



**ÇİMENTO FABRİKASI ÜRETİM HATTININ  
SİMÜLASYONLA İNCELENMESİ**

**Pınar Münevver ASLAN**

**Doç. Dr. Vecihi YİĞİT**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı 2020**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇİMENTO FABRİKASI ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYONLA İNCELENMESİ**  
(INVESTIGATION of CEMENT FACTORY PRODUCTION LINE by SIMULATION)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pınar Münevver ASLAN

Danışman: Doç. Dr. Vecihi YİĞİT

Erzurum  
Ekim, 2020

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Pınar Münevver ASLAN tarafından hazırlanan “Çimento Fabrikası Üretim Hattının Simülasyonla İncelenmesi” başlıklı çalışması 21 /10/ 2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yöneylem Araştırması Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Ahmet Kürşat TÜRKER

*Kırıkkale Üniversitesi*

Danışman: Doç. Dr. Vecihi YİĞİT *Atatürk Üniversitesi*

Jüri Üyesi: Muhammed Emre KESKİN

*Atatürk Üniversitesi*

Jüri Üyesi:

Jüri Üyesi:

Enstitü Yönetim Kurulunun  
.../.../.... tarih ve ..... sayılı  
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

**Unvan Ad SOYAD**

**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



## ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Vecihi YİĞİT danışmanlığında sunulan “Çimento Fabrikası Üretim Hattının Simülasyonla İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	18	30
Kuramsal Temeller	28	30
Materyal ve Yöntem	23	35
Bulgular	7	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	11	25

*Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.*

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Pınar Münevver ASLAN	Doç. Dr. Vecihi YİĞİT
19.10.2020	19.10.2020
İmza:	İmza:

\* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans süresince ve tez çalışmamda her türlü desteği veren sevgili hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Vecihi YİĞİT'e teşekkür ederim. Yüksek lisans tezim boyunca benim yanımda olarak destek veren ER-ÇİM-SAN Yönetim Kurulu Başkan'ı Lütfü YÜCELİK ve Aşkale T.A.Ş ustabaşı Zekeriya ÖZEN'e sınıf arkadaşım endüstri mühendisi Serdar ÇELİK'e teşekkür ederim.

Pınar Münevver ASLAN



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## ÇİMENTO FABRİKASI ÜRETİM HATTININ SIMÜLASYONLA İNCELENMESİ

**Pınar Münevver ASLAN**

**Danışman: Doç. Dr. Vecihi YİĞİT**

**Amaç:** 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.

**Yöntem:** Sistemin davranışını incelemek için, üretim hattındaki her bir elemanın davranışı incelenmiştir. Oluşturulan model istenilen projeler ve amaçlar doğrultusunda “what-if” mantığıyla üretim hattındaki sorunların çözümü ve üretim kapasitesinin artırılması için alternatif bir model oluşturulabileceğini göstermiştir. Üretim hattı sistemi simülasyon programı kullanılarak oluşturulmuştur.

**Bulgular:** 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.

**Sonuç:** 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 çalışmaları yapılmıştır.

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

**Ekim 2020, 82 sayfa**

## ABSTRACT

### Master Thesis

## INVESTIGATION OF CEMENT FACTORY PRODUCTION LINE BY SIMULATION

**Pınar Münevver ASLAN**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Vecihi YİĞİT**

**Purpose:** 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.

**Method:** To examine the behavior of the system, the behavior of each element in the production line is studied. The model created has shown that an alternative model can be created to solve the problems in the production line and increase the production capacity with the "what-if" logic in line with the desired projects and purposes. The production line system was created using the simulation program.

**Finding:** Virtual reality was added to the production line by modeling 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.

**Result:** The results of both models developed allow us to foresee and observe the systematic behavior of the scenarios for strategic decisions 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, Simulation, Production Line, System Analysis

**October 2020, 82 pages**

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Aşkale Çimento T.A.Ş.....	4
Çimento.....	4
İşletmede Üretilen Çimento Çeşitleri.....	6
CEM I 42,5 R.....	6
CEM II / A-M 42,5 R (P-LL).....	6
CEM II B-M 32,5 R (P-LL).....	7
CEM II / B-M 42,5 N (P-LL).....	7
İşletmenin Üretim Yapmasına Katkı Sağlayan Girdiler.....	8
Üretim Hattı Aşamaları.....	8
Paketleme I.....	9
Paketleme II.....	9
Alternatif Üretim Sistemi Tasarımı.....	12
Roller Pres.....	13
Alternatif Fabrika Üretim Hattı.....	18
Çimento ile İlgili Terimler.....	19
Kalker.....	19
Tras.....	20

Alçı.....	20
Kil.....	20
Klinker .....	20
Marn .....	21
Diatomit .....	21
Demir Cevheri (Hematit) .....	22
MATERYAL ve METOT .....	23
Sistem Yaklaşımı .....	23
Bütünsel Yaklaşım .....	23
Disiplinler Arası Yaklaşım.....	23
Sistem Analizi .....	24
Simülasyon.....	25
Veri Analizi.....	27
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	28
Sistem.....	28
Sistemin Amacı .....	28
Sistemin Hedefi.....	29
Sistemin Öğeleri.....	29
Sistemin Performans Kriterleri .....	29
Sistemin Çıktıları .....	29
Mevcut Durum .....	30
Alternatif Model.....	31
Sistemin Simülasyonla Gösterimi .....	31
Mevcut Durumun Arena Programında Simülasyonu.....	31
Alternatif Durumun Arena Programında Simülasyonu .....	32
Modelin Oluşturulması .....	32
Verilerin Toplanması .....	33

Sonuçların Analizi.....	41
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	45
KAYNAKLAR.....	46
EKLER .....	50
Ek-1. Kamyon Ocağa Gelişler Arası Süreler ve Taşıdığı Hammadde Miktarı.....	50
Ek-2. Müşteriler Gelişler Arası Süreler .....	56
Ek-3. Kamyon Yükleme Süreleri.....	58
Ek-4. Kamyon Kırıcıya Gelişler Arası Süreler .....	59
Ek-5 Mevcut Model İş İstasyonları Bekleme Süresi (Arena 14) .....	62
Ek-6 Mevcut Model İş İstasyonları Bekleme Sayısı (Arena 14) .....	63
Ek-7 Alternatif Model İstasyonları Bekleme Süresi (Arena 14).....	64
Ek-8 Alternatif Model İş İstasyonları Bekleme Sayısı (Arena 14).....	65
Ek-8 Mevcut Model Makinelerin Üretim ve Doluluk Miktarları (Arena 14).....	66
Ek-9 Alternatif Model Makinelerin Üretim ve Doluluk Miktarları (Arena 14) .....	67
Ek-10 Mevcut Model Ara Ürün Miktarları (Arena 14) .....	68
Ek-11 Alternatif Model Ara Ürün Miktarları (Arena 14) .....	69
Ek-12 Model Arena Görünüm (Arena 14).....	70
Ek-13. Alternatif Model Arena Görünüm.....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	72

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Hammadde Ocakları .....	8
<b>Tablo 2.</b> Hammadde Rezerv Miktarları .....	8
<b>Tablo 3.</b> Makinaların 1 Saatlik Kapasiteleri .....	10
<b>Tablo 4.</b> Paketleme I Silolarının Kapasiteleri .....	11
<b>Tablo 5.</b> Paketleme II Silolarının Kapasiteleri .....	11
<b>Tablo 6.</b> Roller Pres Teknik Özellikleri .....	15
<b>Tablo 7.</b> Arena Programında Kullanılan Dağılımlar.....	25
<b>Tablo 8.</b> Hammadde Ocakları .....	28
<b>Tablo 9.</b> Hammadde Rezerv Miktarları .....	28
<b>Tablo 10.</b> Mevcut Durum ve Alternatif Durum Üretim Miktarları .....	40
<b>Tablo 11.</b> Mevcut Durum ve Alternatif Durum Makine Doluluk Seviyeleri .....	41

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Fabrika üretim hattı .....	10
Şekil 2. Alternatif fabrika üretim hattı .....	16
Şekil 3. Fabrikanın detaylı sistem gösterimi .....	22
Şekil 4. Süreç akış şeması .....	23
Şekil 5. Alternatif fabrika üretim hattı .....	29
Şekil 6. Üretim hattının mevcut durum simülasyonu .....	30
Şekil 7. Üretim hattının alternatif durum simülasyonu .....	30
Şekil 8. Kamyon hammadde miktarının input analyzer’da belirlenmesi .....	31
Şekil 9. Kamyon hammadde miktarının sisteme girilmesi .....	31
Şekil 10. Kamyon hammadde yükleme sürelerinin input analyzer’da belirlenmesi .....	32
Şekil 11. Kamyon hammadde yükleme süresinin sisteme girilmesi .....	33
Şekil 12. Kamyonların kırıcıya gelme sürelerinin input analyzer’da belirlenmesi .....	33
Şekil 13. Kamyon kırıcıya gelme süresinin sisteme girilmesi .....	34
Şekil 14. Kamyon ocağa gelişler arası sürenin input analyzer’da belirlenmesi .....	34
Şekil 15. Kamyon gelişler arası sürenin sisteme girilmesi .....	35
Şekil 16. Müşteri gelişler arası süresinin input analyzer’da belirlenmesi .....	35
Şekil 17. Müşteri gelişler arası sürenin sisteme girilmesi .....	36
Şekil 18. Run setup menü .....	36
Şekil 19. Makineler ve depolama alanları .....	37
Şekil 20. Çimento değirmeni kapasite bilgisi .....	37
Şekil 21. Merkezi otomasyon sistemi.....	38
Şekil 22. Ocaklardan hammadde taşıma ve müşteri satış sistemi .....	38
Şekil 23. Mevcut model her bir iş istasyonunun kullanımı .....	39
Şekil 24. Alternatif model her bir iş istasyonunun kullanımı.....	40

## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

<b>ACI</b>	: American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
<b>CRI</b>	: Renksel Geriverim İndeksi
<b>IR</b>	: Kıızıl Ötesi Işımlar
<b>LED</b>	: Işık Yayan Diyot
<b>RPS</b>	: Redundant Power System (Yedek Güç Sistemi)
<b>UV</b>	: Mor Ötesi Işımlar



## GİRİŞ

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 sağlar. Yatırımların ve iyileştirmelerin sıfır hatayla gerçeğe dönüştürülmesi neredeyse olanaksızdır. Özellikle ağır sanayi fabrikalarında deneysel bir gözlem ağır makine ve yüksek maliyetlerinden dolayı neredeyse imkânsızdır.

Ağır sanayi fabrikalarının problemlerinde üretim hattındaki bir değişiklik yeni bir makine veya yapılmak istenen herhangi bir yatırım çok yüksek maliyetlere sebep olabilir. 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.(Yurdun 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 yöntemdir. Müşterilerin beklentilerinin bekletilmeden karşılanmasını amaçlayan karmaşık bir sistemi esnek bir şekilde inceleyebilen ve davranış öngörümü imkânı sunan benzetim tercih edilebilir bir yaklaşımdır. (Kemal Şan et al., 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 kurularak sistem hakkında istenilen amaçlar doğrultusunda uygulama ve projelerin çıktılarının incelenip, zamandan ve maliyetten yana üretim hattının davranışlarını görme imkânı sağlar. (Kızıl & Şendir, 2019)

Elde edilen verilerle birlikte, sistemle ilgili öngörü yapabilmek ve uygulanması istenilen projelerin yapılıp yapılmayacağını belirlemek gibi kararları vermemize yardımcı olur.

“Simülasyon” sistemi simüle ederek sistem üzerinde senaryolar üretilmesi imkânını sunar.

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 edebiliriz. (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 tezin 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.

Bu çalışmada uygulama olarak ele aldığımız Aşkale Çimento T.A.Ş. nin üretim hatlarını inceleyerek modelleyeceğiz. Sonrasında ise, simülasyon ile; eğer fabrikada yaşanan aksaklıklar ve problemler varsa nasıl aşılabileceğini belirlemeye çalışacağız. Ayrıca ele almış üretim hattının farklı alanlarında tıkanıklıklara neden olan ve darboğazları çözebilmek için analizler yaparak elde edilen verilerle yapılan simülasyona sonrasında çözümleri eklemiş mevcut sisteme alternatif bir üretim sistemi olabilirse, onu modelleyip inceleyeceğiz ve ekonomik olup olmayacağını da belirlemeye çalışacağız.

## KURAMSAL TEMELLER

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 kullanımı, 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 Terkajı'nın 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)

## **Aşkale Çimento T.A.Ş**

Ülkemizin çimento, klinker ve hazır beton üretimi konusunda öncü kuruluşlarından biri olan Aşkale Çimento T.A.Ş; 09.04.1968 yılında temeli atılarak, 31.10.1971 tarihinde döner fırın ateşlenmesiyle; işletmenin kurulduğu yerin sahip olması gereken özellikleri içeren bir bölge olan Erzurum'un Aşkale ilçesinde faaliyetlerine başlamıştır. Hammadde yakınlığı, demir yoluna bağlı olarak yakıt nakliyesindeki ucuz maliyet, depolama koşullarının uygunluğu ve işgücü temin etmesindeki avantajlar işletmenin daha kısa sürede gelişmesine yardımcı olmuştur. Aşkale Çimento T.A.Ş. 1992 yılına kadar devlet tarafından işletilmiş. 1992 yılına gelindiğinde; Türkiye'de çimento fabrikaları özelleştirme kapsamına alınmıştır.

Bu hedefleri çalışma ilkesi haline getirmek 1999 yılından itibaren kapasite artırımı projelerine başlamıştır. Bu projeler sonucunda yıllık çimento üretimi 300 bin tondan 650 bin tona çıkmıştır. Böylece işletme olarak geçmişinden aldığı gücü daima ileriye taşıyan bir şirket olmuştur. Bu durum Aşkale Çimento'nun başka şehirlerde de; Trabzon, Erzincan, Ağrı ve Gümüşhane'de tesislere sahip olma olanağı sundu. Çalışma alanlarının kontrolü en son teknolojik olanaklar kullanılarak minimum maliyet sağlamak için otomasyon, sistemiyle kontrol altına alınmaktadır. (Kutlu & Ağ, 2016)

Kuruluş, üretilmekte olan çimento ve klinkerin müşterilerin beklentilerini en üst kalite düzeyinde karşılayacak özelliklerde olmasını, bu amaçla gerçekleştirilecek tüm faaliyetlerde kuruluşun ve çalışanların, sağlık ve güvenlik performansını sürekli artırmayı en temel ilke olarak kabul etmektedir.

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.

## **Çimento**

İlk betonarme yapının tarihi 1852 olmakla birlikte, yapıların inşasında bağlayıcı malzemenin kullanımı çok eskilere dayanır; bağlayıcı madde olarak kullanılan ilk madde kireçtir. "Çimento" kelimesi, Latin dilinde yontulmuş taş kırıntısı anlamından gelmektedir. Sonraları "bağlayıcı" anlamı kazanmıştır. (ABNT NBR 16697, 2018)

Tarihte, Mısır Piramitleri, Çin Seddi ve değişik zamanda yapılan kalelerde o dönemin medeniyetini simgeleyen birçok değişik bağlayıcı madde kullanılmıştır. (Aktürk et al., 2017)

Daha sonra yaklaşık 2000 yıl önce, Romalılar söndürülmüş kireci volkanik küllerle ve sonraları, pişirilmiş tuğladan elde edilen tozlarla karıştırarak bugünkü çimentonun özelliklerine benzer bir hidrolik bağlayıcı kullanmaya başlamışlardır. Eski Yunanlılar ise Santorin Adası'ndaki volkanik tüfleri kireçle karıştırarak veya killi kireç taşından elde ettikleri bir tür hidrolik kireçle harç yapmışlardır. (Şahin et al., 2019)

Çimento sadece yapılar için harç görevi yapmamış tarih boyunca medeniyetlerin unutulmayacak yapılarını ne gelişmişliklerini gösteren en önemli izler taşımaktadır. Roma İmparatorluğu'nda "Roma Çimentosu" ve Anadolu topraklarında "Horasan Harcı" medeniyetlerinin ismi ile anılmıştır. 824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra öğütürerek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme olduğunda, ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland Adası'ndan elde edilen yapı taşlarını andırdığını gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için 1824 tarihinde "Portland Çimentosu" adı altında patent almıştır. Bu bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler gösterse de "portland" ismi aynen korunmuştur.

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Birçok çeşidi bulunan çimento, insanoğlunun tarihi boyunca kullandığı en önemli yapı malzemelerindendir. (Kapkaç, 2013)

20. yüzyılın başlarında çimento ile ilgili en önemli keşif gerçekleşmiştir. Birincisi kil yerine demir içermeyen kaolenin kullanılmasıyla elde edilen beyaz çimentonun üretim prensibinin keşfedilmesidir. Ancak, bu farklı kompozisyon gri çimentoyla kıyaslanabilir dayanım kapasitesi sağlayarak çimentonun esas özelliklerini değiştirmemiştir.

"Standart çimentonun" su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları sonucunda sertleşen sertleşme sonrasında suyun altında bile dayanım kararlılığının koruyan inorganik ve öğütülmüş bağlayıcıdır. TS EN 197-1 standardında çimentonun tanımı, "Çimento su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş, hidrolik bağlayıcıdır" olarak yer almaktadır.

## **İşletmede Üretilen Çimento Çeşitleri**

### **CEM I 42,5 R**

Ürün: Portland çimento

Standart: TS EN 197-1:2002 CEM I 42.5 R

Portland çimento; kalker, marn, kil, demir cevheri, pirit külü, boksit hammaddelerinin uygun oranda karıştırılıp, öğütülerek, pişirilmesi sonucu elde edilen klinkerin, bir miktar priz düzenleyici (genellikle alçıtaşı) ile birlikte öğütülmesinden oluşan; suyla karıştırıldıktan belirli bir süre sonra donarak dayanım kazanan üründür.

Kullanım Alanları;

- Yüksek, ilk dayanım gerektiren yapılarda hidrasyon ısısının ve sülfat etkisinin özel dikkat gerektirmediği tüm yapılarda,
- Her türlü betonarme yapılarda,
- Yol kaplamaları,
- Kaldırım betonları,
- Yer betonları,
- Tünel, kalıp sisteminin kullanıldığı yapılarda,
- Su depolarında ve prefabrik betonarme yapıların üretiminde ve benzeri kullanım alanlarında kullanılır. (Ghosh, 2013)

### **CEM II / A-M 42,5 R (P-LL)**

Ürün: Portland Kompoze Çimento

Standart: TS EN 197-1:2002 CEM II/A-M 42.5 R

Portland kompoze çimento en az iki cins katkı maddesinin ve karşılıklı olarak portland çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ile öğütülmesi sonucu elde edilen ve 28 günlük dayanımı min. 42,5 olan hidrolik bağlayıcıdır. TS – EN 197 – 1 standardına göre klinker 80 – 94 minör ilave bileşen 0,5 yüksek fırın cürufu, silis dumanı, puzolan, uçucu kül, pişmiş şist, kalker 6 – 20 arası bileşiminden oluşur.

Kullanım Alanları:

- Köprülerde ve viyadükler
- Duvar ve sıva işleri
- Beton briket üretimi kullanılır.

Bunun haricinde katkılı çimentoların kullanıldığı genel amaçlı ve daha yüksek dayanım gerektiren inşaatlarda kullanılabilir. (Mas et al., 2012)

### **CEM II B-M 32,5 R (P-LL)**

Ürün: Portland Kompoze Çimento

Standart: TS EN 197-1:2002 CEM II/A-M 32.5 R

En az iki cins katkı maddesinin ve karşılıklı olarak portland çimento klinkerinin miktarı alçı taşı ile öğütülmesi sonucu elde edilen ve 28 günlük dayanımı 32,5 N/mm<sup>2</sup> olan hidrolik bağlayıcıdır. TS – EN 197-1 standardına göre klinker 65-79, minör ilave bileşen 0,5 yüksek fırın cürufu, silis dumanı, puzolan, uçucu kül, pişmiş şist, kalker 21 – 35 arası bileşiminden oluşur.

Kullanım Alanları:

- Genel amaçlı inşaatlar
- Düşük hidrasyon ısısına gerek duyulan kütle betonların üretiminde kullanılır.

### **CEM II / B-M 42,5 N (P-LL)**

Ürün: Portland Kompoze Çimento

Standart: TS EN 197-1:2002 CEM II/B-M 42.5 N

Portland kompoze çimento üretiminde kullanılan doğal puzolan geçirimsiz bir beton sağlayarak hidrasyon ısısını düşürmekte yüksek olmasını sağlayarak betonun dış etkilere karşı direncini artırmaktadır. TS – EN 197 – 1 standardına göre bileşiminde portland çimento dışında %25 civarında çok ince öğütülmüş puzolan ve kalker bulunmaktadır. İçeriği kalker çimentosunun su ihtiyacını düşürmekte, puzolan içerikli malzemeler ise beton içinde geçirimsizliğini artırmaktadır. (Dogan & Ozkul, 2015)

#### Kullanım Alanları:

- Betonarme konut inşaatlarında
- İstinat betonu bordür imalatlarında
- Kanal, kanalet ve bordür imalatlarında
- Sıva ve harç uygulamalarında
- Çok yüksek dayanımın istenmediği her türlü hazır beton imalatlarında

#### İşletmenin Üretim Yapmasına Katkı Sağlayan Girdiler

İşletmenin çimento üretimine temel girdi olan hammaddeler: kalker, kil, alçı ve trastır.

İşletmede yarı mamul olarak klinker üretilip kullanılmaktadır. Katkı maddeleri ise marn, demir, diatomittir. Bunlar aşağıda kısa kısa açıklanacaktır. Kullanılan hammaddelerin çıkarıldıkları yerler ve rezev miktarları ilgili bilgi Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Hammadde Ocakları

Kil Ocakları	Karahasan ve Pırnakaban köyü mevki
Kalker Ocakları	Kaban Dağı
Alçıtaşı Ocakları	Taşagıl, Topalçavuş, Büyükgeçit ve Yaylımlı köyü mevki
Tras Ocakları	Bayburt ili ve Kop Dağı mevki

**Tablo 2.** Hammadde Rezerv Miktarları

Kaban Dağı kalker ocağı öngörülen rezerv miktarı	12.000.000 ton
Taşagıl köyü alçıtaşı ocağı öngörülen rezerv miktarı	1.6000.000 ton
Karahasan köyü kil ocağı öngörülen rezerv miktarı	2.100.000 ton
Bayburt ili tras ocağı öngörülen rezerv miktarı	4.000.000 ton

#### Üretim Hattı Aşamaları

Çimento üretimi için, ilk önce hammadde ocaklarından çıkartılıp getirilen kalker ve kil konkasörün farklı bunkerlerine dökülerek burada kırıcıda boyutları küçültülür. (Kapkaç, 2013; Katkı et al., 2012)

Daha sonra, kırılan malzeme lastik banda dökülür. Buradan preblending ön homojenizasyon silosuna sevk edilir. Bu siloda ham karışımın ilk karıştırılması, homojenizasyonu sağlanır. Bu işlem pre-blending olarak adlandırılır.

Preblendingin önemli 2 ekipmanı vardır. Bunlar kazıyıcı kovalar ve tarayıcı aksam(tarak) tır. Tarak yüzeyden eşit boyutlardaki malzemeyi tarayarak kazıyıcı kovaların önüne döker. Buradan da kazıyıcı kovalar malı yeraltı besleme bandına dökerek besleme yapılacak farin değirmeni bunkerine aktarır. (24) Loesche farin II dik değirmeninde döner tabla ve ezici valsler vardır. Değirmende öğünen malzeme buradan siklonlara sevk edilir. Siklonlarda kalsilasyon işlemi yani farin fırına verilmeden önce ısıtılması sağlanır. (Tüzemen & Yıldız, 2018)

Siklondan çıkan farin 1450°C deki döner fırına verilir. Pişen farin klinker olur. Bu klinkerde içerisine alçı, tras ve kimyasal katıldıktan sonra bilyalı değirmenlerde öğütülür. Son haliyle çimento hazırdır. (26) Paketleme silolarına sevkiyatı yapılır. Paketleme iki farklı kısımdan (paketleme I ve paketleme II) oluşmaktadır. Aşağıda kısaca her ikisi de açıklanacaktır.

### **Paketleme I**

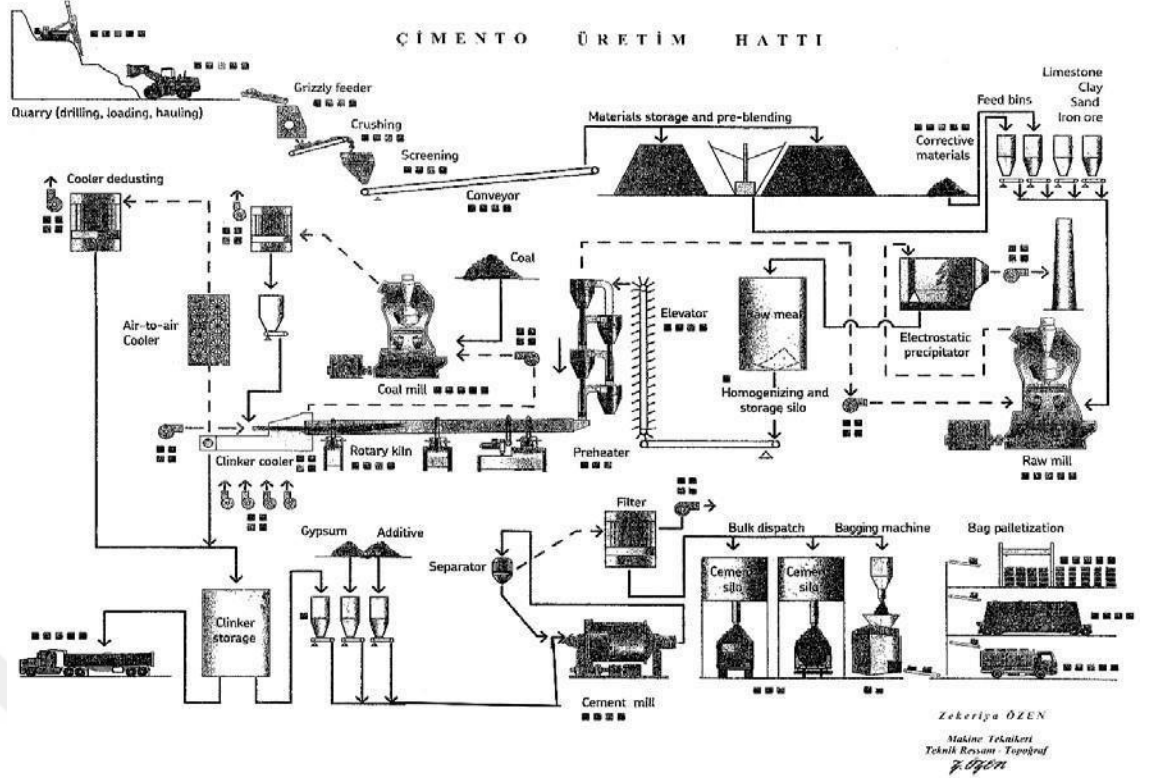
- İşletmede 5827 m<sup>2</sup> alanda (3327 m<sup>2</sup> kapalı, 2500 m<sup>2</sup> açık alan) yer almaktadır.
- Üretilen çimentonun stoklandığı her biri 2500 ton/saat kapasiteli 4 adet çimento silosundan oluşan bu kısımda 4 adet dökme çimento yükleme hattı ve 3 adet torbalı çimento yüklemek için oluşturulmuş döner kantar sistemi mevcuttur.
- Müşteri talebine göre torbalı veya dökme olarak piyasaya sunulan çimentonun sevkiyatının yapıldığı bölümdür.
- Torbalı çimento, döner kantar üzerindeki nozullara torbaların takılması suretiyle otomatik olarak doldurulmakta ve bant üzerine bırakılan torbalı çimento kamyon, tır gibi nakliye araçlarına istiflenmek suretiyle sevk edilmektedir.
- Dökme çimento tozsuz dökme körükleri ile doldurulmak suretiyle satış işlemi gerçekleştirilmektedir.

### **Paketleme II**

- İşletmede 2896 m<sup>2</sup> alanda (896 m<sup>2</sup> kapalı, 255 m<sup>2</sup> çimento silosu, 641 m<sup>2</sup> si yükleme binası, 2000 m<sup>2</sup> açık alan) yer almaktadır.

- Bu kısımda 4 bölmeli (her bir bölmesi 25000 ton kapasiteli olan) 10000 ton kapasiteli 1 adet kapalı silo mevcuttur.
- Sisteme adapte 250 ton/saat kapasiteli çimento hazırlamada kullanılan mikser bulunmaktadır.
- Mikser, çimento değirmenlerinde katkıli çimento üretilmediği zamanlarda katkıli çimento (kompoze çimento) hazırlamak amaçlı çalıştırılmaktadır.
- Üretilen CEM I çimentosu ve katkı miktarı belirlendikten sonra ilgili silolardan alınan malzemeler dozaj kantarında tartılarak miksere beslenir.
- Mikserde homojen bir karışım sağlandıktan sonra elevatör aracılığıyla tanımlanan çimento silosuna sevk edilir.
- Çimentoya akışkanlık kazandırmak için tüm siloların altında bulunan havalı yastıklara hava verilerek kaynatma işlemi yapılır.
- Bu üniteye kapalı hacim siloların altında bulunan havalı yastıklara hava verilerek kaynatma işlemi yapılır.
- 1 adet 80 ton/saat kapasiteli torbalı dolum kantarı ve 2 adet dökme çimento hattı bulunmaktadır.

Aşağıda işletmenin üretim akış hattının görsel hali (Şekil 1) verilmiştir.



**Şekil 1.** Fabrika üretim hattı

Üretimde kullanılan ekipmanların kapasiteleri ile ilgili bilgiler ise aşağıda verilen Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Makinaların 1 Saatlik Kapasiteleri

KONKASÖR I	400 TON
KONKASÖR II	800 TON
FARİN DEĞİRMENİ I	90 TON (Bilyeli)
FARİN DEĞİRMENİ II	260 TON (Loesche)
DÖNER FIRIN I	90 TON (Ön Isıtcılı)
DÖNER FIRIN II	270 TON (Prekalsinatörlü)
KÖMÜR DEĞİRMENİ I	13 TON (Bilyalı)
KÖMÜR DEĞİRMENİ II	25 TON (Dik-Valsli)
ÇİMENTO DEĞİRMENİ I (KHD)	40 TON (Açık Devre)
ÇİMENTO DEĞİRMENİ II (FLS)	70 TON (Kapalı Devre) - Separatör var
ÇİMENTO DEĞİRMENİ III (ÇİN)	100 TON (Kapalı Devre) – Separatör var

**Tablo 4.** Paketleme I Silolarının Kapasiteleri

Silo I	2500 TON
Silo II	2500 TON
Silo III	2500 TON
Silo IV	2500 TON

**Tablo 5.** Paketleme II Silolarının Kapasiteleri

BLC I	2000 TON	1 Dökme
BLC II	2000 TON	1 Vagon Yükleme
BLC III	2000 TON	1 Torbalı

Aşkale Çimento T.A.Ş. de her yıl sonunda, bir sonraki yıl için bütçe programı yapılmaktadır. Bu bütçe programı malzeme akışı, üretim ağ tasarımı, üretim sistem planlama ve kontrol gibi birçok süreç göz önüne alınarak planlanmaktadır. Yıllık çimento satış hedef miktarı, satış birimi tarafından işletmeye bildirilir. Bu doğrultuda satışı gerçekleştirilecek çimento tiplerinin miktarlarına göre kullanılacak klinker miktarı, katkı miktarı ve alçı taşı miktarları son 10 yıl göz önüne alınarak bir üretim planlaması yapılır. Üretim planlaması sonrasında üretilecek klinker miktarı da hesaplanır ve daha sonra klinker elde etmek için gerekli farin miktarı hesaplanarak farin miktarını elde edebilmek için gerekli kalker ve kil hammaddelerinin miktarları hesaplanarak sistemin sağlanması ve kontrolü yapılmış olur. Tüm bu hesaplamalar aylık baz alınarak yapılır. Daha önce belirttiğimiz gibi, işletmenin üretim hattında kullanmadığı fakat kullanılabilirliği olan roller pres makinesinin üretim hattında kullanılması halinde oluşabilecek değişiklikler aşağıda alternatif sistem olarak tartışılacaktır.

#### **Alternatif Üretim Sistemi Tasarımı**

1 yılda üretilebilecek toplam çimento kapasitesi 1.825.000 ton olmasına rağmen 1.200.000 ton üretilmesi işletmeyi kaynakları ve üretim hattından maksimum şekilde kullanabilmek ve enerji verimliliği adına iyileştirme yapmaya mecbur kalmıştır.

Öncelikle mevcut üretim hattındaki boşluklar tanımlanmış sistemdeki tıkanıklıklar ve dar boğazlar tespit edilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen verilere göre alternatif çözüm senaryoları üretilmiştir. Bu senaryoların mevcut durumu simülasyona entegre ederek sonrasında senaryoların da eklenerek her iki durumu kıyaslama yaparak mümkün hale gelmiştir. Fabrikada çalışan uzmanlarımızın ve mühendislerimizin alternatif çözüm olarak gördükleri ve

tıkanıklıkların ve darboğazların çözümlenerek hedefe ulaştırılacak en önemli yatırımın roller pres projesi olduğunu düşünmektedirler. Bunun sebebi çimento değirmeninde fazla zaman ve enerjinin israf olarak klinkerlerin küçültülmesine harcanan zamandır.

Bu projede “roller pres” makinası ile mevcut duruma engel olmadan ilave tesisi montaj ve testi yapıldıktan sonra değirmenle bağlantısı, besleme bantları ve silo üstü dağıtım sistemine adaptasyonu değirmenin tesis değirmenle birlikte üretime başlamasını sağlanması amaçlanmıştır. Aşağıda üretim hattına roller pres girmesi durumunda yapılacak çevre düzenlemeleri, üretim hattındaki yeri ve roller pres incelenmiştir.

### **Roller Pres**

Yüksek basınçlı taşlama rulo presler ile öğütme basıncı, hidrolik sistemden hareketli rulo vasıtasıyla malzeme yatağına aktarılır ve sabit, kapalı makine çerçevesinde emilir. Anahtar özellik, silindirlerin yağla yağlanmış silindirik makaralı rulmanlara montajıdır. (Romanovich et al., 2018)

Elektrik motorlarından güç iletimi, genellikle planet tasarımı kardan mili, sıvı veya emniyetli bağlantı ve sıkıştırma diski takılmış vites kutuları vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Partiküller materyallerin kaba besleme boyutlarından indirgeme veya son hali için gerekli olan ince ürün boyutlarına indirmediği bir süreçtir. İşlemler, çimento, mineral, kömür, kâğıt hamuru ve kâğıt, seramik, tarım ürünleri, gübre, gıda, ilaç ve boya / pigment malzemeleri gibi farklı proses endüstrilerinde bulunur. Öğütme, özellikle son derece ince öğütme için, nihai ürünün istenen özellikleri için uygun ince ebat aralığında malzeme temin etmek için sürecin tamamında enerji yoğun bir aşamadır. Çeşitli malzemelerin öğütme teknolojisinde daha yüksek enerji tükettiği ve verimsizliğe sebep olduğu belirlenmiştir.

Roller Pres; alt tarafında elektrik motoru tahrikli iki adet merdane ve üst tarafında tahriksiz 1 adet merdane vasıtasıyla çeşitli bükümleri yapabilmeye yeteneğine sahip olan büyük boyutlu preslerdir. Aynı zamanda alttaki tahrikli motorlar kilitlenip, sisteme erkekdişi kalıplar akupile edilerek prese abkant özelliği de kazandırılmaktadır. Bu bildiriye konu olan pres 14 metre uzunluğunda olup, 1500 ton-f presleme kuvvetine sahiptir. Presin düşey ekseninde, büküm için girilen komut strok değerine  $\pm 20$  mikron hassasiyetle ulaşması talep edilmiş, modernizasyon sonunda uzak kolonda yaklaşım anında maksimum  $\pm 12$  mikron, yakın kolonda ise maksimum  $\pm 6$  mikron hassasiyet sağlanmıştır. Bu hassasiyetleri sağlamak için SSI arabirimli pozisyon sensörleri ve çift eksen için özel olarak tasarlanmış kontrolörler ile servo karakteristikli oransal valfler kullanılmıştır. (Babu et al., 2020)

Öğütmenin en büyük problemi, mikron ebatların altındaki partiküllerin üretilmesi için gerekli olan muazzam miktardaki enerjidir. Konvansiyonel değirmenler (özellikle bilyalı değirmenler) yıllarca öğütmek için kullanılmıştır, ancak bu uygulamadaki temel problem, klasik bir değirmende tüketilen gücün, kritik değerlerin üstündeki hızlarda meydana gelen santrifüjle sınırlandırılması ve öğütme ortamı boyutunun çok küçük olmamasıdır. Aksi takdirde her topun darbe enerjisi önemsiz olacaktır. Bir döner fabrikada düşük hızlı ve büyük öğütme sırasında, esas olarak darbe ve aşındırıcı gerilmeler üretir. Parçacık boyutları mikron boyut aralığında olduğunda, bu iki kuvvet iyi çalışmaz. Kavrama değirmeni geliştirme, her zaman enerji tüketimini düşürmek, iş hacmini arttırmak ve çok farklı öğütme problemleri için çoğunlukla evrensel bir makineye sahip olmayı amaçlamaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak için son yıllarda dünya çapında enstitüler, üniversiteler ve şirketler tarafından çok sayıda değirmen geliştirildi.

Etkili öğütme için yeni değirmenlerin gelişmelerinin yanı sıra, sınıflandırma için ekipman önemlidir. Enerji maliyetini azaltmak ve nihai üründe aşırı zemin parçacıklarının oluşmasını önlemek için, öğütme işleminde ince taneleri boşaltmak veya kaba parçacığı ayırmak yararlıdır. Ürünün öğütme sisteminden çıkan parçacık boyutu dağılımı da sınıflandırma ile belirlenir. Kesit boyutu düştükçe sınıflamanın giderek zorlaştığı ve özellikle malzemenin düşük özgül ağırlığı veya ultra ince toz oranının yüksek olması bilinmektedir. Yüksek yüzey alanlı ince ve aşırı derecede ince ürünlere yönelik güncel bir eğilim, sınıflandırma sistemine giderek daha titiz gereksinimlerin gittikçe artması anlamına gelir.

Ayrıca, kimyasal veya termal enerjilerin öğütme işlemine uygulanabilirliği araştırma ve araştırmanın uygun bir sonuca ulaşmamıza olanak sağlamıştır. Bu muhtemel destekli teknik, bir öğütme sürecinde performansın iyileştirilmesi ve daha düşük enerji tüketimi elde edilmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Öğütme işlemlerinde kullanılan kimyasallar veya öğütme yardımcıları genellikle öğütme enerjisinin verimliliğini artırır, öğütme limitini düşürür, öğütülmüş parçacıkların agregalarını ve öğütme ortamı kaplamayı önler. Aynı zamanda malzeme akışına yardımcı olur.

Tahrik gücü, birinci kademeli düz dişli çok kademeli planet dişli kutuları aracılığıyla öğütme silindirlerine aktarılır. Şanzımanlar, hidrolik bir çekme kuplajı kullanılarak silindir şaftının tahrik ucuna monte edilir.

Makine çerçevesinin üst ve alt tiebarları aynıdır. Kauçuk pedler rulman yatak blokları ile çerçeve uçlarının arasına yerleştirilir. Lastik pedler mafsal bir mafsal görevi görür ve

titreşim sönümlenme etkisine sahiptir. RPS tipi özel bir tip rulo değişiklikleri sırasında bakım süresini azaltır. Rulo kapaktaki kapılar, muayene ve bakım için silindirlere hızlı ve geniş erişimi sağlar.

Silindir Preslerinde silindirler radyal, çok sıralı silindirik makaralı rulmanlarda desteklenir. Bu, makaralı rulman üzerinde eşit bir yük dağılımı sağlar ve böylece yatağın ömrü önemli ölçüde artar.

Yağlı rulmanlar tüm roller preslerinde standart olarak bulunmaktadır. Silindirik makaralı yatak üzerindeki tüm temas noktaları yağlama ile eşit şekilde sağlanmaktadır. Yağlama maddesinin durumunu düzenli olarak kontrol ederek (alternatif gres yağlama) işletme maliyeti daha da düşürülebilir.

Bu ekipman, EA şarjı için 120 Volt (V) değerinde alternatif akım sağlar. Seviye 1, yavaş şarj olarak da adlandırılmaktadır ve enerji kaynağı olarak tek fazlı sistemler kullanılmaktadır. Bu tip EABE, daha küçük batarya kapasiteleri ve düşük sürüş aralıkları olan EA'lar için uygundur. Bu istasyonlarda herhangi bir güç dönüştürücü için ekipman bulunmaz. Tüm fişli EA'lar, standart bir Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (UEÜB) konektörüne ve diğer tarafta Otomotiv Mühendisleri Birliği (OMB) J1772 bağlantı noktasına sahip basit bir kablo seti olan bu ekipmanla birlikte gelir. Bu EABE, daha yüksek voltajlarda özel bir güç servisine ihtiyaç duymaz ve tipik olarak evdeki EA'ları 120 V'luk bir elektrik priziyle yavaş şarj hızında daha uzun süre şarj etmek için kullanılır. Şarj süresinin uzunluğu bir problem gerçekleştirmediğinden dolayı elektrik şebekesine çok fazla yüklenilmemektedir.

Roller pres çalışma prensibi şu şekildedir:

Parçacıkların parçalanmasına dayanan roller presin çalışması, roller pres işlemi sırasında, besleme malzemesi iki döner merdanenin arasına bastırılır ve 500 bar seviyesinde çok yüksek bir basınca maruz kalır ve çatlaklar oluşabilir. Malzeme taneciklerini öğütmek için daha büyük enerjiye ihtiyaç duyar. Aglomerasyon yaygın olarak dökme olarak bilinen çıktı materyali, bir ayırıcıda toplanabilen gerekli boyuttaki ince tozların belirli bir yüzdesini serbest bırakır. Süreç ideal olarak aşağıdaki gibi ilerler. (Folsberg, 1991)

Yüksek basınç ve yüksek basınç üretimine izin veren cüruf gibi sert ve gevrek malzeme daha sonra yüksek granül ve ince toz oluşumuna neden olur.

Başarılı bir roller pres işlemi için temel gereklilikler, malzemeye çatlaklar üretmek için gerekli olan yüksek basıncın kazandırılması için merdane aralarında bir malzeme bulunmasıdır.

Roller pres operasyonu ile ilgili deneyimlerimiz, aşağıdaki faktörlerin dengeli bir yatak oluşumu için kritik olduğunu göstermektedir. Bunlar metnin ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır:

**Besleme düzenlemesi:** Besleme düzenlemesi (besleme oluğu) ruloların üzerinde her zaman bir sütun bulundurmasını sağlamalı ve çalışma sırasında sıkışan havanın serbest kalmasına izin vermelidir. Besleme haznesi kütle akışı tasarımında olmalıdır.

**Parçacıklar arası kohezyon:** Belirli bir oranın eklenmesiyle iyileştirilebilir. Besleme materyalindeki nemin oluşmasını sağlar.

**Malzemenin granülometrisi:** Daha geniş parçacık büyüklüğü dağılımına sahip kaba bir malzeme, kararlı yatağın oluşturulmasına elverişlidir.

Üretim hattının dengelenmesi tamamlandıktan sonra yeni yapılmak istenen roller pres makinesi ile ilgili bilge ve gelişmeler simülasyon modeline girilerek son halini oluşturur. Simülasyon modeli gösteriyor ki eklenecek makine ile daha fazla üretim yapılabilen ve yatırımcılarımızın beklentisi karşılanmaktadır.(Van Der Meer & Schnabel, 1997)

## **Rulo Hızı**

Belirli bir işleme ulaşmak için tasarlanmış olsa da roller pres, sabit bir yatak oluşumu için bu hıza esasen bir sınır getiriyor.

**Tablo 6.** Roller Pres Teknik Özellikleri

Silindir Çapı	175 mm
Silindir Boyu	1350 mm
Silindir Adedi	2 Adet
Silindir Arası Açıklığı	0.1-75 mm
Maksimum Presleme Genişliği	1300 mm
Motor Gücü	0.37 kW
Silindir Devir Sayısı	0-25d/dk
Sıkma Et Kalınlığı	0.5-5 mm
Isıtıcı Rezistans Gücü	4x1000 watt
Toplam Elektrik Gücü	4.5 kW
Makinanın Uzunluğu	185 cm
Makinanın Yüksekliği	165 cm
Makinanın Eni	70 cm
Makinanın Ağırlığı	410 kg

Rulo Preslerinin uzun ömürlü tasarım özellikleri arasında şunlar bulunur:

- Cömertçe boyutlandırılmış yatak yük faktörü
- Filtrelenmiş yağ yağının sürekli beslenmesi
- Düşük rulman sıcaklığı için yağlama yağı ile soğutulan rulmanlar
- Sırt sırta yerleştirilmiş sabit radyal mil keçeleriyle yatak sızdırmazlığı
- V-halkalı ve ayrı tozlu ilave kalıcı yağlanmış labirent rulmanların iç tarafında çok katmanlı kaynak, duraklamalar olmadan uzun çalışma süreleri sağlar.
- Tam sert yüz kaynaklı yüzey, normal aşınma karakteristiğinin besleme malzemesi için kullanılır. Yüzey tamiri hızlı bir şekilde yapılabilir.
- Sert alaşımli saplamalarla yüzey, aşındırıcı malzemeler için kullanılır.

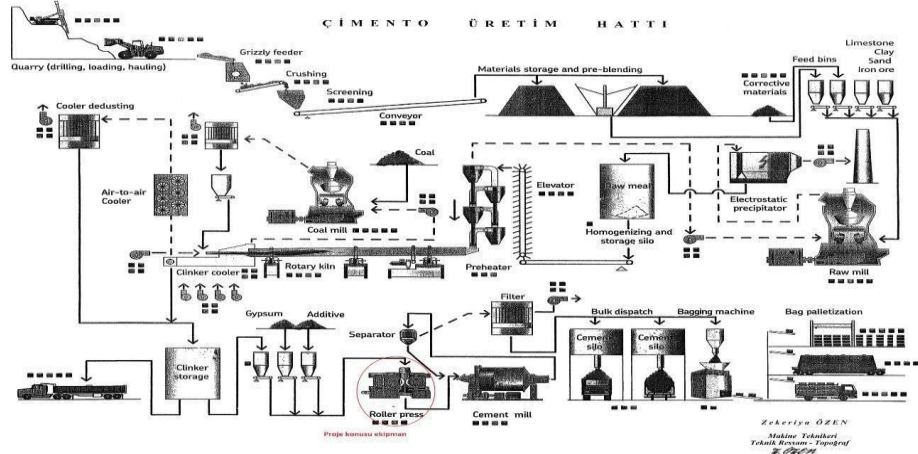
#### **Avantajları**

- Verimli enerji
- Düşük işletme ve bakım maliyetleri
- Kuru malzeme için özellikle faydalı olması
- Suyun kullanımı yok
- Ham öğütme için özel olarak tasarlanmış
- Kaynaklı yüzey sağlam ve basit
- Kolay silindir çıkarma için menteşeli çerçeve Kuruma kapasitesi çözüme dâhil edilebilir.

#### **Dezavantajları**

- Roller Preslerin en önemli dezavantajı yüksek basınçlarda çalıştırılması nedeniyle ortaya çıkan mekanik sorunlar ve aşınmalardır.

## Alternatif Fabrika Üretim Hattı



Şekil 2. Alternatif fabrika üretim hattı

Mevcut değirmen çalışmasına engel olmadan roller pres ilave tesisi montaj ve testi yapıldıktan sonra değirmenle bağlantısı, değirmen bilya şarjının yapılması, besleme bantları ve silo üstü dağıtım sistemine adaptasyonu tamamlanarak tesis değirmenle birlikte üretime başlayacaktır.

Proje kapsamı aşağıda ana başlıklar halinde belirtilen hususları dikkate alarak gerçekleştirilecektir.

### Çevre düzenlemesi

Proje kapsamında yapılacak tesisin çevre ve fabrikadaki mevcut yoldan tesise yapılacak bağlantı yolları dramixli beton olacaktır. Yolların genişliği minimum 8 m olacaktır. Tesisin içi, dışı ve yol boyunca LED aydınlatma sistemi ile aydınlatılacaktır. LED armatörlerin CRI değeri 80'in üzeri olacaktır. LED'ler UV ve IR içermeyecektir. İnşaatta yapılacak olan kazıdan çıkacak olan hafriyat öncelikle tesis içerisindeki dolgular için ayrılarak kullanılacak, fazla gelen kısmı ise fabrika yetkililerinin göstereceği yere taşınarak düzenli bir şekilde dökülecektir. Firma, anahtar teslimi esasına göre belirtilen işleri en son teknolojiye uygun makine, donanım, ölçü ve kontrol cihazları, kamera ve izleme sistemleri, tartım ve ölçüm sistemleri, yazılım ve işletim sistemlerini yapacaktır. İşin kapsamındaki donanımın prosess ve garantilerini detaylı şekilde projelendirerek belirtecektir.

## **Besleme sistemi**

Roller Prese beslenecek klinker, katkı ve alçı mevcut dört adet değirmen besleme bunkerleri altından mevcut tartım kantarları yerine uygun kapasitede kantarlarla alınarak yapılacaktır. Kantarların tarttığı malzemeleri bu çalışmaya göre roller prese besleyecek sevk sistemi roller pres arızalarında değirmen tek başına çalışacak şekilde direk değirmeni de besleyecek kabiliyette besleme sistemi yapılacaktır.

Mevcut bunker altından malzemeyi roller pres veya mevcut değirmene sevk edecek uygun elevatör veya lastik bant sevk sistemi yapılacaktır. Yapılacak elevatör veya lastik bantların kapasiteleri minimum 300 ton/h kapasiteli olacaktır. (Tong et al., 2015)

Elevatörler merkezden tek sıra zincirli ağır şartlarda çalışacak lastik bantlar ise beş kat kort bezli 180 dereceye dayanıklı (üst kalınlık 6 mm alt kalınlık 3 mm olacaktır.) Tüm bantların hızları max 0.8m/sn den yukarı olmayacaktır. Tamburlar lastik kaplamalı standartlara uygun tamburlar olacaktır. Uzun bantlarda her 10 m’de bir mafsalı ayar rolesi konulacaktır.

Yer seviyesinden 2 m ve üzeri bantların altı malzeme düşmemesi için kapatılacaktır. Bütün bantların şaselerinin üst kısımları kapatılacaktır ve bant yanları iş güvenliği gereği tel kafesle emniyeti sağlanacaktır. (Singh et al., 2013) Tesisteki bütün lastik banttaki şutları altına darbe roleleri yerine metso veya labris marka darbe yatağı konulacaktır darbe roleleri kabul edilmeyecektir. Bina dışındaki bütün bantlar kapalı galeri içerisinden gidecektir, elevatörlere ise skapalı elevatör kuleleri yapılacak ve elevatörlerin üzerine elevatörlerin üzerinden alacağı motor ve rediktörü zeminde uygun bir yere indirecek rediktör ağırlığının 1,5 katı ağırlığı kaldıracak kapasiteli monoray vinçler yapılacaktır. Vinçlere bakım için standartlara uygun platformlar ve korkuluklar yapılacaktır. Galerilerin her iki tarafında 80 cm genişliğinde gezinti yolları olacaktır. Monoray vinçlerine bakım için motor tarafına yürüme platformu yapılacaktır. Kullanılacak tüm bantlarda yan açıları 45° e olacak şekilde tasarlanacaktır.

Bu çalışmamızda mevcut üretim sistemini ve alternatif üretim sistemini kıyaslayabilmek için sistem yaklaşımına ve benzetim tekniğine ihtiyaç duyulmaktadır. Takip eden kısımda gerekli bilgiler verilecektir.

## **Çimento ile İlgili Terimler**

### **Kalker**

Sanayinin temel hammaddesidir. Çoğunluğu kalsiyum karbonat olan bir mineral taştır. %100 saflıktaki kalker, Kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) olarak tarif edilir. Kalsiyum karbonat

doğada geniş olarak bulunur. Kalkerin en saf şekilleri kalsit ve aragonittir.  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  içeriği en az %75 olmalıdır. Kalker jeolojik devirde yaşamış canlıların kabuklarının derin denizlerde sıkışmasından meydana gelmiştir. Saf kalker %56 CaO, %CO' dan ibarettir. Saf bir yapı arz etmeyen yapısında az miktarda silisyum, magnezyum, alüminyum, demir, manganez ihtiva eder. (Kilic et al., 2019)

### **Tras**

Silisli ve alümina, silisli volkanik bir tür yalnız başına hidrolik bir özellik göstermediği halde ince öğütüldüğü zaman sulu ortamda ve kalsiyum oksitle normal sıcaklıkta reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcı özellik gösteren doğal puzolanik (puzolan) maddedir.

Kendisi hidrolik bağlayıcı nitelikte olmayan, ancak ince öğütülmüş kireç ya da çimento gibi maddelerle sulu ortamda karıştırıldığında bağlayıcı maddeler oluşturan volkanik bir kayadır.

### **Alçı**

Doğal olarak oluşan ve bileşiminde iki molekül su bulunduran bir kalsiyum sülfat mineralidir. Klinker ile karıştırılarak çimentonun donma süresinin uzatılmasını sağlar. Tabiata  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  halinde bulunur. Çimentoya, donma süresini ayarlamak için katılır. Yapısı kalsiyum sülfat ve sudan ibarettir. Alçı taşı kuru iklim şartlarında deniz suyunun buharlaşması neticesinde çökerek meydana gelmiş sedimenter (tortul) çökelmiş mineral olduğu için asitlerde kolayca çözülmez. Çimentoya %3 veya %5 oranında ilave edilir. (TÇMB, 2014)

### **Kil**

Kayaçların hava, su ve erozyon ile parçalanması sonucu oluşan çökeltilerdir. Killer, silisli kayaların iklim şartları sonucunda meydana gelmişlerdir. Kil içeriği %1,2'yi geçmemelidir. Çimento sanayinde kalker  $\text{CaCO}_3$ ' ünü ayarlama gereklidir. Saf değildir.

Alüminyum, demir ve kalsiyum silikattir. Kil' e renk veren yapısındaki metal oksitleridir.

Kuru iken üzeri çatlak ve serttir. Suyu çabuk emer ve ıslandığında geçirimsizdir. Plastik kil, demirli kil, lekeci kil, lős ve vaz çeşitleridir. (Korkmaz, 2019)

### **Klinker**

Çimento üretimi sırasında pişmiş kil ve kalkerlerin birleşiminden oluşan iri taneli malzemedir. Çimentonun bir önceki safhası olarak adlandırılabilir. Yapısında pişirilmiş biçimde %20 kil ve

%80 oranında kalker içerir. Çimento haline getirilmeden önce ağırlıkça %3-6 oranında ile karıştırılır ve iyice öğütülür. Klinker çok değişebilen bir malzemedir.

İnce öğütülmüş (4900 elek bakiyesi: %14-16) büyük kısmını kalsiyum oksit (CaO), Silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>), az miktarda Alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve demir oksitin (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) teşkil ettiği hammaddelerin homojen bir karışımının en az sinterleşmeye kadar pişirilmesi neticesinde elde edilen yarı mamul bir maddedir. Kısaca, pişirilmiş fakat öğütülmemiş çimento olarak tarif edilebilir. (Kelimeler et al., 2011)

Çimentonun hammaddesi olan klinkeri yapmak için dört temel oksite gerek vardır. Bunlar klinker içinde birleşmiş ve bütünleşik özgün kristaller olarak bulunurlar.

- Klinkerin yaklaşık %65 i CaO (Kalsiyum Oksit) dur.
- Klinkerin yaklaşık %23 'ü SiO<sub>2</sub> (Silika) dır.
- Klinkerin yaklaşık %5 'i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Demir Oksit) tür.
- Klinkerin yaklaşık %5 'i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alümina) dür.

### **Marn**

Bu yapı çimento sanayinde kullanılan iki hammaddenin karışımıdır. Kil ve kalkerin çeşitli oranlarda karışımından meydana gelmiş kütlelerdir. Karışımındaki fazla maddeye göre isim alır. Kalkeri fazla olan marna “kalkerli marn”, kili fazla olan marna “killi marn” denir.

Bileşiminde %50 kalker bulunan her kil marn kabul edilebilir. Karışımda kalker miktarına göre sertlik derecesi artar veya azalır. (TÇMB, 2014)

### **Diatomit**

Diatomitin son on yıldır çimento fabrikalarında katkı maddesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan denemelerde %10 diatomitin katkı oranının dayanımları yaklaşık %30 oranında artırdığı görülmüştür. %15 ve daha yüksek katkı oranının ise çimentonun su gereksiniminin artması nedeniyle dayanım düşmesine sebep olduğu görülmüştür. Dolayısıyla diatomitin çimento endüstrisinde, öğütmede enerji tasarrufu sağlayan çimento değirmeninde üretimi artıran ve dayanımların artmasına sebep olan iyi bir katkı maddesi olması nedeniyle çok amaçlı olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. (Koçak, 2019)

## **Demir Cevheri (Hematit)**

Çimentonun diğer malzemelerinde görülen demir eksikliğini giderebilmek için hematit kullanılır. Bileşiminde %70 demir %30 oksijen vardır. (Ordu & Öztürk, 2017)



## MATERYAL ve METOT

Tartışılan üretim sistemlerini inceleyebilmek için sistem yaklaşımını ve benzetimi kullanacağız. Aşağıda kısaca sistem yaklaşımı, bütünsel yaklaşım ve disiplinler arası yaklaşım kavramları açıklanmıştır. Akabinde benzetimle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda da sistemin analizi yapılmıştır.

### **Sistem Yaklaşımı**

Sistem Yaklaşımı belirli alt sistemlerden oluşan ve bu sistemler arasında ilişki bulunan ve bu sistemin tamamının dış çevreyle ilişkisi olan bir bütün olarak tanımlanır. 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 yapar. (Moore, 2015)

### **Bütünsel Yaklaşım**

Sistemin bütününe ele alındığı yaklaşımdır. Bütünsel yaklaşımda, sistemimizdeki öğelerin, öğeler arası ilişkilerin ve sistemde çıkacak problemlerin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade eder. 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 vardır. (Sarıçiçek & Yüzügüllü, 2003)Örneğin kömür ocakları sisteme direk dâhil olmamasına rağmen döner fırının sıcaklığını kömür değirmeni sağlar. Üretime dâhil olmasa da kömür miktarı sistem üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

### **Disiplinler Arası Yaklaşım**

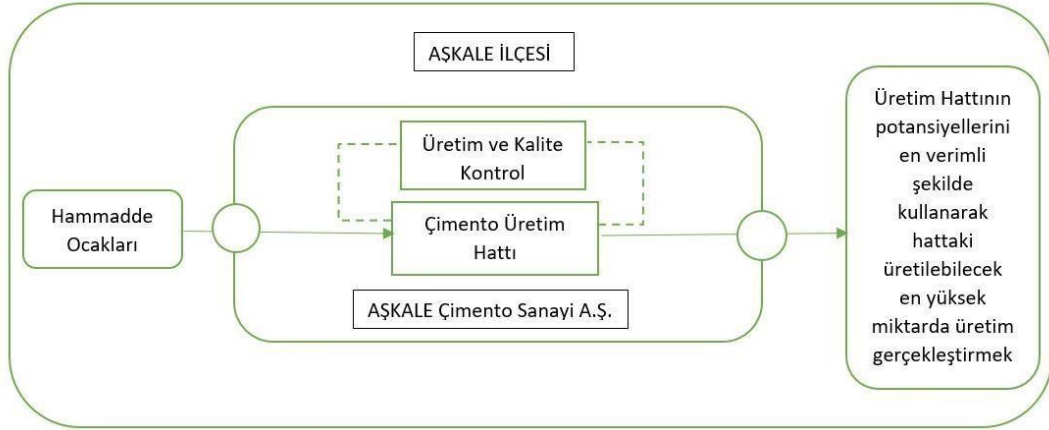
Tematik yaklaşım olarak da bilinen disiplinler arası yaklaşım kavramları bütününe içine alarak bir tema çevresinde bağlayarak sistemimizi etkileşimini ve tüm açılardan perspektifini almak amaçlanır.

Böylelikle bu çalışma yapılırken birbirinden bağımlı ve bağımsız ögelerin bir bütün olarak görülerek sistemin ana resminin çıkarılmasını sağlar.

### Sistem Analizi

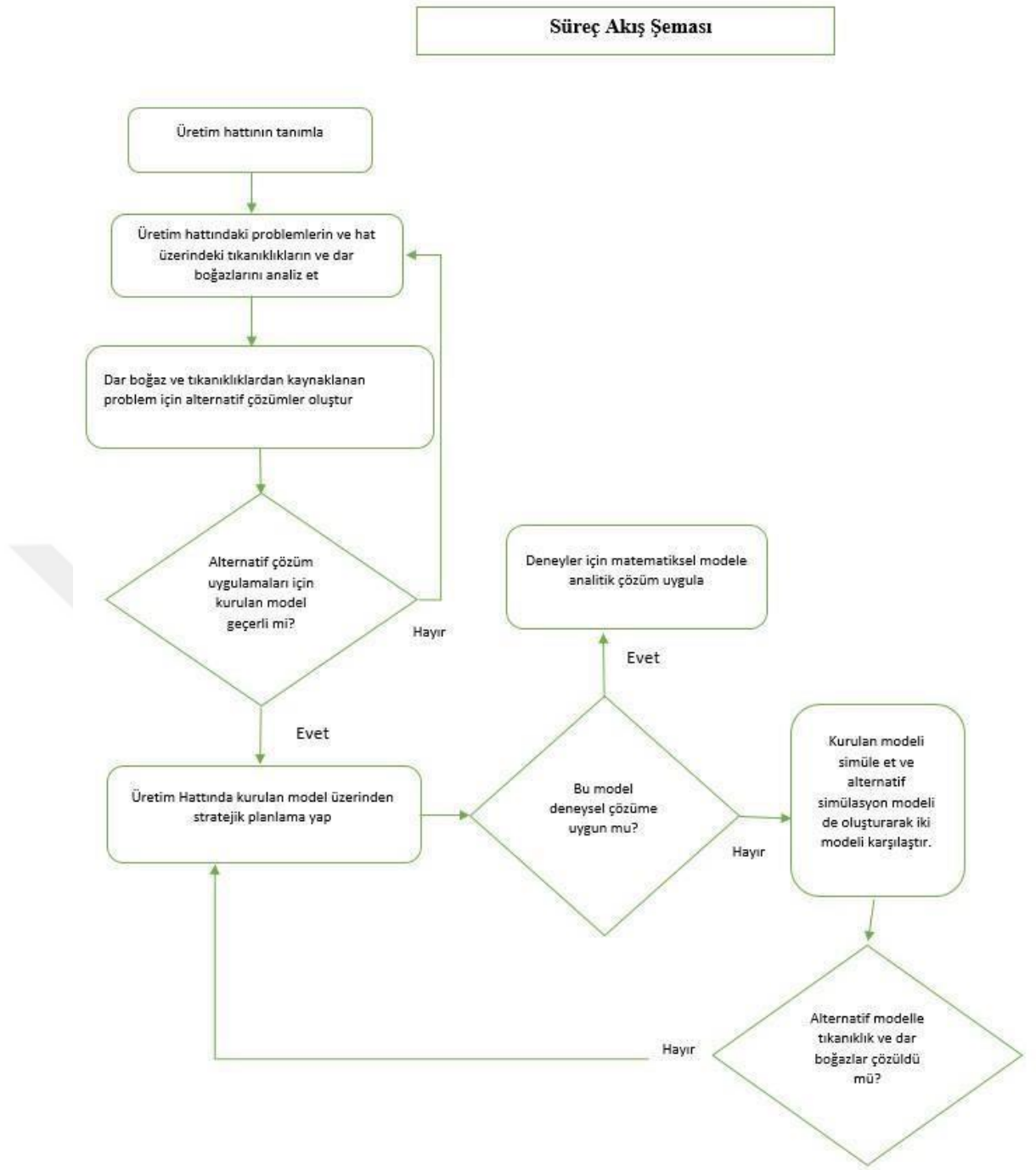
Her türlü makine, kendilerine özgü bir uyumluluk, düzen ve bütünlük içerisinde devamını sürdürmekte ve istenilen işlemleri yerine getirmektedir. Bu uyumluluk, düzen ve bütünlük aynı amaca ulaşma çabası olan parçaların, ilişkilerin ve eylemlerin oluşturduğu bir bütün içerisinde gerçekleşir. Bu bütünün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

Sistemin tüm senaryoları saptayabilmek, üretim hattında belirlediğimiz projelerin tanımlanmasını ve hattaki problemlerin en iyi şekilde tahlil edilerek projenin amacına ulaşması için sistem analizi kullanılmaktadır. Ağır sanayi kuruluşumuz olan çimento fabrikasında belirsizlik altında karar verilmesi gereken koşullarda gözlem ve analiz imkânı sunar. Amacımızı gerçekleştirmek darboğazları ve tıkanıklıkları çözümlenmede kullanılacak alternatif çözüm senaryolarının değerlendirilmesini planlanmasını sağlar.



Şekil 3. Fabrikanın detaylı sistem gösterimi

Üretim hattında belirsizlik altında karar vericilerle beraber sistemin bir bütün olarak görülmesine sistem analiziyle elde ettiğimiz süreç akış şeması aşağıda verilmektedir;



**Şekil 4.** Süreç akış şeması

### Simülasyon

Simülasyon kelimesi Latince’de “benzer” anlamına gelmekte sistemin gerek teorik gerek fiziksel ya da bilgisayar ortamında modellenerek sistemin davranışlarını öngörmek için kullanılan tekniktir. Sisteme getirilmek istenen yeniliklerin proje aşamasındayken incelediğimiz üretim hattında yaşanabilecek problemler ve davranışlarını izlemek amaçlanır. (Çelen, 2017)

İncelediğimiz üretim hattının istenilen kalite standartlarında, maliyetin en aza indirgenmesi ve

sistemde yapılan değişikliklerin vermiş olduğu eğilim ve tepkileri tahmin etmek amacıyla sistemin farklı farklı yatırım taleplerinin gözlemlenmesine olanak sağlar.

Simülasyon üretim hattımız için yatırımlara ve süreçlere yön verebilecek tarafsız bir sonuç sunar.

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)

Değişiklerin etkisini tahmin etmekte kullanılan simülasyon tekniğinin bazı araçları; genel amaçlı programlama dilleri, özel amaçlı simülatörler, Arena, AutoMod, CSIM, FluidFlow, Gepasi, JavSim, MedModel, Mesquite, Multiverse, , OPNET, Modeler, Simulat8, Powersim, SimBank, SimPlusPlus, TIERRA gibi programlar mevcuttur.

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 modellenebilir.
- 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.

## Veri Analizi

Üretim hattıyla ilgili bütün veriler toplanarak işlenmesiyle beraber analize hazır hale gelir. Verileri hazırlarken dikkat edilecek hususlar doğru bilgileri alarak verileri dönüştürme sürecidir. Veriler dönüştürülerek yorumlanmaya uygun hale getirilir.

Bu süreçte bilimsel araştırma yöntemlerinin en önemli basamağı olan doğru bilgilerden oluşan verileri istatistiksel yöntemlere göre işletme yöneticileri ve uzman kişileri tarafından analiz edilir.

Üretim hattından elde edilen verilerin karar vermede fikir ve yön veren değerlendirme sürecine veri analizi olanak sağlar. Üretim hattının ortaya konulması, üretim hattındaki parametreler ve hattaki ilişkiler tahmin edilebilmesi uygun dağılımın belirlenmesi ve tüm verilerin toplanması sürecidir. (Turan et al., 2014)

Örneğin, simülasyon yazılım programlarından olan arena programında rassal değişkenlerin teorik dağılımlarla modellenmesinde, teorik dağılımların isimlerinin ilk dört harfi kullanılır. Arenada modellemede kullanılan dağılımlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

**Tablo 7.** Arena Programında Kullanılan Dağılımlar

Dağılım (Parametre)	ARENA'da
Üstel (Exponential) Dağılım (ortalama)	EXPO(mean)
Normal Dağılım (ortalama, standart sapma)	NORM(mean, StdDev)
Üçgensel (Triangular) (Min,Mod,Max)	TRIA (Min, Mode, Max)
Erlang (üstel dağılımın ortalaması, k)	ERLA (ExpoMean,k)
Beta (beta,alpha)	BETA (beta,alpha)
Poisson (ortalama)	POIS (mean)
Weibull (beta,alpha)	WEIB (beta,alpha)
Sürekli Ampirik Dağılım (birikimli olasılık, değer)	COUNT (P1,V1,...)
Kesikli Ampirik Dağılım ((birikimli olasılık, değer)	DISC (P1,V1,...)

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Sistem

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 Amacı

Üretim hattımızı simülasyon kullanılarak hattaki boşlukların ve sahada tıkanıklıkların tanımlanması yaşanabilecek problemlerin öngörümü ve gelecekteki davranışı tespit edilmeye çalışılmıştır.

## **Sistemin Hedefi**

Üretim hattımızdaki makinelerin optimum kullanımı sağlayarak hattaki yapılacak yatırımlarla beraber hedeflediğimiz kâra ulaşabilmektir.

## **Sistemin Öğeleri**

### **Gezen Birimler**

- Hammadde
- Bilgi (merkezi otomasyon sistemi)
- Müşteriler

### **Kaynaklar**

- Makineler
- Silolar
- Hammadde yükleyicileri

### **Taşıyıcılar**

- Kamyonlar
- Konveyör sistemi

## **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 Çıktıları**

- Rapor (üretim miktarı)
- Hizmet (talebi karşılanmış müşteriler)

## Mevcut Durum

Çimento fabrikasında kili Karahasan ve Pırnakaban köyü'nden çıkarılıp fabrikaya taşınmakta, kalker ise Kaban Dağı'ndan çıkmaktadır. Üretimde kullanılan her iki hammadde de patlayıcı madde ve iş makinesi kullanılarak çıkarılmaktadır. Ruhsatlı sahalardan çıkarılıp kamyonlara yüklenen hammaddeler tartım işlemi sonrasında kırılma işlemine tabi tutulmak üzere konkasöre gönderilir. Konkasörde kırılan hammadde bantlarla homojenizasyonu yapılmak üzere (Preblending -Ön homojene-) iletilir. Kalkerin kimyasal bileşimindeki sapmaları mamül kalitesini dolayısıyla da çimento kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle bu sapmaların asgariye indirilmesi için ön homojenleştirme işlemine tabi tutulur.

Döner tabla ve dönen valslerden oluşan dik farin değirmeninden un halinde ve rutubeti atmış olarak çıkan hammadde "farin" adını alır. Farin silosunda tartılarak alınan farin siklonlardan oluşan bir ön ısıtıcı kuleye beslenir. Farin 30 °C den 1000 °C ye kadar ısıtılarak %90 oranında kalsine olur. Oradan döner fırına giren hammadde çıkışta soğutucuda 150 °C ye düşürülür ve çıkan malzeme "klinker" adını alır. Klinker Stok holüne taşınır. Kömür değirmeni üretim hattında direk ter almamakta döner fırını üretim hattındaki görevi döner fırını ısıtmaktır. Çimento değirmeni fırından çıkan klinker yüzde beş alçı taşı ve katkı maddesi katılarak bu ünite de öğütme işlemi gerçekleştirilir. Çimento üretiminin son aşaması gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 8.** Hammadde Ocakları

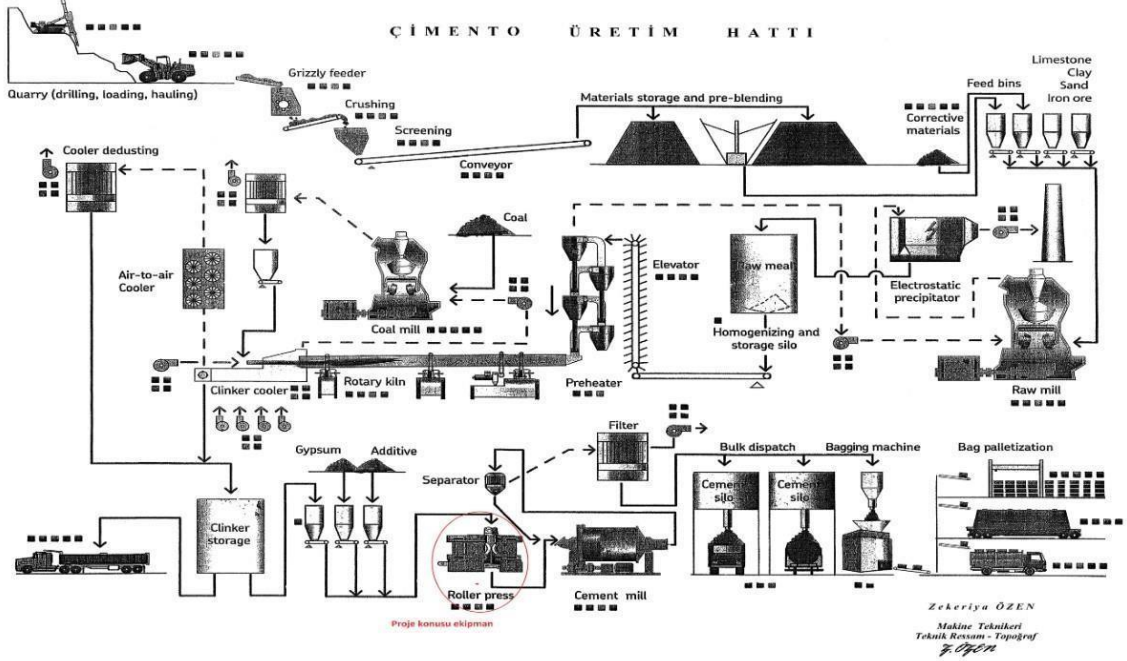
Kil Ocakları	Karahasan ve Pırnakaban köyü mevki
Kalker Ocakları	Kaban Dağı
Alçıtaşı Ocakları	Taşagıl, Topalçavuş, Büyükgeçit ve Yaylımlı köyü mevki
Tras Ocakları	Bayburt ili ve Kop Dağı mevki

**Tablo 9.** Hammadde Rezerv Miktarları

Kaban Dağı kalker ocağı öngörülen rezerv miktarı	12.000.000 ton
Taşagıl köyü alçıtaşı ocağı öngörülen rezerv miktarı	1.6000.000 ton
Karahasan köyü kil ocağı öngörülen rezerv miktarı	2.100.000 ton
Bayburt ili tras ocağı öngörülen rezerv miktarı	4.000.000 ton

## Alternatif Model

Üretim hattında tıkanıklıkların en çok olduğu bölüm olan klinker, alçıtaşı ve trasın besleme bunkerinden çimento değirmenine giderek orada kendi ana işlemi öncesinde büyük parçaların kırılması için çok zaman kaybetmektedir. Şekil 5'te gösterildiği gibi çimento değirmeni öncesinde bir kırılma işlemi gerçekleştirerek çimento değirmeninin işlem süresini kısaltacak bir makine olan roller pres makinesi eklenecektir.



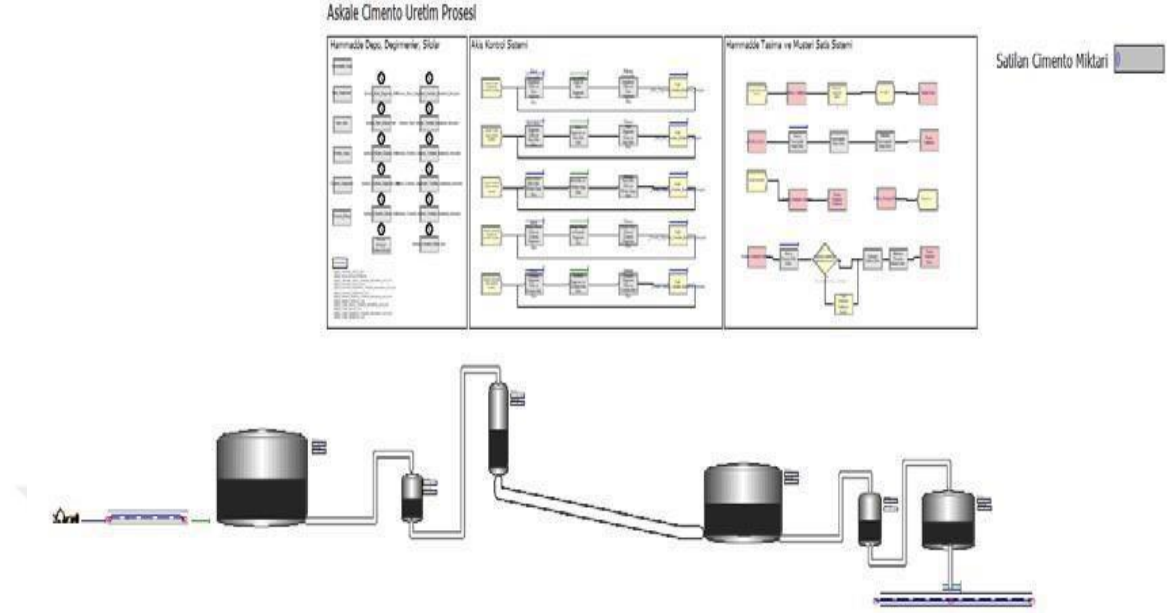
Şekil 5. Alternatif fabrika üretim hattı

## Sistemin Simülasyonla Gösterimi

### Mevcut Durumun Arena Programında Simülasyonu

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 üretiliyor. Üretim hattındaki dar boğaz ve tıkanıklıkları daha iyi

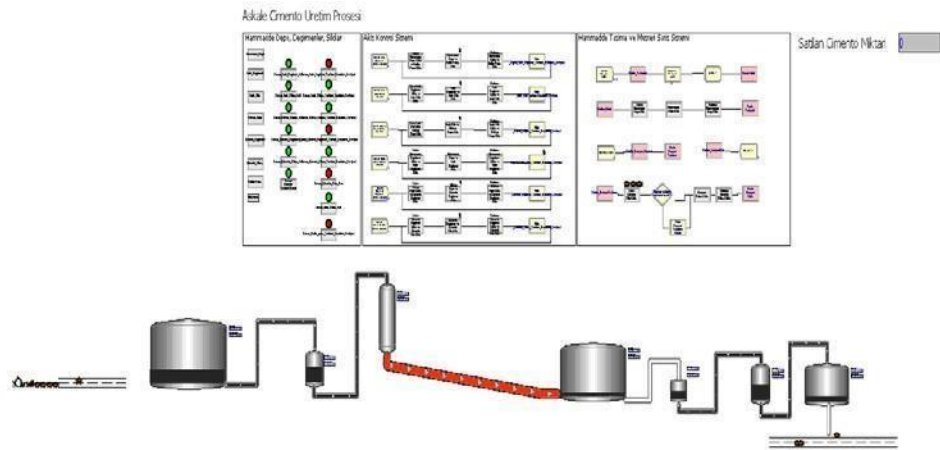
analiz ve gözlem imkânı sunarak çözüm üretmemizi sağlamak için incelenen ilk model fabrikanın şu an ki üretim hattının modelidir.



Şekil 6. Üretim hattının mevcut durum simülasyonu

### Alternatif Durumun Arena Programında Simülasyonu

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



Şekil 7. Üretim hattının alternatif durum simülasyonu

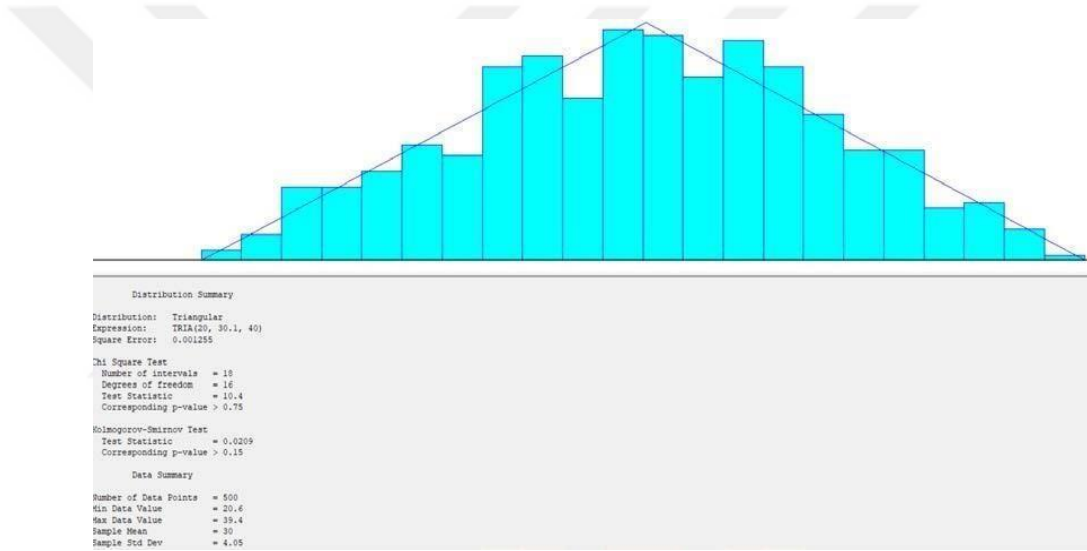
### Modelin Oluşturulması

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.

## Verilerin Toplanması

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;

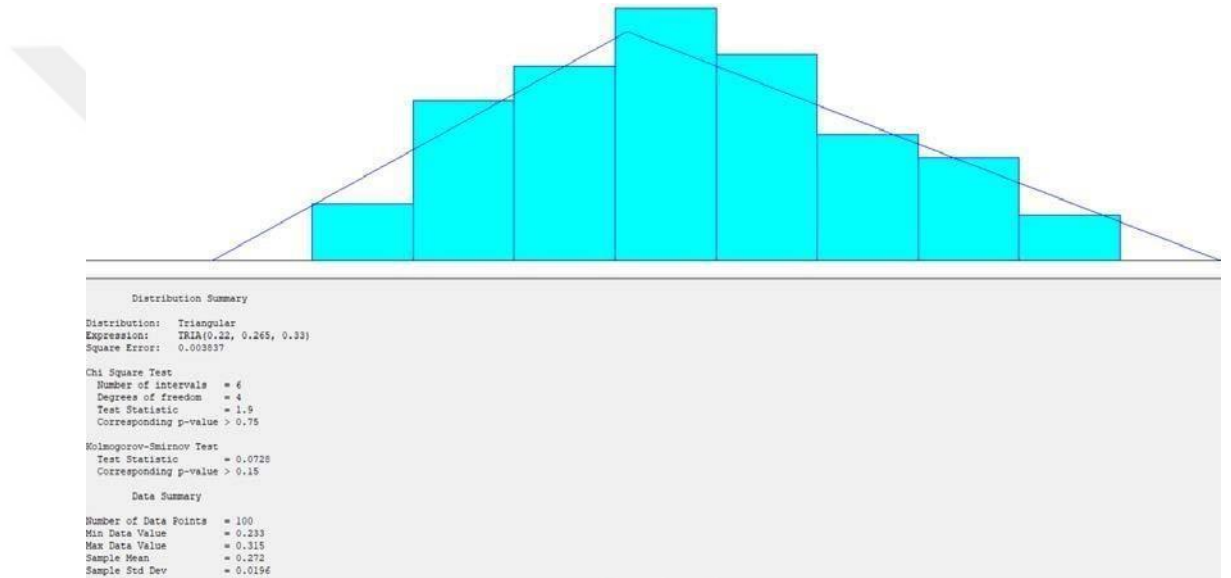


**Şekil 8.** Kamyon hammadde miktarının input analyzer'da belirlenmesi

Şekil 8'de 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.

**Şekil 9.** Kamyon hammadde miktarının sisteme girilmesi

Kamyonların taşıdığı hammadde miktarının dağılımı TRIA (20, 30,1, 40) olarak bulunmuştur ve sisteme bu şekilde girilmiştir. Ocaklarda kamyonlara yüklenen hammaddelerin ne kadar sürede yüklendiğini programın input analyzer bölümüne, alınan 100 verinin girilmesiyle şu şekilde bulunmuştur;



**Şekil 10.** Kamyon hammadde yükleme sürelerinin input analyzer'da belirlenmesi

Şekil 10'da görüldüğü üzere hata karesi en küçük olan en uygun dağılım TRIA (0,22, 0,265, 0,033) olarak bulunmuştur. Bulunan dağılım için  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde  $\chi^2$  uygunluk testi gerçekleştirilmiştir. Bu teste ilişkin hipotezler  $H_0$ : Örneklem verisi TRIA (0,22, 0,265, 0,033) dağılımından gelir ve  $H_1$ : Örneklem verisi TRIA (0,22, 0,265, 0,033) dağılımından gelmez şeklinde oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre  $\chi^2 = 1,9$  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 (0,22, 0,265, 0,033) dağılımı simülasyonda kullanılabilir.

Process

Name: Process Yükleme Aracı Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources: Resource, R, Yukleyici, 1  
<End of list>

Delay Type: Expression Units: Hours Allocation: Value Added

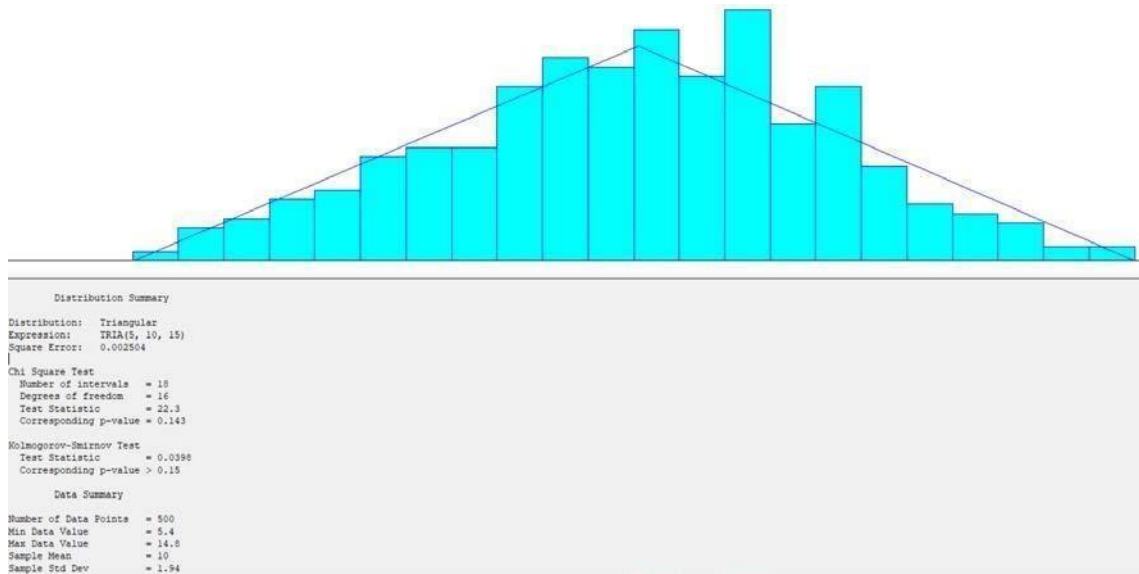
Expression: TRIA(0,22, 0,265, 0,33)

Report Statistics

OK Cancel Help

**Şekil 11.** Kamyon hammadde yükleme süresinin sisteme girilmesi

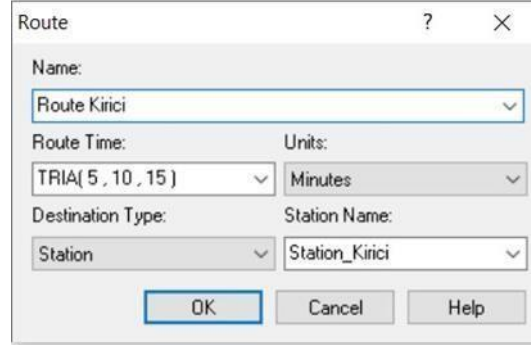
Kamyonların yüklenme süresinin dağılımı TRIA (0,22, 0,265, 0,033) olarak bulunmuştur ve sisteme bu şekilde girilmiştir. Gelen hammaddenin üretime girmeden belirli bir standart boya ulaşması gerekir. Aksi bir durumda enerjide, kalitede, malda ve iş gücünde büyük kayıplarla karşılaşmaktadır. Çimento için gerekli olan kimyasal bileşimin oluşturulmasında iyi öğütülmüş ve homojenize edilmiş hammaddenin indirgenemeyecek kadar önemlidir. Kırıcı kapasite bakımından ve alt kısmında ızgara ve elek olmadığından diğer kırıcılardan farklılık göstermektedir. Ocaklarda yüklenen kamyonların kırıcıya gelme süreleri input analyzer bölümüne, alınan 500 verinin girilmesiyle şu şekilde bulunmuştur;



**Şekil 12.** Kamyonların kırıcıya gelme sürelerinin input analyzer’da belirlenmesi

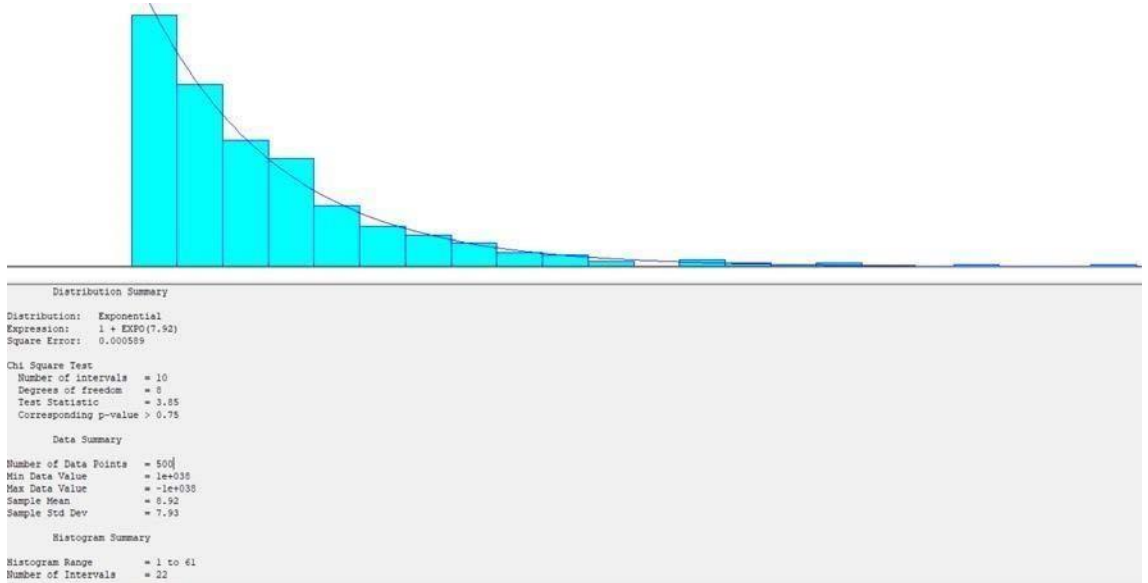
Şekil 12’de görüldüğü üzere hata karesi en küçük olan en uygun dağılım TRIA (5, 10, 15) olarak bulunmuştur. Bulunan dağılım için  $\alpha=0,05$  anlam düzeyinde  $\chi^2$  uygunluk testi gerçekleştirilmiştir. Bu teste ilişkin hipotezler  $H_0$ : Örneklem verisi TRIA (5, 10, 15)

dağılımından gelir ve H1: Örneklem verisi TRIA (5, 10, 15) dağılımından gelmez şeklinde oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre  $\chi^2 = 22,3$  ve P değeri 0,143 olarak tespit edilmiştir. P değeri=0,143 >  $\alpha=0,05$  olduğu için H0 hipotezini reddedecek istatistiksel kanıt bulunamamıştır ve bu nedenle H0 hipotezi kabul edilmiştir. Buna göre girdi analizi sonucu tedarik süresi için belirlenen TRIA (5, 10, 15) dağılımı simülasyonda kullanılabilir.



**Şekil 13.** Kamyon kırıcıya gelme süresinin sisteme girilmesi

Kamyonların yüklenme süresinin dağılımı TRIA (5, 10, 15) olarak bulunmuştur ve sisteme bu şekilde girilmiştir. Geliş modülü ile 100 kamyon aracılığıyla sisteme gelişi sağlanmıştır. Merkez noktalarından araç rota ile dağıtım işlemine başlayan araçlar belirtilmiş olan ilk istasyona gelerek hammadde teslimi ile rotasına devam etmektedir. Gelişler arası süre hammadde depolama alanına giren iki kamyonun girişleri arasında geçen süredir. Gelişler arası süreler her birinde farklılık gösterebilir. Gelişler arası süre programın input analyzer bölümüne, gözlenen 500 verinin girilmesiyle şu şekilde bulunmuştur;

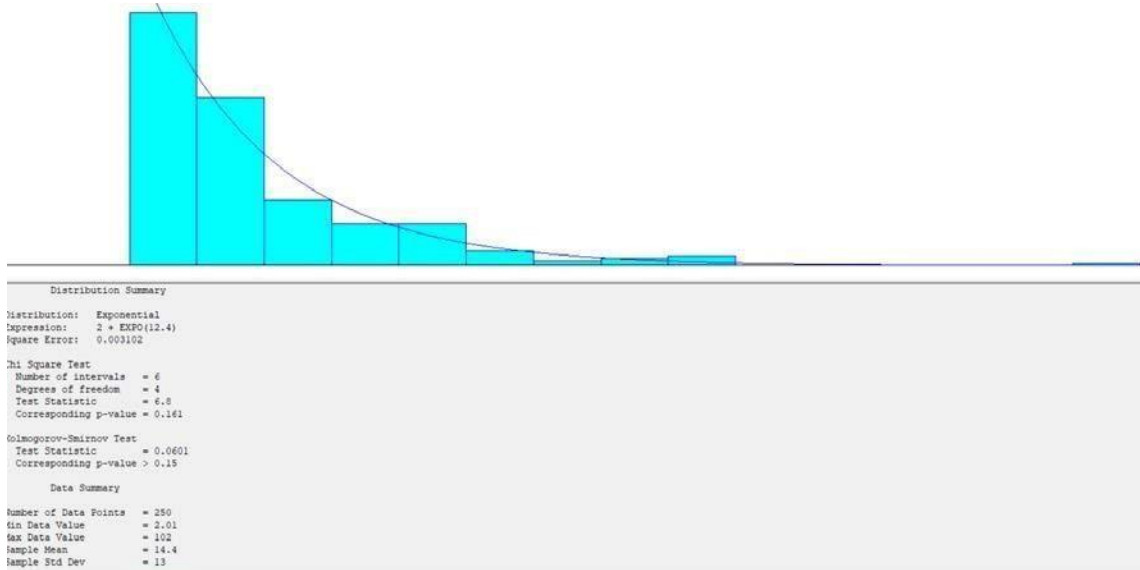


**Şekil 14.** Kamyon ocağa gelişler arası sürenin input analyzer'da belirlenmesi

Şekil 14'te görüldüğü üzere hata karesi en küçük olan en uygun dağılım  $1 + \text{EXPO}(7,92)$  olarak bulunmuştur. Bulunan dağılım için  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde  $\chi^2$  uygunluk testi gerçekleştirilmiştir. Bu teste ilişkin hipotezler  $H_0$ : Örneklem verisi  $1 + \text{EXPO}(7,92)$  dağılımından gelir ve  $H_1$ : Örneklem verisi  $1 + \text{EXPO}(7,92)$  dağılımından gelmez şeklinde oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre  $\chi^2 = 3,85$  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  $1 + \text{EXPO}(7,92)$  dağılımı simülasyonda kullanılabilir.

**Şekil 15.** Kanyon gelişler arası sürenin sisteme girilmesi

Gelişler arası sürenin dağılımı  $1 + \text{EXPO}(7.92)$  olarak bulunmuştur ve sisteme bu şekilde girilmiştir. Müşteri gelişler arası süre, iki müşterinin girişleri arasında geçen süredir. Gelişler arası süreler her birinde farklılık gösterebilir. Gelişler arası süre programın input analyzer bölümüne, gözlenen 250 verinin girilmesiyle şu şekilde bulunmuştur;



**Şekil 16.** Müşteri gelişler arası süresinin input analyzer'da belirlenmesi

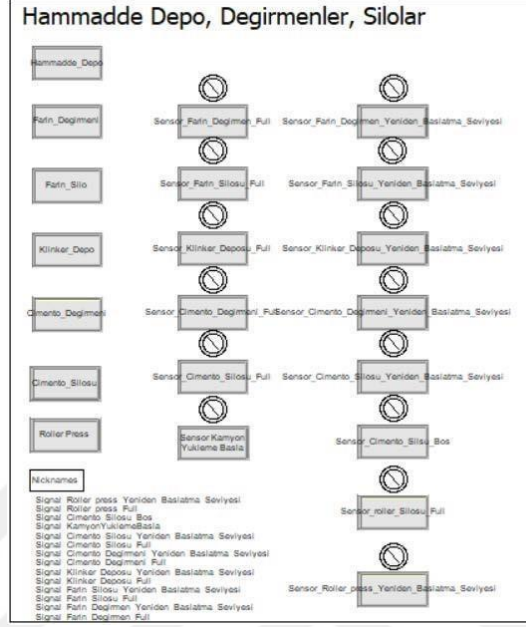
Şekil 16'da görüldüğü üzere hata karesi en küçük olan en uygun dağılım  $2 + \text{EXPO}(12,4)$  olarak bulunmuştur. Bulunan dağılım için  $\alpha=0,05$  anlam düzeyinde  $\chi^2$  uygunluk testi gerçekleştirilmiştir. Bu teste ilişkin hipotezler  $H_0$ : Örneklem verisi  $1 + \text{EXPO}(7,92)$  dağılımından gelir ve  $H_1$ : Örneklem verisi  $2 + \text{EXPO}(12,4)$  dağılımından gelmez şeklinde oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre  $\chi^2 = 6,8$  ve P değeri 0,161 olarak tespit edilmiştir. P değeri  $= 0,161 > \alpha = 0,05$  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  $2 + \text{EXPO}(12,4)$  dağılımı simülasyonda kullanılabilir.

Şekil 17. Müşteri gelişler arası sürenin sisteme girilmesi

Müşterilerin gelişler arası süre dağılımı  $2 + \text{EXPO}(12,4)$  olarak bulunmuştur ve sisteme bu şekilde girilmiştir.

Şekil 18. Run setup menü

Modelde darboğazları gidermek için Şekil 18’deki gibi 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.

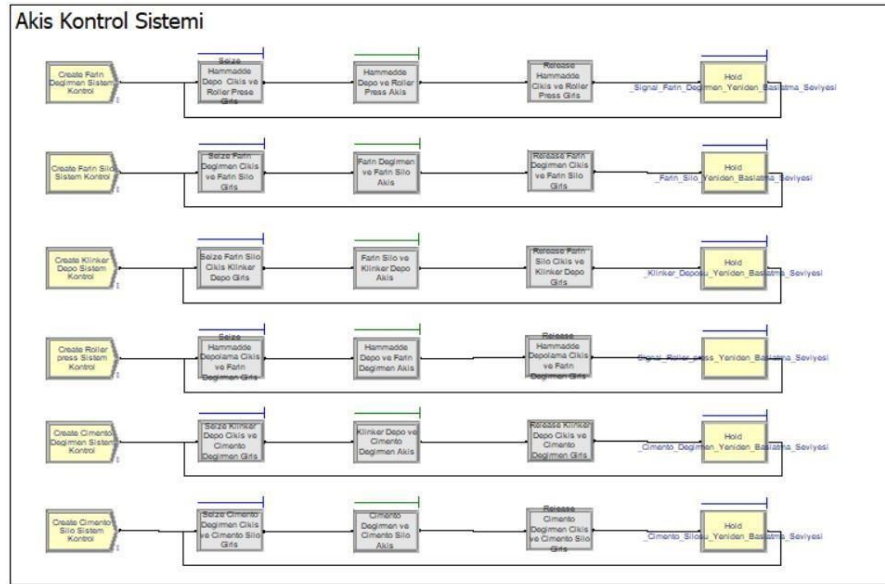


Şekil 19. Makineler ve depolama alanları

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. Bu seviye çimento değirmeni için Şekil 20’de gösterildiği gibidir.

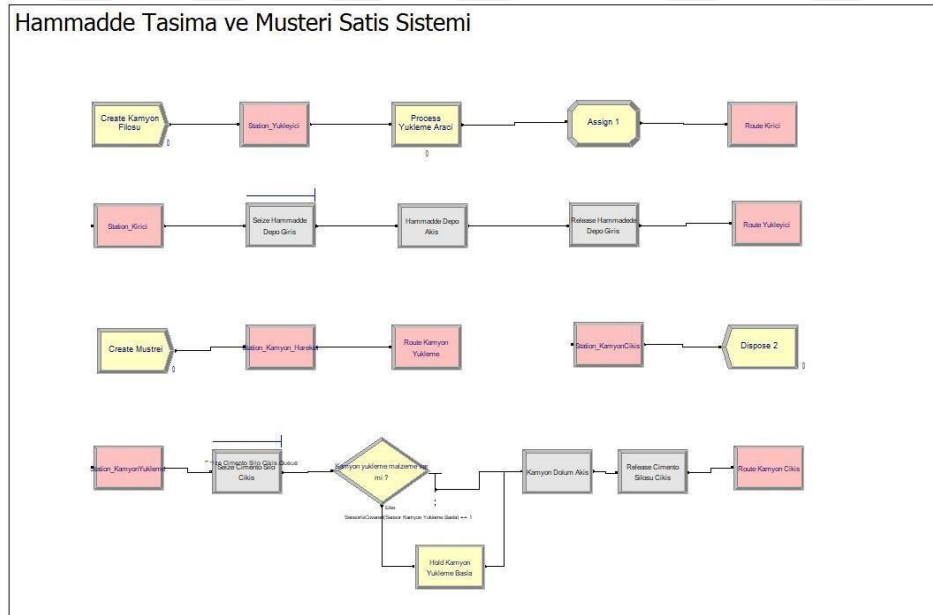
The screenshot shows the 'Tank' configuration dialog box. The 'Name' field is set to 'Cimento\_Degirmeri'. The 'Capacity' is 90 and the 'Initial Level' is 10. The 'Regulators' list contains 'Cimento\_Degirmeri.Regulator\_0'. The 'Use As Packaging Tank' section is unchecked. The 'Animation' and 'Report Statistics' checkboxes are checked.

Şekil 20. Çimento değirmeni kapasite bilgisi



Şekil 21. Merkezi otomasyon sistemi

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.



Şekil 22. 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.

## Sonuçların Analizi

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 artırmıştır.

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 23. Mevcut model her bir iş istasyonunun kullanımı

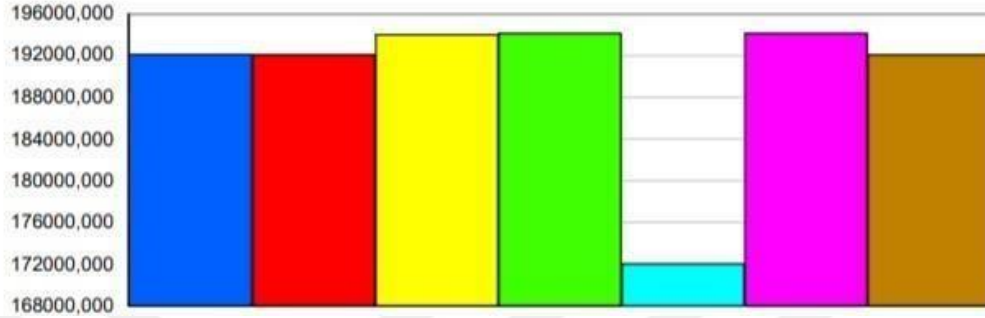
Mevcut Model Hat Üretim Hızı = (Çıkan varlık sayısı) / (Toplam simülasyon zamanı)  
= 6946/59 = 117,72 ürün/gün

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)  
= 7412/59 = 125,64 ürün/gün

Roller presin 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 24. Alternatif model her bir iş istasyonunun kullanımı

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

Tablo 10. 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
Farin Değirmeni	170136,62	171389,41	170798,45	192779,38	194535,69	193959,51	13,56
Farin Silo	170136,62	171389,41	170798,45	192939,38	194695,69	194117,06	13,65
Hammadde Depo	154091,81	155370,25	154720,55	170680,58	172594,52	171995,44	11,17
Klinker Depo	170136,62	171389,41	170798,45	186974,84	194995,93	194117,06	13,65

Öğütme bölümüne roller pres eklenerek üretim kapasitesi %6,08 satış miktarını ise

%6,73 arttırılabilir. Üretim kapasitesi Tablo 10'da gösterilmiştir.

**Tablo 11.** 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 11’de gösterilmiştir. Fabrikanın beklentisi enerji tasarrufu ve bakım maliyetlerinde düşüş olacağı yönündedir. Tüm bunları göz önünde bulundurarak roller pres makinesinin amortisman süresi ve 10 yıllık kar faaliyetleri öngörülme için başa baş analizi yapılmıştır. Mevcut üretim hattımızda arena simülasyon programının çimento üretim miktarını yıllık 1094548 ton olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veri üretim miktarı verisi gerçek üretim hattındaki üretimle örtüşmektedir. Yapılan yatırımdan sonra koyulan roller pres 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 pres 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 tl'dir. Çimento Değirmeni enerji tüketiminin roller pres yatırımından sonra diğer şehirlerdeki elde edilen veriye göre 53 kwh/tondan 44 kwh/tona düşeceği öngörülmüştür. Değirmenden hesaplanan yıllık tasarruf  $(53-44) \times (1309090-1094548) \times 0,7102=1371309$  TL olarak hesaplanmıştır.

Amortisman Süresi

$$1371309+16584000+501441=18456750$$

Roller Pres yatırım maliyetimiz 30.000.000 TL olup

$$30.000.000/18456750 = 1,6 \text{ yıldır.}$$

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 pres 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 pres 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 sunmuştur.

## KAYNAKLAR

- Abnt Nbr 16697. (2018). Cimento Portland, Requisitos. In Associação Brasileira De Normas Técnicas.
- Aktürk, B., Ulukaya, S., Kizilkanat, A. B., ve Yüzer, N. (2017). Yüksek Fırın Cürufu Esaslı Harçların Sıva Olarak Tarihi Yapılarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu.
- Babu, S., Murugan, N., Amudhan, M., & Lagnesh, T. S. (2020). Fault Diagnosis and Root Cause Failure Analysis of Press Roller Mill for Heavy Industry. Lecture Notes in Mechanical Engineering.
- Calis, S., ve Ergul, R. (2012). The Views of Teacher Candidates on the Project Management Competencies. Procedia - Social and Behavioral Sciences.
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 Ve SiMülasyon. International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry.
- Chen, T., Wang, L. C., and Chiu, M. C. (2018). A multi-granularity approach for estimating the sustainability of a factory simulation model: semiconductor packaging as an example. Operational Research.
- Çimento Fabrikası , Türk Teknoloji Tarihi , İstanbul Darülfünûnu Edebiyat Fakültesi Tarihçesi ve İlk Meclis Zabıtları. (2011). Osmanlı Bilimi Araştırmaları.
- Dogan, U. A., and Ozkul, M. H. (2015). The effect of cement type on long-term transport properties of self-compacting concretes. Construction and Building Materials.
- Durmaz Edeer, A., and Dicle, A. (2015). Use of Simulation in Nursing Education and Simulation Types. Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi.
- Folsberg, J. (1991). A new generation of high efficiency separators for ball mills and roller presses. ZKG International.
- Ghosh, S. . (2013). Working capital management Efficiency: A Study on the Indian Cement Industri. Journal of Management Accountant. Journal of Chemical Information and Modeling.
- Heshmat, M., El-Sharief, M. A., and 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., and Chung, C. A. (2002). Simulation modeling and analysis issues for high-speed combined continuous and discrete food industry manufacturing processes. *Computers and Industrial Engineering*.
- Kapkaç, F. (2013). Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri ve Üretim Aşamaları. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*.
- Katkı, Ç., Olarak, M., Doğal, K., Ekolojik, P., Hadaan Taban, E., Süleyman Gökçe, H., & İbrahim Abama, H. (2012). Ecological Effects of Natural Pozzolans Used Additive Material in Cement. *Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt Digital Object Identifier*.
- Kelimeler, A., Yakıtlar, A., & Hammaddeler, A. (2011). An Example Of Alternative Fuel Use In Producing Clinker Products: Akcansa Buyukcekmece Cement Plant. *Journal of New World Sciences Academy*.
- Kilic, I., Gok, S. G., & Savas, A. O. (2019). Silindirle Sıkıştırılmış Betonlarda Su/Çimento Oranı Değişiminin Dayanım, Ultrases Geçiş Hızı ve Elastisite Modülü Üzerindeki Etkileri. 1. Beton Yollar Kongresi ve Sergisi
- Kızıl, H., & Şendir, M. (2019). Innovative approaches in nursing education ,Hemşirelik eğitiminde inovatif yaklaşımlar. *Journal of Human Sciences*.
- Koçak, Y. (2019). Diatomit İkameli Betonların Sodyum Klorür Etkisine Karşı Performansı. *ElCezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*.
- Korkmaz, A. V. (2019). Çimento Üretiminde Kil Ham Maddesine Alternatif Olarak Çamurtaşının Kullanılabilirliği. *Bilimsel Madencilik Dergisi*.
- Kutlu, H., & Ağ, A. R. (2016). Üretim İşletmeleri Açısından Safha Maliyet Sisteminin İncelenmesi: Aşkale Çimento Fabrikasında Bir Uygulama. *Iğdır Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.
- Mas, B., Cladera, A., Bestard, J., Muntaner, D., López, C. E., Piña, S., & Prades, J. (2012). Concrete with mixed recycled aggregates: Influence of the type of cement. *Construction and Building Materials*.
- Moore, M. (2015). Uzaktan eğitim: çevrimiçi öğrenmede sistem yaklaşımı. *AUAd*.
- Ordu, Ş., & Öztürk, E. (2017), Çimento Fabrikalarında Alternatif Hammadde ve Yakıt Kullanımı: Örnek Çalışma Alternative Usage of Raw Material and Fuel in Cement Plants:

Case Study. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi.

Paksoy, S. (2018). Karma Kısıtlı Optimizasyon Problemleri Ve Çözüm Algoritması. Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute.

Romanovich, A. A., Romanovich, M. A., & Apukhtina, I. V. (2018). Research kinetic of motion of milling bodies in ball mill, outfit heat-exchange unit and calculation of its energy performance. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Şahin, H. T., Kaya, A. İ., Yalçın, Ö. Ü., Kılınçarslan, Ş., Şimşek, Y., & Mantanis, G. I. (2019). Çimento Esaslı Odun Kompozit Malzemelerin Üretim Prosesi Ve Özellikleri Üzerine Bir Çalışma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.

Sarıççek, İ., & Yüzügüllü, N. (2003). Çok-Ajanlı Melez Atölye Yönetim Sistemi. Endüstri Mühendisliği Dergisi.

Şekkeli, Z. H., & Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Lojistik 4.0. Journal Of Life Economics.

Singh, L. P., Karade, S. R., Bhattacharyya, S. K., Yousuf, M. M., & Ahalawat, S. (2013). Beneficial role of nanosilica in cement based materials - A review. In Construction and Building Materials.

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.

Tong, J., Zhang, Q., Guo, L., Chang, Y., Guo, Y., Zhu, F., Chen, D., & Liu, X. (2015). Compaction Performance of Biomimetic Press Roller to Soil. Journal of Bionic Engineering.

Mustafa Kemal Şan, T., İsmail Hira, B., Mustafa Kemal Şan, B., S., Kemal Şan, M., Hira, İ., & Toplumuna Giden Yolda Yeni Etik Arayışı, T. (2004). Modernlik ve Postmodernlik Bağlamında. Bilgi.

Turan, S., Karadağ, E., Bektaş, F., & Yalçın, M. (2014). Türkiye'de Eğitim Yönetiminde Bilgi Üretimi: Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi Dergisi 2003-2013 Yayınlarının İncelenmesi. Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi Dergisi.

Tüzemen, A., & Yıldız, Ç. (2018). Geleceğe Yönelik Tahminleme Analizi: Türkiye Çimento Üretimi Uygulaması. Yönetim Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi.

- van Breugel, K. (1995). Numerical simulation of hydration and microstructural development in hardening cement-based materials. (II) applications. Cement and Concrete Research.
- Van Der Meer, F. P., & Schnabel, H. G. (1997). The effect of roller press grinding on ball milling energy. *Erzmetall: Journal for Exploration, Mining and Metallurgy*.
- Yurdun Orbak, A. (2009). Bir otomotiv yan sanayi firmasında tek modelli ve karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi.



## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
<b>Adı Soyadı:</b>	Pınar Münevver ASLAN
<b>Doğum tarihi:</b>	11.07.1996
<b>Doğum Yeri:</b>	Denizli
<b>Uyruğu:</b>	T.C.
<b>Adres:</b>	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
<b>Tel:</b>	
<b>E-mail:</b>	pinarmunevveraslanmail.com
Eğitim	
<b>Lise:</b>	Özel Metropol Lisesi
<b>Lisans:</b>	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
<b>Yüksek lisans:</b>	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
	İngilizce:Gelişme