

Bu makaleye atıfta bulunmak için/To cite this article:

YİĞİT, V, ASLAN, P.M. (2020). Çimento Fabrikası Üretim Hattının Simülasyonla İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 24 (4), 1721-1734.

## Çimento Fabrikası Üretim Hattının Simülasyonla İncelenmesi

Vecihi YİĞİT (\*)

Pınar Münevver ASLAN (\*\*)

**Öz:** Bu çalışmada ağır sanayi kuruluşlarından biri olan Aşkale Çimento A.Ş. nin hammadde çıkartılmasından paketlenmeye kadar olan üretim hattı incelenmiştir. Mevcut üretim hattında gözlemlenen tıkanıklıklar, aksaklıklar, dar boğazlar ve makine bakımlarının hepsi bir bütün halinde ele alınarak sistemin tamamı analiz edilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlere göre mevcut sisteme alternatif bir sistem oluşturmak amaçlanmıştır. Sistemin davranışını incelemek için, üretim hattındaki her bir elemanın davranışı incelenmiştir. Üretim hattı sistemi simülasyon programı kullanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon ile modelleme çalışması yapılarak üretim hattına sanal gerçeklik kazandırılmıştır. Ayrıca elde edilen simülasyon modelinin verileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Mevcut sistemin yerine alternatif sistem oluşturulup üretim hattının daha verimli çalışabileceği gösterilmiştir. Geliştirilen her iki modelin sonuçları, bu uygulamanın yapıldığı çimento fabrikasında alınmak istenen stratejik kararlara yönelik senaryoların sistemsel davranışlarını önceden görerek gözleme imkânı verir niteliktedir. Amacımız doğrultusunda gerçekleştirmek istediğimiz proje sonucu üretim hattının vereceği tepki ve eğilim analiz ederek maliyeti tahmini çalışmalarını yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Simülasyon, Sistem Analizi, Üretim Hattı


### Investigation of Cement Factory Production Line by Simulation



**Abstract:** In this study, one of the heavy industry companies, Aşkale Çimento A.Ş. The production line from raw material extraction to packaging was examined. The obstructions, malfunctions, bottlenecks and machine maintenance observed in the current production line were handled as a whole and the whole system was tried to be analyzed. According to the analysis, it is aimed to create an alternative system to the existing system. To examine the behavior of the system, the behavior of each element in the production line has been studied. The production line system was created using the simulation program. Virtual reality was added to the production line by modeling studies with simulation. In addition, the data of the simulation model obtained were compared with each other. It has been shown that the production line can work more efficiently by creating an alternative system instead of the existing system. The results of both models developed allow us to foresee and observe the systematic behaviors of the scenarios for the strategic decisions desired to be taken in the cement factory where this application is made. Cost estimation studies have been made by analyzing the reaction and trend of the production line as a result of the project we want to realize in line with our purpose.

**Keywords:** Simulation, System Analysis, Production Line

**Makale Geliş Tarihi:** 13.10.2020

**Makale Kabul Tarihi:** 21.12.2020

\*) Doç. Dr. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: vyigit@atauni.edu.tr)  ORCID ID. orcid.org/ 0000-0003-0625-3140

\*\*) Yüksek Lisans Öğrencisi, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: pinarmuneveraslan@gmail.com)  ORCID ID. orcid.org/0000-0001-9070-5669  
Bu makale araştırma ve yayın etiğine uygun hazırlanmıştır  iThenticate for Authors & Researchers intihal incelemesinden geçirmiştir.

## **I. Giriş**

Dünyanın her neresinde hangi sektör olursa olsun artan rekabetle beraber tüm işletmelerin amacı, maksimum fayda sağlayacak şekilde potansiyellerini ve kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak; en kısa sürede, minimum maliyetle, istenilen kalite standartlarında ürün /hizmet ortaya çıkarılmasıdır. Üretimin her aşamasında israf kaynaklarının tespiti ve önlenmesi sürekli iyileştirme sisteminin üretimde uygulanması amaçlanan verimliliğin elde edilmesini sağlamaktadır. Yatırımların ve iyileştirmelerin sıfır hatayla gerçeğe dönüştürülmesi neredeyse olanaksız görülmektedir. Özellikle ağır sanayi fabrikalarında deneysel bir gözlem, ağır makine ve yüksek maliyetlerinden dolayı neredeyse imkânsız olmaktadır. Ağır sanayi fabrikalarının problemlerinde üretim hattındaki bir değişiklik yeni bir makine veya yapılmak istenen herhangi bir yatırım çok yüksek maliyetlere sebep olabilmektedir.

Üretim hattının davranışlarını, tepkilerini eğilimlerini mevcut durumun üstünde yapılmak istenen projeler ilave edilerek alternatif çözümün ve sonuçlarının ortaya konulacağı gözlem yapılabilecek esnek ve hem zamandan hem de maliyetten tasarruf edilecek bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır (Orbak, 2009). Üretim hattı süreci fabrikanın enerjide, kalitede iş gücünde büyük kayıpların ve yüklü maliyetlerin önlenmesi ve hedeflerine ulaşabilmelerine yönelik fabrikanın davranışlarını öngörebilmek için benzetim çalışması yapmak en iyi yöntemlerden birisi olmaktadır. Müşterilerin beklentilerinin bekletilmeden karşılanmasını amaçlayan karmaşık bir sistemi esnek bir şekilde inceleyebilen ve davranış öngörüm imkânı sunan benzetim tercih edilebilir bir yaklaşımdır (Şan vd., 2004). Bu çalışmada büyük sanayi kuruluşlarının üretim sistemlerinin tasarımı ile konfigürasyonun denenmesine ve onaylanmasına izin veren bir yaklaşım olan simülasyonla amacımıza ve elde etmek istediğimiz yatırımlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Simülasyon, bir üretim hattını göz önüne aldığımızda; sistemin tamamının ele alınarak bir model kurulup sistem hakkında istenilen amaçlar doğrultusunda uygulama ve projelerin çıktılarının incelenip, zamandan ve maliyetten yana üretim hattının davranışlarını görme imkânı sağlamaktadır (Kızıl & Şendir, 2019). Elde edilen verilerle birlikte, sistemle ilgili öngörü yapabilmek ve uygulanması istenilen projelerin yapılıp yapılmayacağını belirlemek gibi kararları vermemize yardımcı olmaktadır. “Simülasyon” sistemi simüle ederek sistem üzerinde senaryolar üretilmesi imkânını sunmaktadır. Yüksek derecede ürün özelleştirme ve artan rekabete sahip günümüzün çalkantılı üretim ortamında, simülasyonun güçlü bir değerlendirme aracı olduğu apaçık ortadadır. Üretim hattında uygulamak istediğimiz tüm projeleri simülasyon ile modelleyerek, üretim hattının sistem yaklaşımı ile davranış sonuçlarını analiz etme imkânını en iyi bir biçimde elde edilebilmektedir (Paksoy, 2018). Bu çalışmada ele aldığımız üretim hattının ağır sanayi ve makinelerden oluşması, sistemdeki küçük değişikliklerin bile çok büyük bir maliyet oluşturacağı ve istenilen sonuç olmaması durumunda geriye dönüşün neredeyse imkânsız olduğunu göstermektedir (Calis & Ergul, 2012). Dolayısıyla, yeni yatırımların (projelerin) etkisini görebilmek için başvurduğumuz simülasyon ile modelleme yöntemiyle üretim hattı tanımlanarak analiz edilmeye ve üretim hattında yapılmak istenen yeni yatırımın (projenin) davranışını gözlemlene imkânı sağlamıştır.

Bu çalışmanın odağı simülasyon kullanılarak mevcut üretim hattımızdaki boşlukların tanımlanması ve üretim hattının sahada gelecekteki eğilimlerin tespiti istenilen amaçlara ulaşılabilmesi için üretim hattımızı davranışları öngörmek ve fabrikanın üretim plan ve yatırımlarına yön vermektir. Bu çalışmada Erzurum'un Aşkale ilçesinde yer alan Aşkale Çimento Fabrikası'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda, fabrika yerleşim tasarımı, malzeme ve bilgi akışı tasarımı, üretim ağları tasarımı, üretim sistemleri planlama ve kontrol, üretim ağları planlama ve kontrol, ürün ve süreç tasarımı, planlama, ergonomi ve sanal gerçeklik göz önüne alınmıştır. Böylece inceleme yaptığımız işletmenin üretim hattındaki ilerlemeleri, mevcut uygulamaları ve gelecekteki eğilimleri, endüstriyel uygulamalar ve araştırma yapılarak araştırılmıştır.

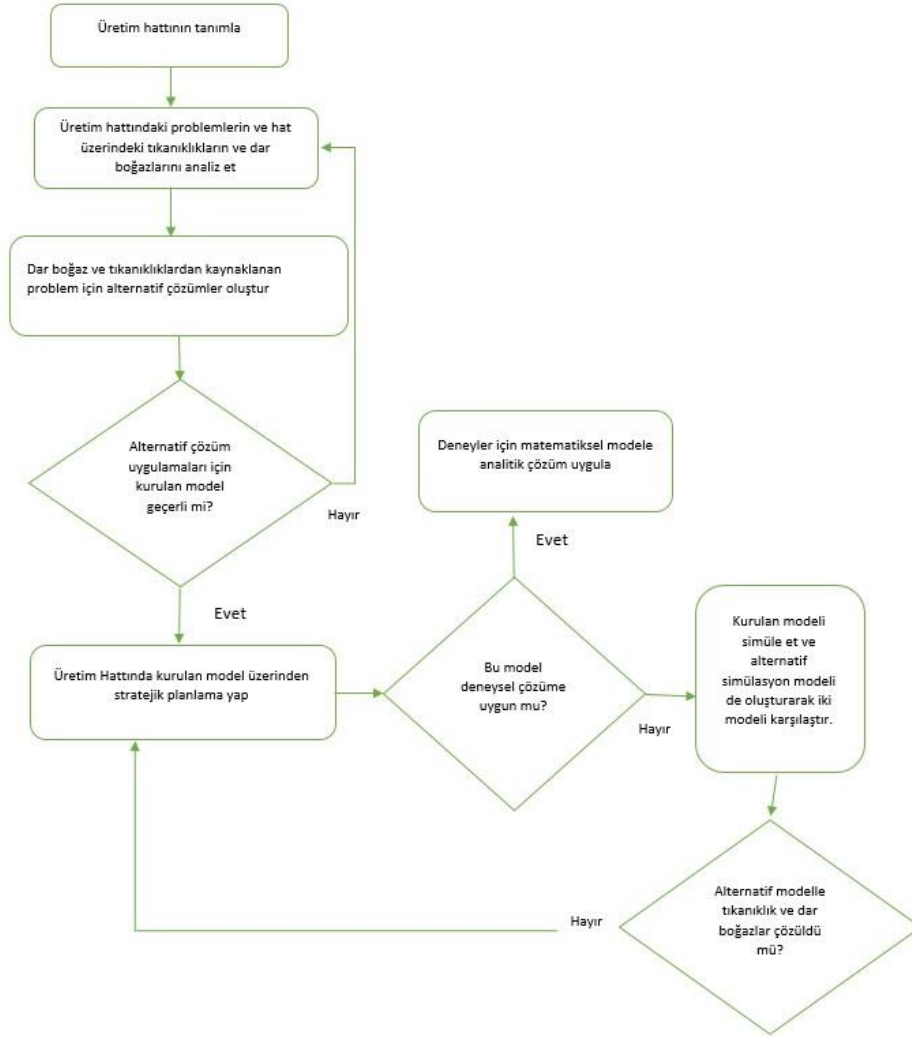
## II. Materyal ve Yöntem

Sistem yaklaşımı belirli alt sistemlerden oluşan ve bu sistemler arasında ilişki bulunan ve bu sistemin tamamının dış çevreyle ilişkisi olan bir bütün olarak tanımlanmaktadır. Sistem yaklaşımı, sistemin bütünüyle kendisini oluşturan alt sistemleri ve bunlar arasındaki ilişkileri kavrayıp değerlendiren ve yöneten ayrıca sistemde meydana gelen sorunları çözebilecek süreç tablosunu sistem analiziyle yapmaktadır (Moore, 2015).

Bütünsel yaklaşımda, sistemimizdeki öğelerin, öğeler arası ilişkilerin ve sistemde çıkacak problemlerin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Sistemdeki ilişkiler arasında ortaya çıkan problemlerin bağımlılığı, problemin birinin çözüme ulaşmasının diğer problemler üzerinde etkisini gösterir. Bütünsel yaklaşım, sistemi bütünlüklerin tamamını bir çevreyle bir bütün olarak gözlemlemektir. Çimento fabrikası çevresel faktörler ve sistemin tamamı ele alınarak bir bütün şeklinde değerlendirme yapılmıştır. Gerek taş ocakları gereken hammadde miktarından başlayarak paketlemeye gelene kadar çevreden bağımsız olarak düşünülemez. Üretim hattındaki her bir elemanın sisteme dolaylı ve dolaysız olarak bir etkisi bulunmaktadır (Sarıççek & Yüzügüllü, 2003).

Her türlü makine, kendilerine özgü bir uyumluluk, düzen ve bütünlük içerisinde devamını sürdürmekte ve istenilen işlemleri yerine getirmektedir. Bu uyumluluk, düzen ve bütünlük aynı amaca ulaşma çabası olan parçaların, ilişkilerin ve eylemlerin oluşturduğu bir bütün içerisinde gerçekleşir. Bu bütünün doğru çalışması, amacına ulaşması için bütünü meydana getiren parça ve ilişkilerin ortak bir çevrede uyumlu bir biçimde çalışması gerekmektedir. Birbiriyle ilişkili ve ortak amaca yönelik olarak hareket eden parçalardan oluşan bütüne sistem adı verilmektedir (Aydemir vd., 2013).

Ağır sanayi kuruluşumuz olan çimento fabrikasında belirsizlik altında karar verilmesi gereken koşullarda gözlem ve analiz imkânı sunmaktadır. Amacımızı gerçekleştirmek darboğazları ve tıkanıklıkları çözümlenmede kullanılacak alternatif çözüm senaryolarının değerlendirilmesini planlanmasını sağlamaktadır. Üretim hattında belirsizlik altında karar vericilerle beraber sistemin bir bütün olarak görülmesine sistem analiziyle elde ettiğimiz süreç akış şeması aşağıda Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Süreç Akış Şeması

M. Heshmat tarafından yapılan çalışmada üretim hatlarının modellenmesi ve simülasyonu ile fabrikada yaşanan aksaklıkları ve problemleri ele almış üretim hattının farklı alanlarında tıkanıklıklara neden olan ve darboğazları çözebilmek için analizler yaparak elde edilen verilerle yapılan simülasyona sonrasında çözümleri eklemiş mevcut sistemle entegre etmiştir (Heshmat et al., 2013). Veri analizi iş istasyonu arıza verileri, makine arıza davranışlarını elde etmek için bir yıl boyunca toplanarak elde edilmiştir. Çimento üretim hattı, baştan sona simülasyon modeline entegre edilerek incelenip ve analiz edilmiştir (Huda & Chung, 2002). Mevcut durumun simülasyona entegre

sürecinden sonra, bir simülasyon sonuçları hat darboğazlarını, iş istasyonları kullanımını, tampon kapasitelerini ve hat üretim hızını göstererek darboğazları gidermek için, yapılabilecek optimum tamponların tahsisinin yeniden tasarlanmıştır. Tasarımcılar bu hattı uygularken dikkate alınan iş istasyonları kullanımını, tampon kapasiteleri ve hat üretim oranını, üretim oranının yaklaşık %15'inden daha fazla bir artışla ve tampon kapasitelerinin %34'ünün tasarruf elde edildiği gözlemlenmiştir. Min-Chi Chiu ve Toly Chen'in çalışmalarında fabrikanın sorunları ortaya konulmuş ve kaynakların heterojen olma durumu, potansiyel iş fırsatları değerlendirilmesine imkân sağlamıştır (Chen et al., 2018). Mobil bir kaldırma tezgâhı fabrikanın mevcut simülasyonuna eklenmiş ve sistem model üzerinde geliştirilerek fabrikanın sorunları ele alınmıştır. Walter Terkaj'ın yaptığı çalışmada sistemin dijital ortamda üretim ve bakım, planlama gibi verilecek kararların davranışlarını görerek önceden önlem alabilmek adına mevcut fabrikanın entegre edilerek atölye simülasyonunda haddehanelerde silindir öğütme sistemlerine uygunluğu tartışılmıştır (Terkaj et al., 2015). K. van Breugel'in çalışmasında çimento esaslı malzemelerin hidrasyonunu ve mikroyapısal gelişimini tanımlamak ve tahmin etmek için geliştirilen bilgisayar tabanlı bir simülasyon programı kullanılarak yapısını belirleyip sonra, simülasyon modelinin karakteristik özellikleri tartışılmıştır (van Breugel, 1995). Çalışmamızda, mevcut üretim sisteminin etkili olduğu fakat etkinliğinin bilinmediği göz önüne alınarak mevcut sistem incelenmiştir. İnceleme esnasında mevcut sistemde olmayıp farklı çimento üreten üretim sistemlerinde kullanılan roller presinde bu işletmede kullanılabileceği fikri oluşmuştur. Simülasyon sistemdeki girdiden çıktıya kadar tüm öğelerin göz önünde bulundurularak amaçlarımız doğrultusundaki senaryoların zamandan ve maliyetten kazanarak sistemin davranışlarını öngörerek fabrikanın alacağı esas kararlara yön verecektir. Değişen koşullar ve yeni sistemde alınabilecek tedbirler hakkında fabrikaya ilave bilgiler sağlayarak daha doğru kararların alınmasına yardımcı olacaktır (Durmaz Edeer & Dicle, 2015). Gerçek bir sistemin istenilen durumda davranışlarını eğilimlerini tahmin etmek amacıyla matematiksel ve mantıksal modelin yapay ortamda değerlendirilmesi sürecine benzetim denir. Temelde “ne-eğer(what-if)” analizini sağlayan bir araçtır. Gerçek bir sistemde toplanan bilgileri geliştirilen modellere uygulanarak değişkenlerin arasındaki etkileşimin sonuçlarıyla ilgili tahminde bulunarak senaryolar incelenebilir. Simülasyon çalışması problem çözümündeki avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

#### Avantajları

- Analitik metotlara başvurulmadan birkaç stokastik elemanla karmaşık gerçek sistemler modellenilebilir.
- Değişik çalışma koşulları altında mevcut sistemlerin performansları değerlendirilebilir.
- Alternatif sistemler ve çalışma politikaları karşılaştırılabilir.
- Kısa sürede uzun vadeli etkiler üzerinde çalışma yapılarak etkileri gözlemlenebilir.
- Simülasyonlar, mevcut ve potansiyel, muhtemel durumları yansıtır.

- Basit veya daha karmaşık durumlar simüle edilebilir.

#### Dezavantaları

- Her bir simülasyon uygulaması sadece gerçek sistem performans tahminine yöneliktir. Kesin sonuçlar elde etmek için istatistiksel metotlara ihtiyaç vardır.
- Geniş hacimli çıktı verisi ve etkileyici grafikler genellikle varsayımlardaki problemleri gizleyebilir.
- Çalışmaların amaçlarını tanımlamadan başarısız olunabilir.
- Detay seviyeleri istenilen verim elde edilemeyebilir.

### III. Bulgular

Erzurum'da faaliyet gösteren çimento üretimi yapan Aşkale Çimento A. Ş'nin üretim sistemi incelenerek, üretim sisteminin mevcut durumu, üretim miktarı ve kapasite kullanım oranları için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin nasıl işlediği, hangi şartlarda ve durumlarda etkinliğin nasıl değiştiği gözlemlenebilmiştir. Fabrikada çalışan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonunda bazı varsayımların yapılması gerekliliği ortaya çıkmış, modelin nasıl kurulacağı belirlenmiş ve gerekli verilerin nasıl toplanacağına karar verilmiştir. Verilerin toplandığı kaynaklar, fabrika çalışanları, mühendisler ve müşteriler sayılabilir.

Toplanan ve kullanılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Makine kapasite bilgileri
- Silo depo kapasiteleri
- Toplam kamyon sayısı ve tipi
- Otomasyon sistemi bilgileri
- Yükleme ve boşaltma süreleri

Gerçek sistemi analiz etmek ve modeli oluşturmak için bazı varsayımlar göz önünde bulundurularak simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunlar:

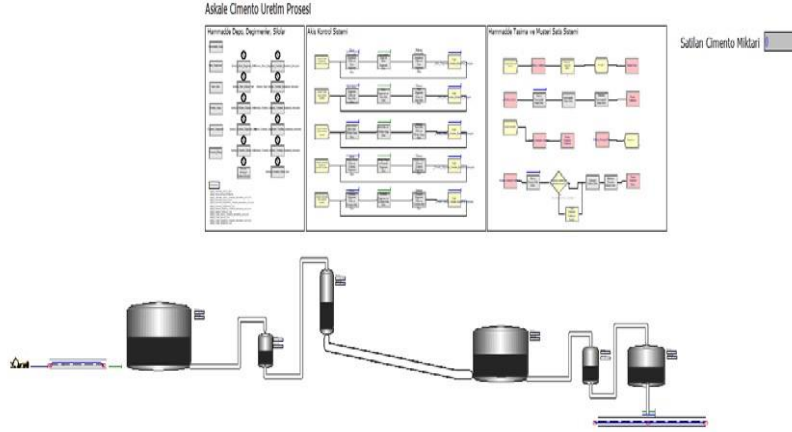
- Sistem günde 24 saat çalışmaktadır.
- Sistemdeki gecikme zamanları (makine bozulması, parça değişimi) dikkate alınmamıştır.
- Hammaddeye sınırsız erişilebildiği varsayılmıştır.
- Sistemin enerji problemi olmadığı varsayılmıştır.

Sistemin öğeleri içerisinde bulunan gezen birimler, hammadde, bilgi, müşteriler olarak yer almaktadır. Sistemin kaynakları makineler, silolar ve hammadde yükleyicileridir.

#### Sistemin Performans Kriterleri

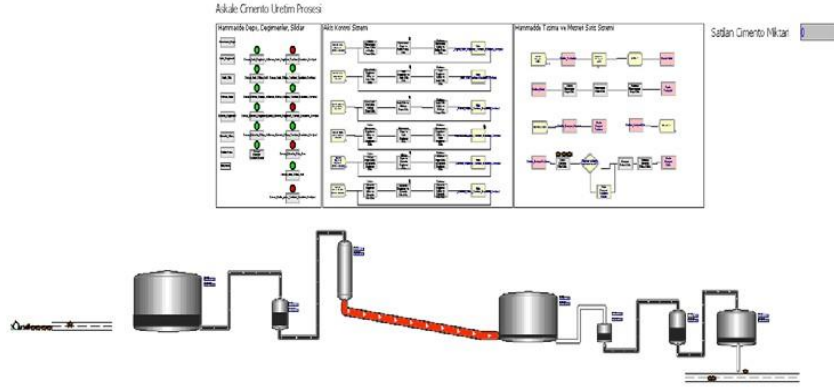
- Her bir iş istasyonunun kullanımı (belli bir zaman içindeki meşgul makine sayısının zaman ortalaması, istasyondaki toplam makina sayısına bölümü ile bulunur)
- Her bir makinenin ortalama doluluk seviyesi
- Kaynak kullanımı
- Verim (birim zamanda üretim hattından çıkan işler)
- Her bir makinenin ortalama çalışma süresi
- Ara kısımların her birinde ortalama iş bekleme süresi

Sistemin çıktılarını üretim miktarları ve talebi karşılanmış müşteriler oluşturmaktadır. Arena modern bir simülasyon yazılımı kullanmak maliyet ve zaman tasarrufu sağlamakla beraber sistemi bir bütün olarak görüp varsayılan iyileştirmelerin yapılabileceği ve davranışların açıkça gözlenebilmesi açısından esneklik sağlar. Simülasyon modeli aslında “what-if” senaryolarını analiz ve gözlem için fabrikamıza en uygun modeldir. Bu çalışmada üzerinde durulan konu fabrikanın ağır sanayiden oluşmasından kaynaklı olarak makineleri en verimli şekilde kullanarak üretilebilecek maksimum çimentonun üretilmesidir. Yılda üretilebilecek toplam çimento kapasitesi 1.825.000-ton olmasına rağmen 1.200.000-ton üretilmektedir. Üretim hattındaki dar boğaz ve tıkanıklıkları daha iyi analiz ve gözlem imkânı sunarak çözüm üretmemizi sağlamak için incelenen ilk model fabrikanın şu an ki üretim hattının modelidir.



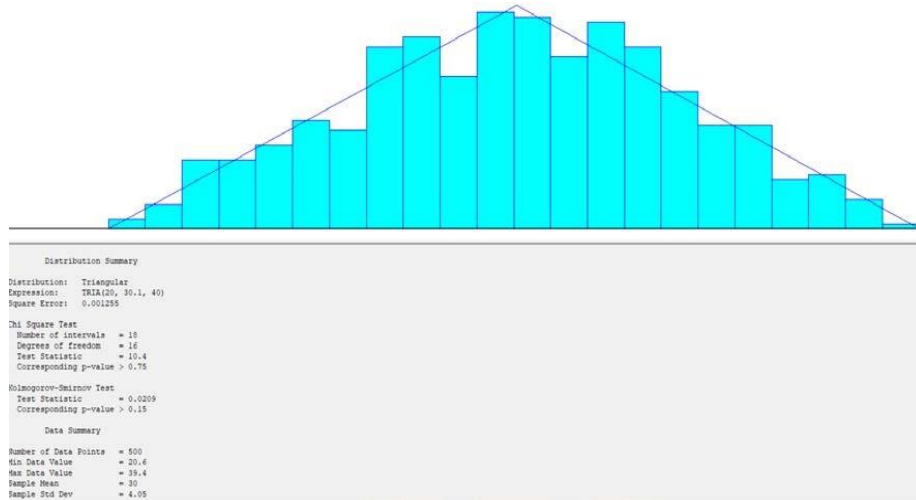
**Şekil 2.** Üretim Hattının Mevcut Durum Simülasyonu

Üretim hattının dengelenmesi tamamlandıktan sonra yeni yapılmak istenen roller press makinesi ile ilgili bilge ve gelişmeler simülasyon modeline girilerek son halini oluşturur. Simülasyon modeli gösteriyor ki eklenecek makine ile daha fazla üretim yapılabilmekte ve yatırımcılarımızın beklentisi karşılanmaktadır.



Şekil 3. Üretim Hattının Alternatif Durum Simülasyonu

Modeldeki ana işlem makine kapasiteleridir. Karar vericilerin asıl problemi makine kapasitelerinin yeterli olup olmadığıdır. Mevcut duruma ek olarak yeni bir öğütücü almama kararı vermek istemektedirler. Model verileri karar vericiler tarafından değerlendirildikten ve doğrulandıktan sonra alternatif senaryoların oluşturulması ve bu senaryodaki sonuçların analiz edilmesi aşamasına geçilmiştir. Modelin ikinci adımı olan verilerin toplanması ve analizi, en kritik aşamalardan biridir. Bu aşama sonucunda kurulacak olan modelin nasıl kurulacağı ve çalışacağı ortaya çıkmaktadır. Modelin temeli bu aşamada oluşturulmaktadır. Çimento üretiminin kil kalker gibi temel hammaddelerimiz yukarıdaki belirtilen hammadde ocaklarından kazılarak fabrikaya sevk edilir. Ocaklarda kamyonlara yüklenen hammaddelerin miktarı programın input analyzer bölümüne alınan 500 verinin girilmesiyle şu şekilde bulunmuştur;

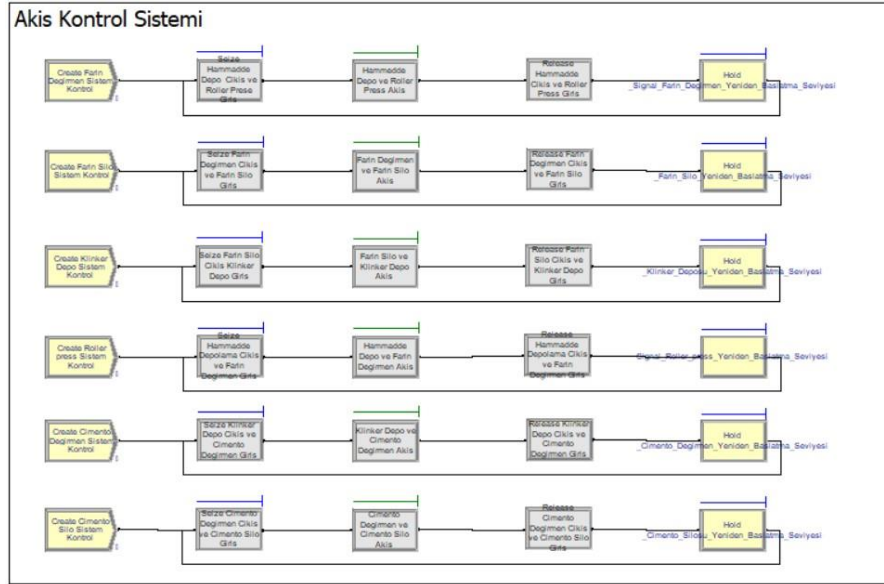


Şekil 4. Kamyon Hammadde Miktarının Input Analyzer'da Belirlenmesi

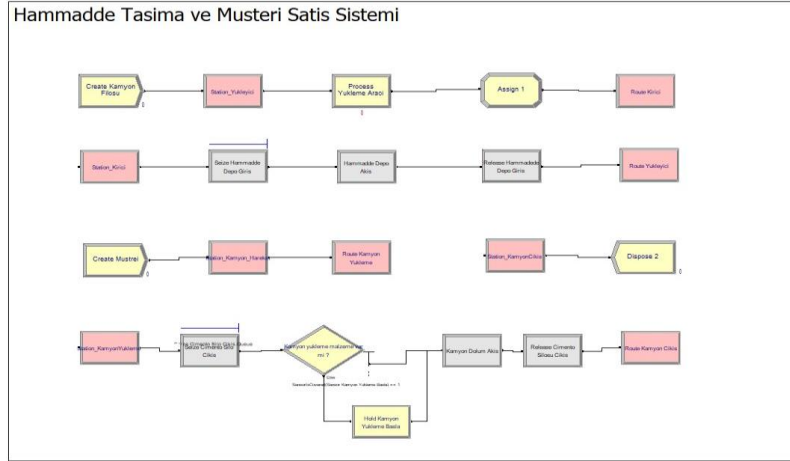


Şekil 4’te görüldüğü üzere hata karesi en küçük olan en uygun dağılım TRIA (20, 30,1, 40) olarak bulunmuştur. Bulunan dağılım için  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde  $\chi^2$  uygunluk testi gerçekleştirilmiştir. Bu teste ilişkin hipotezler  $H_0$ : Örneklem verisi TRIA (20, 30,1, 40) dağılımından gelir ve  $H_1$ : Örneklem verisi TRIA (20, 30,1, 40) dağılımından gelmez şeklinde oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre  $\chi^2 = 10,4$  ve P değeri 0,75 olarak tespit edilmiştir. P değeri  $0,75 > \alpha=0,05$  olduğu için  $H_0$  hipotezini reddedecek istatistiksel kanıt bulunamamıştır ve bu nedenle  $H_0$  hipotezi kabul edilmiştir. Buna göre girdi analizi sonucu tedarik süresi için belirlenen TRIA (20, 30,1, 40) dağılımı simülasyonda kullanılabilir.

Modelde darboğazları gidermek için 60 günlük simülasyon süresi 30 tekrar ile bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Yukarıda belirtildiği gibi, simülasyon modelinde kullanılacak verilerin elde edilmesi işlemlerinin yapılmasından sonra, simülasyon modelinin kurulumu aşamasına geçilmiştir. Modele makinelerin kapasiteleri fabrikadaki mühendisler ve uzman kişilerden alınan bilgiler doğrultusunda girilmiştir. Her bir makinenin belli bir kapasitesi ve yeniden ürün akışına izin verecek bir yeniden başlatma noktası seviyesi vardır. Fabrika içerisinde tüm üretim hattını kontrol eden otomasyon sistemi bulunmaktadır. Bu sistem modelde herhangi bir iş istasyonunda biten ürünün sıradaki iş istasyonuna geçişini kontrol eder. Kontroller saatlik olarak yapılmaktadır. Her bir saatte kontrol raporu oluşturularak sistemin düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Merkezi otomasyon sistemine ait modelin gösterimi Şekil 5’te verilmiştir.



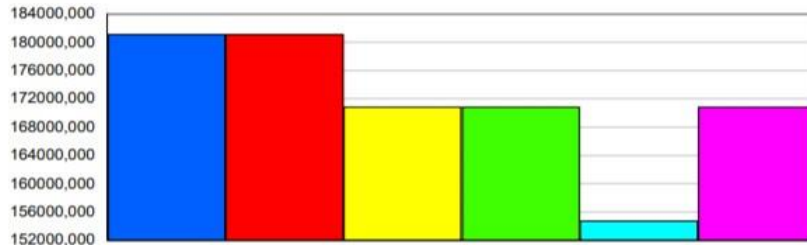
Şekil 5. Merkezi Otomasyon Sistemi



Şekil 6. Ocaklardan Hammadde Taşıma Ve Müşteri Satış Sistemi

Ocaklarda kırılan hammaddenin kamyonlara yüklenmesi daha sonra fabrikaya taşınması işlemleri yukarıda elde edilen veriler sayesinde gerçekleştirilerek modele girilmiştir ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Çalışmada oluşturulan modelin yardımıyla mevcut durum ve alternatif durum birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Verimliliği artırmaya yönelik roller presin üretim hattına eklenmesi darboğazları ortadan kaldırarak daha fazla ürün üretilmesini sağlamıştır. Çimento üretiminde tampon bölgelerdeki yığılmalar azaltılarak makinelerin kullanım oranı artırılmıştır. Mevcut duruma ait iş istasyonlarının kullanım oranı Şekil 7'de ve alternatif modele ait veriler Şekil 8'de verilmiştir.

Total Quantity Added	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Cimento_Degirmeni	181071.23	590.83	178717.02	186240.09
Cimento_Silosu	181094.03	590.66	178718.16	186273.40
Farin_Degirmeni	170798.45	117.31	170136.62	171389.41
Farin_Silo	170798.45	117.31	170136.62	171389.41
Hammadde_Depo	154720.55	116.31	154091.81	155370.25
Klinker_Depo	170798.45	117.31	170136.62	171389.41



Şekil 7. Mevcut Model Her Bir İş İstasyonunun Kullanımı

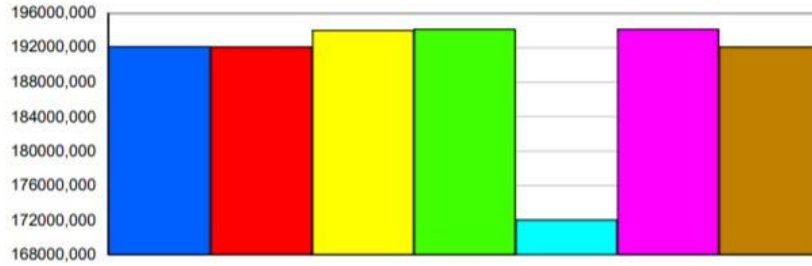
Mevcut Model Hat Üretim Hızı = (Çıkan varlık sayısı) / (Toplam simülasyon zamanı)  
= 6946/59 = 117,72 ton/gün

Alternatif modelden günde üretilen çimento kamyon sayısı, mevcut durumda üretilen çimento kamyon sayısı ile karşılaştırılır.

Alternatif Model Hat Üretim Hızı = (Çıkan varlık sayısı) / (Toplam simülasyon zamanı) = 6853/59 = 125,64 ton/gün

Roller pressin üretim hattına alınmasıyla satılan ürünlerde %6,73'lük bir artış olduğu gözlenmiştir

Total Quantity Added	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Cimento_Degirmeni	192081.59	735,19	187024.84	194978.43
Cimento_Silosu	192061.75	736,09	186995.23	194938.43
Farin_Degirmeni	193959.51	146,32	192779.38	194535.69
Farin_Silo	194117.06	146,52	192939.38	194695.69
Hammadde_Depo	171995.44	154,29	170680.58	172594.52
Klinker_Depo	194117.06	146,52	192939.38	194695.69
Roller Press	192053.14	735,39	186974.84	194995.93



Şekil 8. Alternatif Model Her Bir İş İstasyonunun Kullanımı

Çimento değirmeni ile yapılan üretim sırasında çimento silosuna gönderilen ürün miktarı 181071,23 ton iken roller press ile üretime geçilince ürün miktarı 192081,59 ton olmuştur. Ortalama 11010,36 ton artış olmuştur.

Tablo 1. Mevcut Durum ve Alternatif Durum Üretim Miktarları

Üretim Miktarları (ton/gün)							
Makine Adı	Mevcut Durum			Alternatif Durum			Artış (%)
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	
Çimento Değirmeni	178717,02	186240,09	181071,23	187024,84	194978,43	192081,59	6,08
Çimento Silosu	178718,16	186273,40	181094,03	186995,23	194938,43	192061,75	6,05

<b>Farin Değirmeni</b>	170136,62	171389,41	170798,45	192779,38	194535,69	193959,51	13,56
<b>Farin Silo</b>	170136,62	171389,41	170798,45	192939,38	194695,69	194117,06	13,65
<b>Hammadde Depo</b>	154091,81	155370,25	154720,55	170680,58	172594,52	171995,44	11,17
<b>Klinker Depo</b>	170136,62	171389,41	170798,45	186974,84	194995,93	194117,06	13,65

Öğütme bölümüne roller press eklenerek üretim kapasitesi %6,08 satış miktarını ise %6,73 arttırılabilir. Üretim kapasitesi Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Mevcut Durum ve Alternatif Durum Makine Doluluk Seviyeleri

Makine Doluluk Seviyeleri							
Makine Adı	Mevcut Durum			Alternatif Durum			Artış (%)
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	
<b>Çimento Değirmeni</b>	59,5332	65,9633	62,9854	67,7611	74,8442	72,5682	15,21
<b>Çimento Silosu</b>	18934,13	19382,69	19097,50	19495,30	19685,76	19594,22	2,60
<b>Farin Değirmeni</b>	0	0	0	27,4715	28,3610	27,8978	2789,89
<b>Farin Silo</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Hammadde Depo</b>	246,84	252,48	249,57	1408,37	1473,49	1436,99	457,77
<b>Klinker Depo</b>	25059,61	30673,71	27858,88	26968,86	31057,03	28950,50	3,92

Çimento değirmeni tek başına yetersiz kaldığından üretim hattı boyunca makinelerin doluluk oranları düşük düzeyde kalmaktadır. Roller presin üretim hattına dâhil edilmesiyle makinelerin doluluk seviyelerinde bir artış olmuştur. Daha fazla öğütme kapasitesi nedeniyle diğer makinelerinde kullanım yüzdesinin arttığı açıktır. Bu artış miktarları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Fabrikanın beklentisi enerji tasarrufu ve bakım maliyetlerinde düşüş olacağı yönündedir. Tüm bunları göz önünde bulundurarak roller press makinesinin amortisman süresi ve 10 yıllık kar faaliyetleri öngörülme için başa baş analizi yapılmıştır. Mevcut üretim hattımızda arena simülasyon programın çimento üretim miktarını yıllık 1094548 ton olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veri üretim miktarı verisi gerçek üretim hattındaki üretimle örtüşmektedir.

Yapılan yatırımdan sonra koyulan roller press makinesi ile yıllık çimento üretim miktarımız 1309090 ton olarak hesaplanmıştır. Yıllık 214542 daha fazla üretim yapılabileceği simülasyon ile öngörülmektedir. 1 ton çimentodan elde edilen kar 55,028’dir. Sadece çimento üretiminden elde edilecek kar 16584000 TL olarak

hesaplanmıştır. Bununla beraber fabrika uzmanları yılda 20 gün arıza ve revizyon gibi sebeplerden çalışmayacağını öngörmüşlerdir. Bir ton çimento üretebilmek için 5,9 TL bakım gideri hesaplanmış roller press makinesinin bakım giderlerinin aynı fabrikanın diğer şehirlerdeki üretim hatlarındaki verilerden yararlanarak %28,33 maliyet düşüşü hesaplanmıştır.  $(5,9) \times (0,2833) = 1,67$  (130909-1094548) $\times 1,67$  Bununla beraber bakım maliyet giderinin düşüşü 501441 bulunmuştur. 1 kwh enerji 0,7102 tı'dır. Çimento Değirmeni enerji tüketiminin roller press yatırımından sonra diğer şehirlerdeki elde edilen veriye göre 53 kwh/tondan 44 kwh/tona düşeceği öngörülmüştür. Değirmenden hesaplanan yıllık tasarruf  $(53-44) \times (130909-1094548) \times 0,7102=1371309$  TL olarak hesaplanmıştır.

Amortisman Süresi ise  $1371309+16584000+501441=18456750$  TL, Roller Press yatırım maliyeti 30.000.000 TL olup  $30.000.000/18456750 = 1,6$  yıl olarak bulunmuştur.

#### IV. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yapılan iyileştirmeler, çimento üretim hattının performansı ölçülerek gerçekleştirildi. Üretim hattı kapsamlı bir şekilde analiz edildi ve hattaki çimento öğütme makinesinin yetersizliğinden kaynaklanan darboğazlar alternatif olarak roller press yerleştirilerek giderildi. Simülasyon bu darboğazı analiz etmek ve çözmek için kullanıldı, bu yüzden simülasyon böyle bir çalışmada kullanılabilir en iyi araçtır, çünkü bir sistemin çalışmasını bozmadan iyi bir şekilde çözüme götürebilir.

Üretim hattındaki incelememiz sonucu asıl problemin odağında üretebileceği miktarın altında üretmesidir. Fabrikanın aynı zaman diliminde kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak darboğaz ve tıkanıklıkları ortadan kaldırmasını böylece üretimi artırılmasını amaçlanmıştır. Çimento fabrikasının mevcut durum ve alternatif durum incelendiğinde dar boğaz analizi dışında fabrikadan elde edilen verilerle roller press makinesinin öğütülebilirliği arttırdığı için enerji tasarrufu ve bakım maliyetlerindeki düşüş gözlemlenmiştir. Maliyet hesabıyla yatırım senaryosu için kendini amorti süresinde hesaplanarak enerji tasarrufu ve bakım maliyetlerde kullanılarak gerçek verilerle alternatif simülasyon modelinin üretim miktarı dahil edilerek hesaplanmıştır. Çimento sektöründe kullanılan tüm makineler birbirine bağlı ve çok büyük makinelerdir. Bu çalışmada gerçekte tecrübe edilmesi zor hatta olanaksız olan yatırımların sistem analiziyle sistemin bütünü analiz ederek simülasyonla zaman ve maliyetten tasarruf ederek esnek bir biçimde istenilen senaryoyu gözleme imkânı sunmaktadır.

#### Kaynaklar

- Calis, S., & Ergul, R. (2012). The Views of Teacher Candidates on the Project Management Competencies. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.
- Chen, T., Wang, L. C., & Chiu, M. C. (2018). A multi-granularity approach for estimating the sustainability of a factory simulation model: semiconductor packaging as an example. *Operational Research*.
- Durmaz Edeer, A., & Dicle, A. (2015). Use of Simulation in Nursing Education and Simulation Types. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*.

- Aydemir E., Y., Bedir F, D., Özdemir G, Y., İ. (2013). Grey System Theory And Applications: A Literature Review. In Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences.
- Heshmat, M., El-Sharief, M. A., & El- Sebaie, M. G. (2013). Simulation Modeling Of Production Lines: A Case Study Of Cement Production Line. JES. Journal of Engineering Sciences.
- Huda, A. M., & Chung, C. A. (2002). Simulation modeling and analysis issues for high-speed combined continuous and discrete food industry manufacturing processes. Computers and Industrial Engineering.
- Kızıl, H., & Şendir, M. (2019). Innovative approaches in nursing education . Hemşirelik eğitiminde inovatif yaklaşımlar. Journal of Human Sciences.
- Moore, M. (2015). Uzaktan eğitim: çevrimiçi öğrenmede sistem yaklaşımı. AUAd.
- Paksoy S. (2018). Karma Kisitli Optimizasyon Problemleri Ve Çözüm Algoritması. Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute.
- Sarıçiçek, İ., & Yüzügüllü, N. (2003). Çok-Ajanlı Melez Atölye Yönetim Sistemi. Endüstri Mühendisliği Dergisi.
- Terkaj, W., Tolio, T., & Urgo, M. (2015). A virtual factory approach for in situ simulation to support production and maintenance planning. CIRP Annals - Manufacturing Technology.
- Kemal Şan, M., Hira, İ., & Toplumuna Giden Yolda Yeni Etik Arayışı, T. (2004). Modernlik ve Postmodernlik Bağlamında. Bilgi.
- van Breugel, K. (1995). Numerical simulation of hydration and microstructural development in hardening cement-based materials. (II) applications. Cement and Concrete Research.
- Orbak, Y. (2009). Bir otomotiv yan sanayi firmasında tek modellenli ve karışık modellenli montaj hattı dengeleme problemi. YA/EM.