miktarını en aza indirmek için demiryolu sistemi üzerine önerilerde bulunulmuştur.

Neumann [14], malzeme taşıma sisteminin başa çıkabileceği maksimum yükü tahmin etmek, yük sınırındaki sistemin performansını engelleyen darboğazları analiz etmek ve tasarımını veya öğelerini değiştirmeden sistem performansını iyileştirmek için bir benzetim modeli kullanmıştır.

Yao ve Zhu [15] çalışmalarında, sürekli döküm ile demir/çelik üretiminin ve bu üretime ilişkin lojistik sistemin benzetimini yapmıştır. Üretim çizelgeleme için görsel bir model önermek amacıyla, FlexSim benzetim yazılımını temel almıştır. FlexSim benzetim yazılımı uygulama metodlarının detaylı analizi yapılmıştır. Demir/çelik üretiminin benzetim modelinin oluşturulmasında, endüstriyel üretim özelliklerine dayalı benzetim sistemi mimarisi inşa edilmiştir. Daha sonra gerçek verilerle bir

demir/çelik ürünü olan SCC üretim sürecinin benzetim modeli oluşturulmuştur.

Coelho vd. [16] yaptıkları çalışmada, entegre bir çelik üretim tesisinde cevher stoklarını kontrol eden ekibin karar vermesine yardımcı olayı amaçlamaktadır. Operasyonel bir bakış açısı ile üretim süreci ile ilgili farklı hammaddelerin alınması, boşaltılması, stoklanması, taşınması ve tedarik edilmesi işlemlerini göz önünde bulundurarak ham madde kullanımına ilişkin bir simülasyon modelinin tasarımı ve uygulanmasını gerçekleştirmiştir.

Mukherjee vd. [17] entegre bir çelik tesisinin bir hammadde taşıma sisteminin kapasitesi belirlenmeye çalışmıştır. Kesikli olay benzetimi kullanarak, boşaltma ekipmanlarının kullanımını en üst düzeye çıkarmak, sistem genelinde tıkanıklığı ve darboğazları ele almak ve sorunsuz malzeme akışını sağlayacak şekilde rota düzenini iyileştirmek amaçlanmıştır. Benzetim modeli, demiryolu ağlarındaki tıkanıklığı yönetmeye imkân sunmuştur ve maliyetlerde önemli bir düşüş göstermiştir, dolayısıyla geleneksel yaklaşıma kıyasla daha yüksek yatırım getirisi elde edilebilmektedir. Bu literatür taraması Türkiye'deki Demir Çelik sektörüne yönelik benzetim araştırmalarının eksikliğini ortaya çıkarmıştır. Diğer sektörlerde olduğu gibi Demir Çelik sektöründe de malzeme taşıma sistemlerinin üretim verimliliğine etkisi benzetim modelleri üzerinden analiz edilmelidir. Çalışmamız, literatürdeki bu boşluğu doldurarak Demir Çelik endüstrisinde üretim ve taşıma süreçlerindeki aksaklıkları azaltması açısından bilime ve sanayiye katkı sağlamaktadır.

3. PROBLEMİN TANIMI

Demir-Çelik endüstrisinde ilk olarak sıvı ham demir üretim işlemi, yüksek fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Demir cevherinin eritilmesi akabinde ortaya çıkan sıvı ham demir, sıvı çelik formuna getirilmek için konverterlere aktarılacak üzere maden aktarma çukurlarına nakil edilmektedir. Yüksek fırınlar ve çelikhane arası sıvı ham demirin nakil işlemi torpido adı verilen araçlarla gerçekleştirilir. Torpido; gövde, motor kabini ve yürüme grubundan oluşan, iç kısmı yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter tuğla ile örülmüş araçlardır. Her torpidonun birbirinden farklı taşıma kapasiteleri mevcuttur. Torpidoların taşıma kapasitelerinin farklı olmasının nedeni kullanıma paralel oluşan deformasyondur.

Taşıma sisteminde kullanılan torpidolar ve ortalama kapasiteleri Tablo 1'de verilmiştir. Torpidoların taşıma kapasitelerini büyükten küçüğe doğru sıralandığında en çok 155,16 ton ile 12. torpido taşımaktadır ve en az kapasiteli torpido ise 65,08 ton ile 18. torpidodur. Büyükten küçüğe doğru sıralama 12, 6, 16, 4, 10, 11, 8, 5, 13, 14 ve 18 numaralı torpidolar şeklindedir. Bu torpidoların dışında 1, 2, 3, 7, 9, 15 ve 17 numaralı torpidolar üretimde kullanılmayacak seviyede bir hasara sahip oldukları için sisteme dahil edilmemektedir. Yüksek fırınlardan 2. fırın kullanım ömrünü tamamlaması sebebiyle üretimde kullanılmamaktadır.

Tablo 1. Kullanılan Torpidoların Ortalama Kapasiteleri

Sistemde Kullanılan Torpidolar	Torpido Kapasitesi (Ton)
4.torpido	144,67
5.torpido	102,56
6.torpido	149,49
8.torpido	107,47
10.torpido	141,08
11.torpido	140,24
12.torpido	155,16
13.torpido	101,94
14.torpido	74,13
16.torpido	144,83
18.torpido	65,08

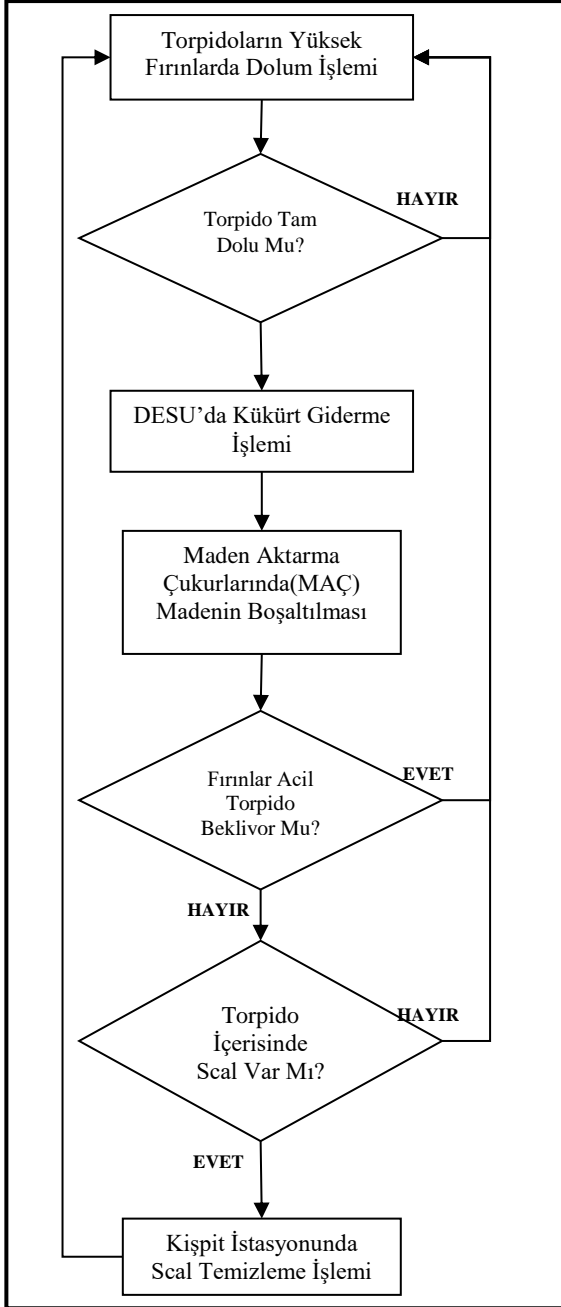
Yüksek fırınlar, ön hazırlanmış (fiziksel ya da kimyasal) demirli hammaddelerin (sinter, pelet, cevher) kok fabrikalarında üretilmiş olan metalürjik kokun yakılması sonucunda oluşan CO (karbon monoksit) ile redüklenecek ve oluşan ısı ile eritilerek sıvı ham demir üretilmesini sağlamaktadır. Torpidolar, ilk olarak yüksek fırınlardan erimiş demir cevherini alır. Yüksek fırınlarda dolmuş işlemi yapılan torpidoların tam dolu olup olmadığı kontrol edilir.

Doluluğu uygun görülen torpidolar bir sonraki işlem için devam ederlerken, doluluğu uygun olmayan torpidolar, yüksek fırınlarda bir sonraki döküm açılana kadar bekler. Dolu olan torpidolar yüksek fırından almış oldukları sıvı ham demir cevherini kükürt giderme tesisine nakleder. Kükürt giderme tesisi, yüksek fırınlardan gelen madenin içerisinde bulunan kükürdün, kireç, magnezyum ve florit kullanılarak istenilen seviyeye getirildiği yerdir. Burada sıvı ham demir istenilen kükürt kalitesine ulaşır. Torpidolar kükürt giderme işleminden sonra taşıdıkları sıvı ham demiri boşaltmak için maden aktarma çukurlarına gider. Maden aktarma çukurları, Çelikhane içerisinde bulunmakta ve Çelikhane içerisinde bulunan konverterlerin maden ihtiyacını karşılamaktadır.

Maden aktarma çukurlarında bulunan potalara torpidoların içerisindeki sıvı ham demir dökülür, daha sonra içi maden dolu hale gelen potalar vinç yardımıyla çukurlardan alınarak konverterlere boşaltılır. Torpidoların naklini gerçekleştirdiği sıvı ham demiri son işlem olarak maden aktarma çukurlarına boşaltıldıktan sonra verilmesi gereken iki karar söz konusudur. Birinci karar "fırınlarda acil torpido bekliyor mu?", ikinci karar ise "torpido içerisinde maden kalıntısı var mı?" şeklindedir. Birinci karar doğrultusunda, yüksek fırınların döküm açması sebebiyle torpido ihtiyacı oluşmaktadır. Bu sebeple acil beklenen torpidolar yüksek fırınlara gönderilir. Birinci karardan geçen torpidoların ise içerilerinde maden kalıntısı (skal) kalıp kalmadığı kontrol edilir.

Torpido içerisinde maden kalıntısı varsa, torpidoların içerisindeki refrakter tuğlaların aşınmasını engellemek ve kapasitesini olumsuz etkilememek amacıyla Kışpıt istasyonuna gönderilir. Kışpıt, torpidoların içerisinde kalmış olan maden kalıntılarının temizleme işleminin yapıldığı istasyondur. Kışpıt istasyonuna gitmesine gerek duyulmayan torpidolar ise tekrar fırınlara gönderilir. Kışpıt istasyonunda

torpidoların içerisindeki bulunan maden kalıntıları oksijen üflenerek kırıcılarla temizlenir ve üretime nakledilmek üzere hazır halde bekletilir.



Şekil 2. Sıvı Ham Demir Üretiminin Proses Şeması



Şekil 3. Sırasıyla Sıvı Ham Demir Nakledilen Tesisler

Bu işlem 24 saat aralıksız çalışan bir nakil işlemidir. Sistemin proses şeması Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Sistemin genel işleyişi ise Şekil 3'de tesis (istasyon) sıralaması ile temsil edilmiştir. Her üretim tesisi elindeki

kaynakları en verimli şekilde kullanmayı amaçlar. Verimliliği yükseltebilmenin en önemli kriteri, sistemlerde oluşan zaman kayıplarını yok etmek veya minimuma indirmektir. Zaman kayıpları doğrudan gecikmelere yol açmakta ve büyük mali kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, zaman kayıplarını minimize ederek torpedo kullanım sayılarını artırıp daha fazla miktarda sıvı ham demirin nakil işlemini gerçekleştirebilmektir. Nakil süreci içerisinde, maden aktarma çukurlarında bir darboğaz söz konusudur. İçerisinde bulunan sıvı ham demiri boşaltmak için gelen torpidolar, maden aktarma çukurlarının önünde beklemektedirler. Torpidonun sıvı ham demiri yüksek fırınlardan aldıktan sonra maden aktarma çukurlarına ulaştırana kadarki süreçte oluşan zaman kayıpları hem torpidonun kullanım ömrünü azaltmakta hem de sistemi yavaşlatmaktadır. Çalışmada mevcut durumda oluşan zaman kayıplarını ve önerilen sistemin uygun olup olmadığını anlayabilmek amacıyla benzetim yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü gibi ilk adım olarak mevcut sistemin verileri elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda sistemin birebir benzetiminin yapılmış, oluşan darboğazı engellemek amacıyla sisteme uygun olan torpidoyu seçebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Topsis metodu kullanılmıştır ve yeni bir senaryo oluşturulmuştur.



Şekil 4. Problemin Çözüm Aşamaları

4. BENZETİM VE MODELLEME

Benzetim gerçek hayatın karmaşık sistemlerinin modellenmesi ve analizinin edilmesinde kullanılan yaygın bir yöntemdir [18]. Sistemin benzetimi için Arena benzetim

programından yararlanılmıştır. Mevcut sistemin benzetiminin sonucunda çıkan verilerde maden aktarma çukurlarında aşırı yığılma ve fırınlarda oluşan kuyruklar dikkat çekmektedir. Darboğaz oluşan Maden Aktarma çukurlarını rahatlatmak için darboğaz oluşturan torpidoların sisteme kabul edilmemesi sağlanmıştır. Sisteme kabul edilmesi uygun olan torpidoların seçimi için çok kriterli karar verme yöntemi olan Topsis metodundan yararlanılmıştır. Topsis yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir, pozitif ideal çözümden en kısa mesafe ve negatif ideal çözümden en uzak mesafe alternatiflerinin seçilmesine dayanan çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir [19]. Sisteme kabul edilecek torpidoların Topsis metodu ile seçiminden sonra her torpidonun kapasitesinin farklı olması sebebiyle işlemlerin operasyon zamanları sisteme kabul edilecek torpidolara göre güncellenmiştir. Daha sonra Yüksek Fırınlarda oluşan kuyrukları azaltmak için kuyruk formülleri eklenmiştir ve bu sayede torpidoların sistemde daha verimli şekilde kullanılması sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından yine Arena benzetim programı kullanılarak önerilen sistem modeli oluşturulmuştur.

4.1 MEVCUT SİSTEMİN BENZETİM MODELİ

Üretim ve torpido taşıma sisteminin benzetimini oluşturabilmek için sayısal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Operasyon sürelerinin ölçülmesi için üretim süreci yedi gün yirmi dört saat incelenmiştir. Bu sayede operasyon sürelerinin dağılımları ve torpido kullanım bilgileri elde edilmiştir. Toplamda 378 süreç verisi elde edilmiştir ve Yüksek Fırınlara, Kükürt Giderme, Maden Aktarma Çukurları, Kışpit İstasyonu olmak üzere 4 aşama ayrı ayrı etüt edilmiştir. Ardından, torpidoların gelişler arası süresi, operasyon süreleri ve torpido kullanımlarında alınan kararların oranları hesaplanmıştır. Sürelere ilişkin dağılımlar Arena benzetim programında "Input Analyze" modülü ile tespit edilmiştir. Elde edilen dağılımlar ve dağılım parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Yapılan etüt işleminden sonra "Input Analyze" ile elde edilen dağılımlardan yararlanılarak Arena Programında sistemin benzetimi yapılmıştır.

Tablo 2. İşlem Süreleri Dağılımları

	Dağılım
Torpido Gelişler Arası Süre	0,0
1.Fırın İşlem Süresi	15+168*BETA(1,11 2,38)
3.Fırın İşlem Süresi	19,5+84*BETA(2,28 1,7)
4.Fırın İşlem Süresi	NORM(76,8 22,5)
5.Fırın İşlem Süresi	9 + ERLA(14,9 2)
Kükürt Giderme İşlemi Süresi	1,5+LOGN(16,7 9,96)
Maden Aktarma İşlemi Süresi	6+GAMM(13 2,41)
Kışpit İşlem Süresi	3+LOGN(22,5 25,1)

Mevcut sistemin benzetiminde 5 ayrı karar noktası bulunmaktadır. Bu karardan I.Karar ile kullanıcı tarafından sisteme girecek torpidolar ve girmeyecek torpidoların belirlenmesi sağlanmıştır. Kullanılmaya elverişli torpidolar sisteme kabul edilirken, kullanılmayacak durumda olan torpidolar sisteme kabul edilmemektedir. Sisteme 11 torpido

kabul edilirken 7 torpido sisteme kabul edilmemiştir. Daha sonra torpidoların ortalama kapasite özellikleri benzetim sistemine tanımlanmıştır. Firma sisteme kabul edilen torpidoların hangi fırına gideceği sezgisel olarak karar verilmektedir. Bu sezgisel yöntemin yerine II. Karar da geçmiş verilere bakılarak fırın kullanım oranlarının kullanılmıştır. Tablo 3'de gösterildiği gibi 1. fırın %20,90, 3. fırın %16,93, 4.fırın %14,02 ve 5.fırın %48,15 oranında kullanım oranlarına sahiptir. Bu bilgiler ile fırın seçiminin yapılması sağlanmıştır. Her bir fırın ayrı ayrı ele alınarak hesaplanan işlem süresi dağılım bilgileri dakika baz alınarak girilmiştir ve 4 adet fırın prosesi oluşturulmuştur. Sıvı ham demirin soğumasına engel olmak için sistemdeki tüm operasyonlar ilk giren ilk giren ilk çıkar (FIFO) olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.Mevcut Sistemin Benzetim Modelinin Karar Yüzdeleri

Karar Adı	Yüzde (%)
II.Karar 1.Fırın	20,90
II.Karar 3.Fırın	16,93
II.Karar 4.Fırın	14,02
II. Karar 5.Fırın	48,15
III.Karar Torpido Dolu	99,9
III.Karar Torpido Tam Dolu Değil	0,01
IV.Karar Fırınlara Acil Torpido Bekliyor	9,26
IV.Karar Fırınlara Acil Torpido Beklemiyor	90,74
V.Karar Torpido Kışpit'e Gönderilecek	87,30
V.Karar Torpido Kışpit'e Gönderilmeyecek	12,70

III. Karar ile Kükürt giderme işlemine gidecek torpidolara karar verilmiştir. Bu karar "torpido dolumu, değil mi?" sorusuna yanıt alındığı kısımdır. Geçmiş verilerde torpidolar çok büyük oranda fırınlardan dolu olarak çıkmaktadır.

Fırınlardan çıkan torpidonun boş olma ihtimali göz ardı edilmeyerek bu boş olma durumu için %0,01'lik bir kısım ayrılmıştır. Daha sonra torpidolar kükürt giderme istasyonuna gönderilmiştir. Kükürt giderme istasyonunun operasyon süresi $1.5 + \text{LOGN}(16,7 \ 9,96)$ olarak tespit edilmiştir. Kükürt giderme istasyonunun da işi biten torpidolar sonra demir cevherini boşaltmak için maden aktarma çukuruna gitmektedir. Torpidolar içerisindeki maden geçici depolama alanı olan maden aktarma çukurlarına boşaltılır. Bu boşaltma işlem süresi dağılım olarak $6 + \text{GAMM}(13, 2,41)$ tespit edilmiştir.

Torpido maden aktarma çukurundan sonra IV. Karar ile karşılaşmaktadırlar. Bu karar "Fırınlara acil torpido bekliyor mu?" sorusunun yanıtıdır. Bu karar için geçmiş verilere bakılarak %90,74 oranla fırınlara acil torpido beklememekte iken %9,26 oranında fırınlara acil torpido beklemektedir. Torpidolar IV. Karardan sonra V. Karar ile karşılaşmaktadırlar. V. Karar ise "Torpido Kışpit'e gönderilecek mi?" sorusunun yanıtıdır. Bu karar için geçmiş verilere bakılmış ve Kışpit istasyonuna gitmeye uygun görülme oranı %87,30 iken Kışpit istasyonuna gönderilmeme oranı ise %12,70'dir. V. Karar için bu oranlar baz alınarak benzetim tamamlanmıştır ve 31 gün çalıştırılmıştır.

Torpedo taşıma sistemi benzetim şeması Şekil 5’de gösterilmiştir. Mevcut sistemde işlem gören torpedo sayıları Tablo 4’te verilmiştir. Çalıştırılan modelde en çok torpedo dolduran 572 adet torpedo ile fırın 5. fırındır. En az torpedo dolduran fırın ise 170 adet torpedo ile 4. fırın olarak çıkmıştır. Toplam işlem gören yanı maden aktarma çukurlarına madeni boşaltan torpedo sayısı ise 1209 adettir.

Tablo 4. Mevcut Sistemde İşlem Gören Torpedo Sayıları

Sayaç Adı	Değer
1.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	283
3.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	190
4.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	170
5.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	572
Kükürt Gidermede İşlem Gören Torpedo Sayısı	1.214
Maden Aktarmada İşlem Gören Torpedo Sayısı	1.209
Kişpit’te İşlem Gören Torpedo Sayısı	938

Tablo 5’te gösterildiği gibi mevcut sistemde en çok maden boşaltma sayısı 11. torpedo ile 113 adet iken en az maden boşaltma sayısı 13 torpedo ile 108 adettir. Torpidoların her birinin taşıyabileceği sıvı ham demir miktarı farklıdır. En çok maden taşıyan 12. torpedo iken en az maden taşıyan ise 18. torpedo olmuştur. 31 günlük çalışma sonucunda çukurlara boşaltılan toplam maden miktarı ise 145.791,05 ton olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Mevcut Sistem Benzetiminde Çıkan Döküm Sayıları Ve Kapasiteleri

Torpedo	Torpedo Kapasitesi (Ton)	Döküm Sayısı (Adet)	Toplam Dökülen Demir Miktarı (Ton)
4.torpedo	144,67	111	16.058,37
5.torpedo	102,56	112	11.486,72
6.torpedo	149,49	109	16.294,41
8.torpedo	107,47	109	11.714,23
10.torpedo	141,08	109	15.377,72
11.torpedo	140,24	113	15.847,12
12.torpedo	155,16	109	16.912,44
13.torpedo	101,94	108	11.009,52
14.torpedo	74,13	109	8.080,17
16.torpedo	144,83	109	15.786,47
18.torpedo	65,08	111	7.223,88
Toplam			145.791,05

Tablo 6. Mevcut Sistemde İşlem Gören Torpedo Sayıları

Sayaç Adı	Değer
1.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	283
3.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	190
4.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	170
5.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	572
Kükürt Gidermede İşlem Gören Torpedo Sayısı	1.214
Maden Aktarmada İşlem Gören Torpedo Sayısı	1.209
Kişpit’te İşlem Gören Torpedo Sayısı	938

modelde en çok torpedo dolduran 572 adet torpedo ile fırın 5. fırındır. En az torpedo dolduran fırın ise 170 adet torpedo ile 4. fırın olarak çıkmıştır. Toplam işlem gören yanı maden aktarma çukurlarına madeni boşaltan torpedo sayısı ise 1209 adettir.

Tablo 5’te gösterildiği gibi mevcut sistemde en çok maden boşaltma sayısı 11. torpedo ile 113 adet iken en az maden boşaltma sayısı 13 torpedo ile 108 adettir. Torpidoların her birinin taşıyabileceği sıvı ham demir miktarı farklıdır. En çok maden taşıyan 12. torpedo iken en az maden taşıyan ise 18. torpedo olmuştur. 31 günlük çalışma sonucunda çukurlara boşaltılan toplam maden miktarı ise 145.791,05 ton olarak hesaplanmıştır.

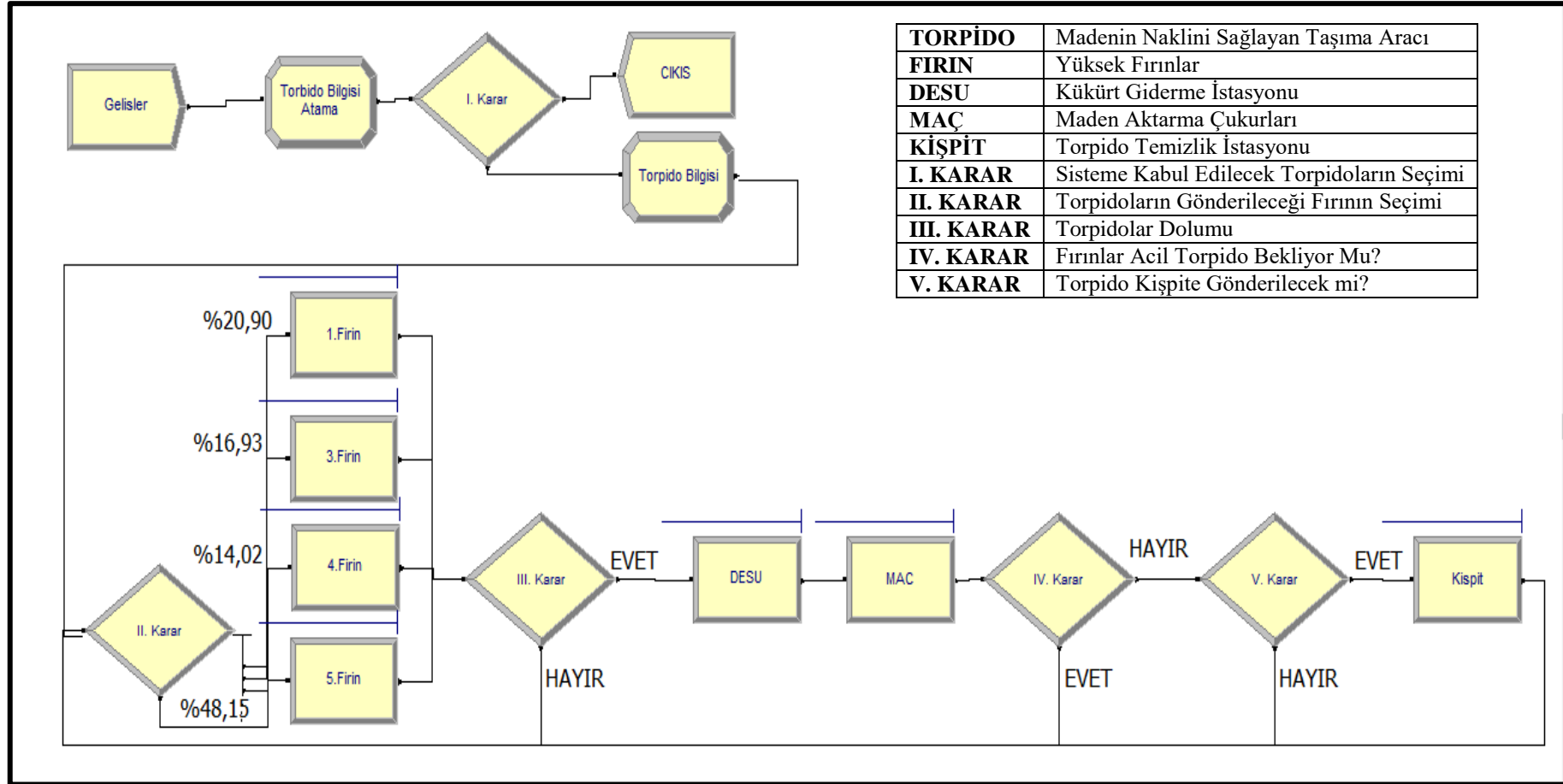
Tablo 7. Mevcut Sistem Benzetiminde Çıkan Döküm Sayıları Ve Kapasiteleri

Torpedo	Torpedo Kapasitesi (Ton)	Döküm Sayısı (Adet)	Toplam Dökülen Demir Miktarı (Ton)
4.torpedo	144,67	111	16.058,37
5.torpedo	102,56	112	11.486,72
6.torpedo	149,49	109	16.294,41
8.torpedo	107,47	109	11.714,23
10.torpedo	141,08	109	15.377,72
11.torpedo	140,24	113	15.847,12
12.torpedo	155,16	109	16.912,44
13.torpedo	101,94	108	11.009,52
14.torpedo	74,13	109	8.080,17
16.torpedo	144,83	109	15.786,47
18.torpedo	65,08	111	7.223,88
Toplam			145.791,05

Tablo 8. Mevcut Sistem Benzetiminde Kuyruk Bekleme Süreleri

Kuyruk Adı	Kuyrukta Bekleme Süresi (Dakika)
1.Fırının Kuyruğu	21,55
3.Fırının Kuyruğu	13,07
4.Fırının Kuyruğu	10,96
5.Fırının Kuyruğu	21,29
Kükürt Giderme İşlemi Kuyruğu	7,23
Maden Aktarma İşlemi Kuyruğu	235,50
Kişpit Kuyruğu	17,27
Toplam Bekleme Süresi	326,87

Tablo 6’ya göre en çok kuyrukta bekleme süresine sahip olan operasyon maden aktarma çukurlarında gerçekleşmektedir. Bu sebeple maden aktarma çukurlarında darboğaz oluşmaktadır. En fazla kuyrukta bekleme süresine sahip fırın ise 1. fırındır. Sonuçlara göre en az kuyruk bekleme süresine sahip operasyon kükürt giderme işlemidir.



Şekil 5. Torpedo Taşıma Sistemi Benzetim Şeması

5. TOPSİS METODU İLE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Mevcut sistemin benzetimde en çok kuyrukta bekleme süresine sahip olarak dar boğaz oluşsan istasyonunun Maden Aktarma Çukurları olduğu görülmüştür. Bu bekleme sürelerini azaltarak dar boğaz oluşumunu engellemek için mevcut çukurların sayısı artırılması gerekmektedir. Gerçek sistemde çukur sayısını artırılması belirli kısıtlara ve yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Maden aktarma çukurlarının sayısına müdahale edilemediği için sisteme kabul edilecek torpidolar için öneri sunulmuştur.

Mevcut sistemde toplam 11 torpido çalışmaktadır. Bu 11 torpidonun taşıma kapasiteleri birbirlerinden farklıdır. En çok maden taşıma kapasitesine sahip torpido 155,16 ton ile 12. torpido iken en az maden taşıma kapasitesine sahip olan 65,08 ton ile 18. torpidodur. Kapasiteleri az olup sisteme giren torpidolar maden aktarma çukurlarında kuyruk oluşturmaktadır. Oluşan kuyruklar sebebi ile kapasitesi fazla olan torpidolar kullanım oranları azalmakta ve bu doğrultuda toplam boşaltılan sıvı ham demir miktarını da azalmaktadır. Fırından aldıkları sıvı ham demiri kükürt giderme işleminden sonra boşaltmak için maden aktarma çukurlarına giden torpidolar belirli sürelerde kuyrukta beklemektedirler. Bu bekleme süreleri doğrultusunda torpidolar içerisindeki madenin sıcaklığı düşmektedir. Sıcaklık düşüncü sıvı ham demir torpido içerisindeki refrakter tuğlaları aşındırmakta ve maden kalıntısı oluşumu gerçekleştirmektedir. Bu süreç torpidonun kullanım ömrünü azaltmaktadır. Bunun için sistemde dar boğaz oluşturan torpidoları sisteme dahil etmeyerek sistemi daha aktif hale getirmek amaçlanmıştır. Sisteme dahil edilmeyecek torpidoların seçimi için çok kriterli karar verme yöntemi seçilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemi problemlerinde karar vericiler, karar değişkeni ve alternatif kümesine göre karar vermektedirler. Karar vericiler için seçim yapılacak, sıralanacak veya sınıflandırılacak faktörler alternatifler olarak isimlendirilmektedir. Bu alternatiflerin değerlendirilecek nitelikleri ise karar değişkeni olarak adlandırılır [20].

Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemi olarak Topsis yöntemi seçilmiştir. Topsis yönteminde karar verici öznelikten uzaklaşarak bilimsel bir sonuç elde etmektedir.

5.1 TOPSİS METODU

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Topsis yöntemi, nitel bir çevrim yapılmaksızın, doğrudan veri üzerinde uygulanabilmektedir. Topsis yöntemi (1981) Hwang ve Yoon referansı ile Chen ve Hwang tarafından oluşturulmuştur. Topsis yöntemi rasyonelliği, hesaplamadaki basitliği ve değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılmasına olanak vermesi gibi avantajları nedeniyle literatürde oldukça fazla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir [21]. Topsis yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar ve çalışmada gerçekleştirilen uygulamaları şu şekildedir;

1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması. Tablo 7'de karar matrisinin yapısı gösterilmektedir.

Tablo 9. Örnek Bir Karar Matrisi

ALTERNATİFLER	ÖZELLİKLER		
	y_1	y_2	y_3
a_1	y_{11}	y_{12}	y_{1k}
a_2	y_{21}	y_{22}	y_{2k}
...
a_n	y_{n1}	y_{n2}	y_{nk}

2. Adım: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması.

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij}^2)}} \quad i = 1 \dots n; j = 1 \dots k \quad (1)$$

3. Adım: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması.

$$X_{ij} = W_i * Z_{ij} \quad i = 1 \dots n; j = 1 \dots k \quad (2)$$

(W_i her bir j kriterinin ağırlığı)

4. Adım: m^* ve m^- İdeal Noktalarının Tanımlanması.

$$m^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*] \quad (\text{maksimum değerler}) \quad (3)$$

$$m^- = [x_1^-, x_2^-, \dots, x_k^-] \quad (\text{minimum değerler}) \quad (4)$$

5. Adım: Maksimum İdeal Noktaya Olan Uzaklığın Hesaplanması (S_i^*)

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^*)^2} \quad i = 1 \dots n \quad (5)$$

6. Adım: Minimum Noktaya Olan Uzaklığın Hesaplanması (S_i^-)

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2} \quad i = 1 \dots n \quad (6)$$

7. Adım: Her bir alternatifin Göreceli Sıralamasının Oluşturulması Ve Puanlarının Hesaplanması (C_i^*)

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad i = 1 \dots n \quad (7)$$

Sisteme kabul edilecek torpido seçimi için Topsis yönteminden yararlanılmıştır. Torpidoların kapasiteleri ve 1'den 10'a kadar verilen torpido kullanılabilirliği derecesi ile hesaplama yapılmıştır. Kullanılabilirlik derecesi torpidonun bundan sonraki kullanım ömrü ve kullanım kalitesine göre puanlanmıştır. Tablo 8'de gösterildiği gibi kullanılabilirliği yüksek olana 10 puan verilirken, kullanılamaz durumda olana ise 1 puan verilerek torpido kullanılabilirliği puanlama tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 10. Torpido Kullanılabilirliği Puanlama Tablosu

Kullanılabilirliği	Derecesi
Oldukça Yüksek	10
Çok Yüksek	9
Yüksek	8
Kısmen Yüksek	7
Kısmen Orta	6
Orta	5
Kısmen Düşük	4
Düşük	3
Çok Düşük	2
Hemen Hemen Olanaksız	1

Uygulama 1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması için karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer almaktadır. Karar matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi aşağıda sunulan Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 11.Topsis Karar Matrisi

ALTERNATİFLER	ÖZELLİKLER	
	Torpedo Kapasitesi (Ton)	Kullanılabilirlik Derecesi
4.torpedo	144,67	9
5.torpedo	102,56	4
6.torpedo	149,49	10
8.torpedo	107,47	5
10.torpedo	141,08	9
11.torpedo	140,24	8
12.torpedo	155,16	10
13.torpedo	101,94	6
14.torpedo	74,13	3
16.torpedo	144,83	9
18.torpedo	65,08	4

Uygulama 2. Adım: Normalize karar matrisinin oluşturulması için Denklem (1) de görüldüğü gibi sütunlardaki her değer o sütünün değerlerin karelerinin toplamının kareköküne bölünür. Topsis Normalize Karar Matrisi Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 12.Topsis Normalize Karar Matrisi

Torpedo No	Torpedo Kapasitesi	Kullanılabilirlik Derecesi
4.torpedo	0,351	0,365
5.torpedo	0,249	0,162
6.torpedo	0,362	0,405
8.torpedo	0,261	0,203
10.torpedo	0,342	0,365
11.torpedo	0,340	0,324
12.torpedo	0,376	0,405
13.torpedo	0,247	0,243
14.torpedo	0,180	0,122
16.torpedo	0,351	0,365
18.torpedo	0,158	0,162

Uygulama 3. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması için normalize karar matrisindeki ilgili özellik ağırlığı ile çarpılır. Torpedo kapasitesinin ağırlığı 0,5 ve kullanılabilirlik derecesinin ağırlığı 0,5 olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi iki kriterin, alternatiflerin seçiminde eşit derecede etkili olmasıdır. Denklem (2) kullanılarak her bir değer ağırlıkları ile çarpılarak Tablo 11'deki ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulmuştur.

Uygulama 4. Adım: m^* ve m^- değerleri Denklem (3-4) ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinde her bir sütundaki maksimum ve minimum değerleridir. Tablo 12'de görüldüğü gibi torpedo Kapasitesi sütunundaki maksimum değer 0,188'dir. Kullanılabilirlik Derecesi sütunundaki

maksimum değer ise 0,203'dür. Torpedo Kapasitesi sütunundaki minimum değer 0,079'dur. Kullanılabilirlik Derecesi sütunundaki minimum değer ise 0,061'dir.

Tablo 13.Topsis Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Torpedo No	Torpedo Kapasitesi	Kullanılabilirlik Derecesi
4.torpedo	0,175	0,182
5.torpedo	0,124	0,081
6.torpedo	0,181	0,203
8.torpedo	0,130	0,101
10.torpedo	0,171	0,182
11.torpedo	0,170	0,162
12.torpedo	0,188	0,203
13.torpedo	0,124	0,122
14.torpedo	0,090	0,061
16.torpedo	0,176	0,182
18.torpedo	0,079	0,081

Tablo 14.Topsis Maksimum Ve Minimum Değerler

	Torpedo Kapasitesi	Kullanılabilirlik Derecesi
m^* Maksimum Değerler	0,188	0,203
m^- Minimum Değerler	0,079	0,061

Uygulama 5. ve 6. Adım: Maksimum ideal noktaya olan uzaklık (S_i^*) Denklem (5) ve minimum noktaya olan uzaklık (S_i^-) Denklem (6) kullanılarak hesaplanmıştır ve Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 15.Topsis S_i^* ve S_i^- Değerleri

Torpedo No	S_i^*	S_i^-
4.torpedo	0,024	0,155
5.torpedo	0,137	0,050
6.torpedo	0,007	0,175
8.torpedo	0,117	0,065
10.torpedo	0,026	0,153
11.torpedo	0,044	0,136
12.torpedo	0,000	0,179
13.torpedo	0,104	0,075
14.torpedo	0,173	0,011
16.torpedo	0,024	0,155
18.torpedo	0,163	0,020

Uygulama 7. Adım: Hesaplanan ideal ve negatif ideal çözüm değerleri kullanılarak ideal çözüme göreli yakınlık değeri C_i^* Denklem (7) kullanılarak hesaplanmıştır. C_i^* değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır ve çözüme en yakın değer en büyük değer anlamına gelmektedir. Tablo 14'te Topsis yönteminde elde edilen C_i^* değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak verilmiştir.

Çıkan sonuçlar doğrultusunda C_i^* değeri 0,5'den küçük olanlar sisteme alınmayacak iken 0,5'den büyük olanlar sisteme kabul edilecektir. Bunun sebebi sisteme kabul edilecek torpedo sayılarını azaltılmasıdır. Matematiksel olarak bir sınır konulmuştur ve bu sınır 0,5 olarak temel alınmıştır. Bu doğrultuda 12, 6, 16, 4, 10 ve 11 numaralı torpidolar sisteme alınacak iken 13, 8, 5, 18 ve 14 numaralı torpidolar sisteme alınmayacaktır.

Tablo 16. Topsis C_i^* Değerleri

Torpedo No	Torpedo Kapasitesi (Ton)	Kullanılabilirlik Derecesi	C_i^*
12.torpedo	155,158	10	1
6.torpedo	149,486	10	0,962
16.torpedo	144,829	9	0,867
4.torpedo	144,667	9	0,866
10.torpedo	141,083	9	0,852
11.torpedo	140,237	8	0,754
13.torpedo	101,939	6	0,421
8.torpedo	107,474	5	0,359
5.torpedo	102,559	4	0,266
18.torpedo	65,081	4	0,110
14.torpedo	74,132	3	0,060

5.2 ÖNERİLEN SENARYO

Sisteme kabul edilecek torpidolar Topsis yöntemi ile seçildikten sonra senaryo analiz edilmiştir. 12, 6, 16, 4, 10 ve 11 numaralı torpidolar sisteme alınmıştır. 13, 8, 5, 18 ve 14 numaralı torpidolar sisteme alınmamıştır ve yeni durumda sistemin tartışılmıştır. Önerilen senaryonun benzetim şeması Şekil 6'daki gibidir. Yüksek fırınlarda oluşan kuyruk bekleme sürelerinin azaltılması için yeni bir karar eklenerek kuyruk uzunluğu ve işlem gören torpedo sayısı az olan fırını seçilecek şekilde karar formülleri yazılmıştır. 5. fırının kapasitesi diğerlerine göre daha fazla olduğu için ilk seçim kararı 5. fırına gönderilmiştir. Kararları sağlamayan durumlarda torpedo 1. fırına gönderilmektedir.

Mevcut sistemde fırınlarda döküm açıldıkça rastgele torpedo çağırılmaktadır. Torpidolar hangi fırınlara gönderileceği kararı yüzdelik varsayımlara göre yapılırken önerilen senaryoda sisteme kabul edilen torpidoların olduğu verilerdeki oran tekrar hesaplanarak acil istenen torpidolar %9,9 ile 1. Fırına, %27,23 ile 3. fırına, %17,82 ile 4. fırına geri kalan kısım ise 5. fırına gönderilmektedir. Bu şekilde sistem tekrar modellenmiştir ve benzetim modeli 31 gün çalıştırılmıştır. Önerilen senaryonun dağılımları Tablo 15'de ve karar yüzdeleri Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 17. Önerilen Senaryonun Dağılımları

Süreler	Dağılım
Torpedo GAS	0,0
1.Fırın İşlem Süresi	39+144*BETA(0,637 1,33)
3.Fırın İşlem Süresi	19.5+84*BETA(2,35 1,56)
4.Fırın İşlem Süresi	NORM(79,1 26,1)
5.Fırın İşlem Süresi	18+ERLA(14,8 2)
Kükürt Giderme İşlemi Süresi	5.5+ERLA(5,08 3)
Maden Aktarma İşlemi Süresi	7.5+ERLA(8,23 4)
Kişpit İşlem Süresi	3.5+LOGN(17,9 14,8)

Tablo 18. Önerilen Senaryonun Karar Yüzdeleri

Karar Adı	Yüzdeleri (%)
III. Karar Torpedo Dolu	99,9
III. Karar Torpedo Tam Dolu Değil	0,01
IV. Karar Fırınlara Acil Torpedo Bekliyor	11,88
IV. Karar Fırınlara Acil Torpedo Beklemiyor	88,12
V. Karar Torpedo Kişpite Gönderilecek	87,62
V. Karar Torpedo Kişpite Gönderilmeyecek	12,38
VI. Karar 1.Fırın	9,9

VI. Karar 3.Fırın	27,23
VI. Karar 4.Fırın	17,82
VI. Karar 5.Fırın	45,05

Tablo 17'de görüldüğü gibi oluşturulan yeni senaryoda 5. fırın 582 adet torpedo dolum işlemi gerçekleştirmiştir. En çok torpedo dolduran fırın mevcut durumdaki gibi 5.fırın olarak çıkmıştır. En az torpedo dolduran fırın ise 47 adet torpedo dolumu gerçekleştiren 1. fırındır. Kükürt gidermede işlem gören torpedo sayısı ise 1.092 adettir. Maden aktarma çukurlarında işlem gören torpedo sayısı 1.090 adet olarak çıkmıştır. Kişpit istasyonunda işlem gören torpedo sayısı ise 826 adettir. Toplam işlem gören yanı maden aktarma çukurlarına kadar gelip madeni boşaltan torpedo sayısı ise 1.090 adettir.

Tablo 19. Önerilen Senaryoda İşlem Gören Torpedo Sayıları

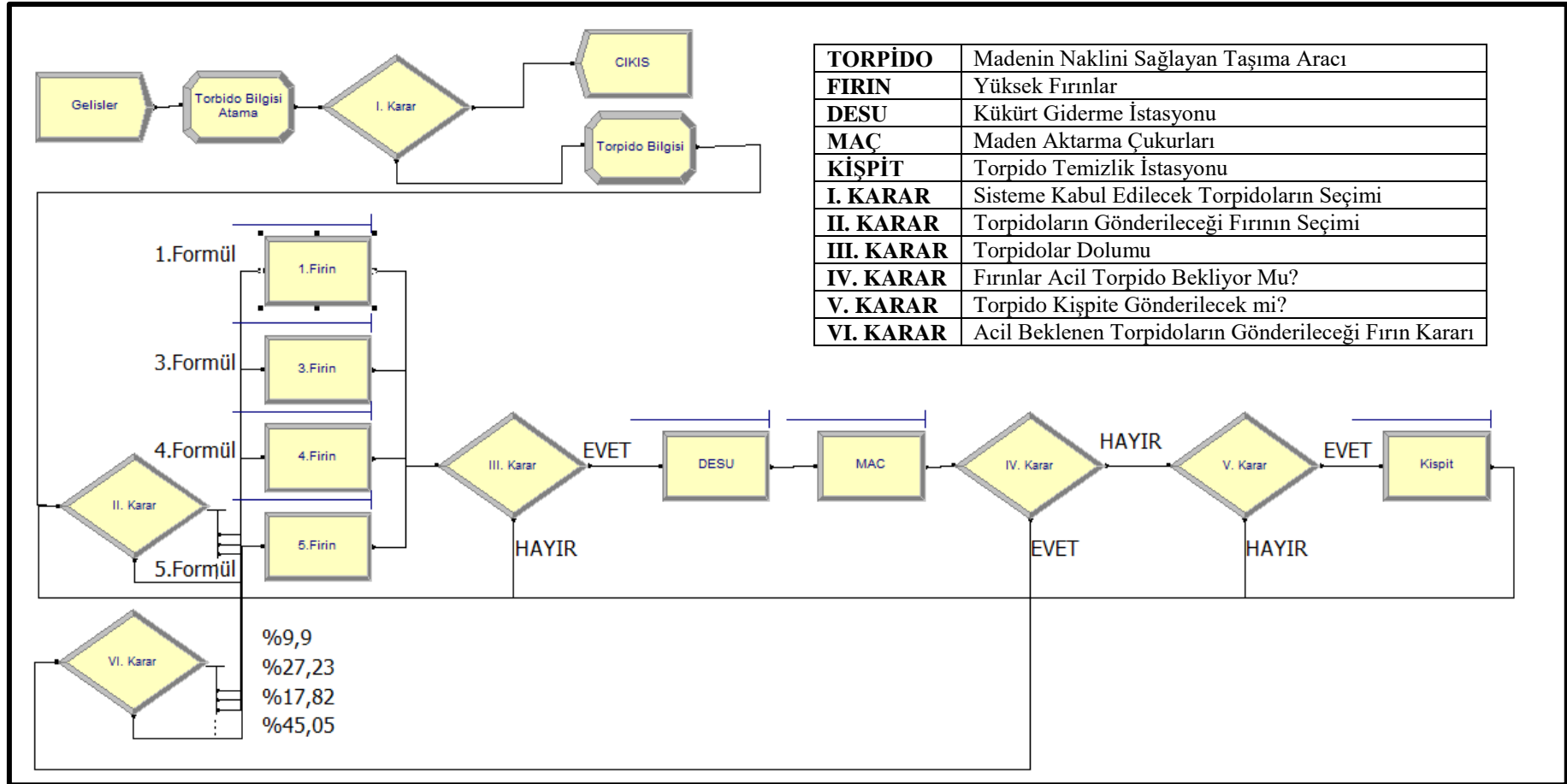
Sayaç Adı	Değer (Adet)
1.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	47
3.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	163
4.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	301
5.Fırında İşlem Gören Torpedo Sayısı	582
Kükürt Gidermede İşlem Gören Torpedo Sayısı	1092
Maden Aktarmada İşlem Gören Torpedo Sayısı	1090
Kişpit'te İşlem Gören Torpedo Sayısı	826

Tablo 18'de gösterildiği gibi yeni senaryoda torpidolar ayrı ayrı kaç kez maden boşalttığı sayılmıştır. En çok maden boşaltma sayısı 6. ve 10. torpedo 182 adet iken en az maden boşaltma sayısı 12. torpedo ile 178 adettir. Torpidoların her birinin taşıyabileceği sıvı ham demir miktarı farklıdır. En çok maden taşıyan 12. torpedo iken en az maden taşıyan ise 11. torpedo olmuştur. 31 günlük çalışma sonucunda toplam dökülen maden miktarı ise 159.006,38 ton olarak hesaplanmıştır.

Tablo 20. Önerilen Senaryoda Döküm Sayısı

Torpedo	Kapasite (Ton)	Döküm Sayısı (Adet)	Toplam Dökülen Demir Miktarı (Ton)
4.torpedo	144,67	182	26.329,94
6.torpedo	149,49	184	27.506,16
10.torpedo	141,08	184	25.958,72
11.torpedo	140,24	182	25.523,68
12.torpedo	155,16	178	27.618,48
16.torpedo	144,83	180	26.069,4
Toplam			159.006,38

Önerilen senaryoda kuyruk bekleme süreleri Tablo 19'da gösterilmiştir. 1. fırındaki bekleme süresi tamamen azalarak sıfıra kadar düşmüştür. Diğer fırınlardaki bekleme sürelerinde de mevcut duruma kıyasla düşüşler gerçekleşmiştir. Yine mevcut durumdaki gibi en çok bekleme süresine sahip olan istasyon Maden Aktarma Çukurlarıdır. Fakat mevcut sistem ile kıyaslandığında büyük bir miktarda azalma görülmektedir. Toplam bekleme süresi ise 109,98 dakika olmuştur. Benzetim sonucunda, mevcut sistemde oluşan toplam kuyruk bekleme süresinin oldukça azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. Önerilen Torpido Taşıma Sistemi Senaryosu Benzetim Modeli Şematik Gösterim

Tablo 21. Önerilen Senaryoda Kuyruk Bekleme Süreleri

Kuyruk Adı	Kuyrukta Bekleme Süresi (Dakika)
1.Fırının Kuyruğu	0,0
3.Fırının Kuyruğu	1,80
4.Fırının Kuyruğu	1,29
5.Fırının Kuyruğu	1,38
Kükürt Giderme İşlemi Kuyruğu	5,26
Maden Aktarma İşlemi Kuyruğu	98,02
Kişpit Kuyruğu	2,23
Toplam Bekleme Süresi	109,98

6. SONUÇLAR

Çalışma sonucunda mevcut durum ile önerilen senaryo birbiri ile kıyaslanmıştır. İlk benzetim mevcut durumun modellenmesi ile çalıştırılmıştır. İkinci önerilen benzetim ise darboğaz oluşturan torpidoların çıkartılarak ve fırınlar için uygun formüller yazılarak oluşturulan benzetimdir. İki uygulama sonucu çıkan kuyruk bekleme süreleri Tablo 20 ve Tablo 21’de verilmiştir.

Mevcut durumda kuyrukta bekleme süresi 1. fırında 21,55 dakika iken yeni senaryoda hiç bekleme olmamıştır. 3. fırındaki mevcut durumda bekleme süresi 13,07 dakika iken yeni senaryoda bekleme süresi 1,80 dakikaya kadar düşmüştür.

Mevcut durumda darboğaz sorununun olduğu maden aktarma çukurlarında 235,50 dakika bekleme süresi oluşurken yeni senaryoda maden aktarma çukurlarındaki bekleme süresi 98,02 dakikaya kadar düşmüştür.

Mevcut durumdaki torpido taşıma sisteminde toplamda oluşan bekleme süresi 326,87 iken oluşturulan yeni senaryoda 109,98 dakikaya kadar düşmüştür. Yeni senaryoda 216,89 dakika ile %66,35 oranında kayıp zaman geri kazandırılmıştır. Böylece sistem daha verimli hale getirilmiştir.

Mevcut durumda taşınan sıvı ham demir 145.791,05 ton iken yeni senaryoda taşınan sıvı ham demir %9,06 oranında artarak toplam maden aktarma çukurlarına 159.006,38 ton sıvı ham demir boşaltılmıştır. Önerilen senaryo ile 13.215,33 ton sıvı ham demir kazancı sağlanmıştır.

Tablo 22. Mevcut Durumda Kuyrukta Bekleme Süreleri

Kuyruk Adı	Kuyrukta Bekleme Süresi (Dakika)
1.Fırının Kuyruğu	21,55
3.Fırının Kuyruğu	13,07
4.Fırının Kuyruğu	10,96
5.Fırının Kuyruğu	21,29
Kükürt Giderme İşlemi Kuyruğu	7,23
Maden Aktarma İşlemi Kuyruğu	235,50
Kişpit Kuyruğu	17,27
Toplam Bekleme Süresi	326,87

Tablo 23. Önerilen Senaryoda Kuyrukta bekleme Süreleri

Kuyruk Adı	Önerilen Senaryoda Kuyrukta Bekleme Süresi (Dakika)
1.Fırının Kuyruğu	0
3.Fırının Kuyruğu	1,80
4.Fırının Kuyruğu	1,29
5.Fırının Kuyruğu	1,38
Kükürt Giderme İşlemi Kuyruğu	5,26
Maden Aktarma İşlemi Kuyruğu	98,02
Kişpit Kuyruğu	2,23
Toplam Bekleme Süresi	109,98

7. TARTIŞMA

Günümüz şartlarında demir-çelik sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerde verimlilik her geçen gün artan bir öneme sahip olmaktadır. Kaynakların en verimli şekilde kullanılması, zaman kayıplarının minimuma indirilmesi, iç ve dış nakliye faaliyetlerinin en verimli hale getirilebilmesi hedeflenmektedir. Müşteri istek ve davranışları bu yönde ilerlemekte ve müşteriler kaliteli, esnek ve hızlı üretim yapabilen firmaları tercih etmektedirler.

Bu amaçla yola çıkılarak sistem içerisindeki zaman kayıplarını minimize edebilmeyi sağlayan bir çalışma üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmada, demir-çelik sektöründe sıvı ham demir nakil sürecinin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkan darboğazlar tespit edilmiştir ve bu darboğazların ortadan kaldırılmasına yönelik kararların çok kriterli olarak verilmesi önerilmiştir.

Sonuç olarak, mevcut durumda maden aktarma çukurlarında 235,50 dakika bekleme süresi oluşurken yeni durumda 98,02 dakikaya kadar düşmüştür. Yeni durum ile tüm süreçlerin toplamında 216,89 dakikalık zaman sisteme geri kazandırılmıştır. Böylece sistem %66,35 oranında kayıp zamanını geri kazanmıştır. Mevcut durumda taşınan sıvı ham demir ise 145.791,05 ton iken yeni modelde %9,06 oranında artarak toplamda maden aktarma çukurlarına 159.006,38 ton sıvı ham demir boşaltılmıştır. Önerilen yöntem ile 13.215,33 ton sıvı ham demir kazanç sağlanmıştır.

Çalışmamızda üretim ve taşıma sistemi değerlendirilirken gözlenen verilerin sistemin karakteristiklerini yansıtmasına özen gösterilmiştir. Torpidolar için ağırlık kriterleri belirlenirken uzman kişilerin öznel yargılarından yararlanılmıştır. Değerlendirmemiz bu sayede hem nesnel hem de öznel verileri yansıtmaktadır. Bu yönüyle çalışmamız sistem içerisindeki ürün taşıma sürecinin analiz edilmesi alanında yapılacak sonraki çalışmalara örnek teşkil edebilecektir.

Benzetim modellemede kullanılacak olan dağılımları belirlemek için verilerin yılın tamamında toplanması çalışmanın yaygın etkisini ortaya çıkaracaktır. Nakil süreci içerisinde oluşabilecek kaza ve duruşlar için yıllık verilerin kullanılması daha güvenilir dağılımlar elde etmeyi sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda, fırın kapasiteleri, maden aktarma çukurlarının kapasiteleri, kullanılan refrakterin aşınmadaki etkisi (torpidoların ömrünü ve kapasitesini etkilemesi), gibi kriterler doğrultusunda darboğazlara yönelik yeni önerilerde bulunulabilir. Ayrıca çalışmaya maliyet kriterleri eklenerek sistemden elde edilen parasal kazanç hesabı yapılabileceği gibi sektörde kullanılan diğer taşıma süreçlerinde de bu çalışmaya paralel iyileştirmeler yapılması yeni bir araştırma konusu olabilir.

KAYNAKÇA

- [1] M. Küçükönder, M. Uçar, “Üretim Etkinliğinde Simülasyon”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, ss. 117-126, (2015).
- [2] E. Sabır, E. Batuk, “Modeling Of Textile Dyeing-Finishing Mill Production Cost And Time Under Variable Demand Conditions With Simulation”, Tekstil Ve Konfeksiyon, Cilt 24, Sayı 4, ss. 371-379, (2014).
- [3] H. Kuruca, “Simülasyon Destekli Vardiya Planlama Modülü Geliştirilmesi”. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 3, ss. 469-482, (2013).
- [4] M. Gül, E. Çelik, A.F. Güneri A.F, A.T. Gümüş, “Simülasyon ile bütünlük çok kriterli karar verme: Bir hastane acil departmanı için senaryo seçimi uygulaması”. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 11, Sayı 22, ss. 1-18, (2012).
- [5] T. Boyraz “Döküm depodan tugaya akaryakıt dağıtım sisteminin simülasyonu ve analizi”. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 16, Sayı 2, ss. 105-117, (2014).
- [6] S. Kurşun, “Tekstil endüstrisinde benzetim tekniği ile üretim hattı modellemesi ve uygun iş akış stratejisinin belirlenmesi”. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (2007).
- [7] M. Bağ, E. Aslan, “Bir Tekstil Fabrikasında Simülasyon Uygulaması”. Journal of International Management Educational and Economics Perspectives, Cilt 4, Sayı 1, ss. 38-54, (2016).
- [8] Ö. Uner, C. Özkale, Z. Aladağ, B.Y. Yazgan, “Üretim Sistemi Tasarımında Konveyörlü Taşıma Alternatiflerinin Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi”. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 4, Sayı 8, ss. 49-73, (2005).
- [9] Y. Kuvvetli, R. Erol, “Ağaç Ürünleri Üreten Bir İşletmede Malzeme Taşıma Sisteminin Simülasyon Yaklaşımıyla İyileştirilmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 32, Sayı 1, ss. 215-222, (2017).
- [10] O. Oleghe, K. Salonitis, "Hybrid simulation modelling of the human-production process interface in lean manufacturing systems", International Journal of Lean Six Sigma, vol. 10 No. 2, pp. 665-690, (2019).
- [11] M. Çolak, G.A. Keskin, H. Esen, C. Bektaş. A Simulation Based Approach for Efficient Yard Planning in a Container Port. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Sayı 3, ss. 1157-1164, (2018).
- [12] T. P. Fredman J. Torrkulla, H. Saxén, “Two-dimensional dynamic simulation of the thermalstate of ladles”, Metallurgical and Materials Transactions B, vol. 30, Issue 2, pp 323–330, (1999).
- [13] A. Guasch, J.F. i Jove, P.F. i Casas, “Factory Railway System”, In Simulation-Based Case Studies in Logistics, In: Simulation-Based Case Studies in Logistics. Springer, pp 1-18, London, (2009).
- [14] G. Neumann, “Material Handling System”, In: Simulation-Based Case Studies in Logistics. Springer, pp 167-188, London, (2009).
- [15] L. Yao, W. Zhu, “Visual simulation framework of iron and steel production scheduling based on Flexsim”, In 2010 IEEE Fifth International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), Changsha, China, (2010).
- [16] R. J. Coelho, P. F. Lana, A. C. Silva, T. F. Santos, A. Tubarão, M. M. Fioroni, ... & L.B. da Silva, “Operational simulation model of the raw material handling in an integrated steel making plant”, In Winter Simulation Conference, pp. 3055-3065, (2009).
- [17] A. Mukherjee, A. Som, A. Adak, P. Raj, S. Kirtania, “Augmenting an inbound raw material handling system of a steel plant by uncovering hidden logistics capacity”, Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), Berlin, Germany, (2012).
- [18] C. Çörekçi, “Atölye Tipi Üretimde Simülasyon Teknikleri İle Dinamik Çizelgeleme Ve Atölye Simülasyonu.” Yüksek Lisans Tezi Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, (2014).
- [19] B., Dursun, “Topsis Ve Electre Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi: Kozmetik Sektöründe Bir Uygulama” Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, (2018).
- [20] T. Genç, M. Masca. “Topsis ve Promethee Yöntemleri ile Elde Edilen Üstünlük Sıralamalarının Bir Uygulama Üzerinden Karşılaştırılması”. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 2, ss. 539-567, (2013).
- [21] İ. Ertuğrul, A. Özçil, “Çok Kriterli Karar Vermede TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Klima Seçimi” Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, ss. 267- 282, (2014.)