

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**BENZETİM YOLUYLA MONTAJ HATTI
İYİLEŞTİRME UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:
Muhammed Cevdet EREN

İstanbul, 2019

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**BENZETİM YOLUYLA MONTAJ HATTI
İYİLEŞTİRME UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:
Muhammed Cevdet EREN

Öğrenci No:
150892008

Danışman:
Dr. Öğr. Üyesi Sabahattin Kerem AYTULUN

İstanbul, 2019

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Benzetim Yoluyla Montaj Hattı İyileştirme Uygulaması” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiği ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 23 /05 /2019

Muhammed Cevdet EREN



T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

Beykent Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 150.892.008..no'lu M.Cevdet Eren'in 13/06/19 tarihinde yapılan tez savunma sınavı¹ sonucunda.. 68 dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında² oybirliğiyle, KABUL kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı : Endüstri Mühendisliği
Tez Başlığı³ : Benzetim yoluyla Montaj Hattı iyileştirme Uygulaması

Tez Sınav Jürisi

Öğretim Üyesi

İmza

Danışman

: Dr. Öğr. Üyesi Sabahattin Keren Aytulun

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Sezgin Kılıç

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Gürbüt Ünal

¹ Jüri üyeleri, söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45, en çok 90 dakikadır. Jüri üyeleri, sınav öncesi yapılacak toplantıda, kendi aralarından danışman dışında bir üyeyi başkan seçer. Tez sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-cevap bölümünden oluşur. Tez sınavı, öğretim elemanları, lisansüstü öğrenciler ve alanın uzmanlarından oluşan dinleyicilerin katılımına açık ortamlarda gerçekleştirilir. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda, jüri en geç on beş gün içinde toplanarak adayı tez savunma sınavına alır. (05 Ağustos 2017 tarihli 30145 sayılı Resmi Gazetede Yayınlanan Değişiklik-Madde 29-3)

² Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında salt çoğunlukla “kabul”, “düzeltme” veya “ret” kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış karar tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve birinci fıkradaki usule göre tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Süresi içerisinde “düzeltme” savunmasına girmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. (Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde 29-4)

³ İleride doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

Adı ve Soyadı : Muhammed Cevdet EREN
Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Sabahattin Kerem AYTULUN
Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans, 2019
Alanı : Endüstri Mühendisliği
Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik Panel, Simülasyon, Montaj Hattı

ÖZ

BENZETİM YOLUYLA MONTAJ HATTI İYİLEŞTİRME UYGULAMASI

Bu çalışmada, fotovoltaik panel üretimi yapan bir firmanın, üretim sisteminde insan faktörünü dikkate alan etmen (ajan) tabanlı simülasyon yaklaşımından bahsedilecektir. İlk olarak güneş enerjisi hakkında genel bir bilgi verilip, Türkiye de güneş enerjisi sektörü hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Fotovoltaik üretim hattı, süreçleri, solar panel üretiminde kullanılan malzemeler açıklanacak, Montaj hattı dengeleme ile alakalı literatür araştırması sonucu elde edilen bilgiler verilecektir.

Simülasyon kullanım alanları, literatür araştırmasından elde edilen bilgilere yer verdikten sonra etmen tabanlı simülasyonu destekleyen Anylogic versiyon 8.4 programı kullanılarak yapılan Benzetim yoluyla montaj hattı iyileştirme uygulaması kısa bir bilgilendirme yapılmasının ardından bir üretim ortamının etmen tabanlı olarak modellemesine ait uygulamadan bahsedilecektir.

Üretim tesisinin şuandaki durumuna iyileştirmeye yönelik tavsiyelerde bulunan çalışmalar gösterildikten sonra simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların gerçek sisteme uygulanması konusunda ilgili firmada çalışma yapılacaktır.

Name and Surname : Muhammed Cevdet EREN
Supervisor : Asist. Prof. Dr. Sabahattin Kerem AYTULUN
Degree and Date : Master, 2019
Major : Industrial Engineering
Keywords : Photovoltaic Modul, Simulation, Assembly Line

ABSTRACT

APPLICATION OF INSTALLATION LINE IMPROVEMENT BY SIMULATION

In this study, the agent-based simulation approach which takes into account the human factor in the production system will be discussed. First, whether a general knowledge about solar energy, Turkey will also be informed about the solar energy industry. Photovoltaic production line, processes, materials used in the production of solar panels will be explained, information obtained as a result of literature search related to assembly line balancing will be given.

Simulation application areas, using the information obtained from the literature research, using the Anylogic version 8.4 program that supports the agent-based simulation. After a brief briefing of the assembly line optimization by simulation, the application of the modeling of a production environment as an agent-based will be mentioned.

The results of the simulation will be shared after the studies that give recommendations to improve the production facility to the current situation are shown. The study will be carried out in the relevant company for the application of the results obtained in this study to the real system.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xi
GİRİŞ.....	1

Birinci Bölüm GÜNEŞ ENERJİSİ

1. GÜNEŞ ENERJİSİ TANIMI.....	2
1.1. Güneş Enerjisinin Gelişiminin Tarihçesi	3
1.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Gelişimin Tarihçesi	4
1.1.2. Türkiye de Kurulu Fotovoltaik Sistem Kapasitesi	7

İkinci Bölüm FOTOVOLTAİK PANEL ÜRETİMİ

2. TÜRKİYE DE FOTOVOLTAİK PANEL ÜRETİMİ	9
2.1. Fotovoltaik Panel	10
2.1.1. Fotovoltaik Panel Kullanmanın Faydaları.....	11
2.1.2. Fotovoltaik Panel Çeşitleri	12
2.1.2.1. Polikristal Fotovoltaik Paneller	13
2.1.2.2. Monokristal Fotovoltaik Paneller	14
2.1.2.3. İnce Film Paneller	15
2.1.3. Fotovoltaik Panel Üretiminde En Son Teknolojiler	16
2.1.3.1. Yarım (Half Cut) Hücre ile Fotovoltaik Panel Üretimi.....	16
2.1.3.2. Çift Tarafı Cam Olan Panel Üretimi	17
2.1.4. Fotovoltaik Panel Üretim Hattı	19
2.1.4.1. Fotovoltaik Panel Üretim Süreçleri.....	26

2.1.4.2.Fotovoltaik Panel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	30
2.1.4.3.Solar Hücre Teknolojisi	31
2.1.4.4.Ribbon – İletken Bakır Tel.....	36
2.1.4.5.Etilen Vinil Asetat (EVA)	36
2.1.4.6.Arka Tabaka Folyo (Backsheet).....	37
2.1.4.7.Solar Cam.....	38
2.1.4.8.Solar Panel Çerçevesi.....	38
2.1.4.9.Elektrik Kutusu (JB).....	39
2.1.5.Solar Hücreden Fotovoltaik Modüle Kayıplar	39
2.1.6.Fotovoltaik Modul Üretiminde Yapılan Testler.....	41
2.1.6.1.Elektrolüminesans Testi (EL).....	41
2.1.6.2.Jel İçeriği Testi	43

Üçüncü Bölüm

MONTAJ HATTI İYİLEŞTİRME

3.MONTAJ HATTININ TANIMI.....	45
3.1.Montaj Hattı Genel Kavramlar	46
3.2.Montaj Hattı Sınıflandırılması	49
3.3.Montaj Hatlarının Yerleşimi	51
3.4.Montaj Hattı Dengeleme	53
3.4.1.Montaj Hattı Dengeleme Yöntemleri	54
3.4.2.Hat Dengelemede Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma	55
3.4.2.1.Benzetim Tekniklerine Göre Hat Dengeleme	55
3.4.2.2.Analitik Yöntemler.....	56
3.4.2.3.Sezgisel Yöntemler	57
3.5.Montaj Hatlarında Darboğazların İncelenmesi	60
3.6.Montaj Hattı Dengeleme Uygulamalarına Yönelik Literatür Taraması	60

Dördüncü Bölüm

SİMÜLASYON

4.SİMÜLASYONUN TANIMI	63
4.1.Simülasyon Tekniğini Kullanmanın Avantaj ve Dezavantajları.....	68
4.2.Simülasyon Kullanım Alanları.....	70
4.3.Simülasyon Kullanım Amaçları.....	72
4.4.Simülasyon Modelleri	72
4.4.1.Etmen Tabanlı Simülasyon	74
4.5.Üretimde Simülasyon Kullanımı	75
4.6.Verimliliği Arttırmada Simülasyonun Faydaları	76

Beşinci Bölüm

UYGULAMA

5.UYGULAMA YAPILAN ÜRETİM HATTI VE SÜREÇLERİ	79
5.1.Makine Parkuru	80
5.2.Uygulama Yapılan Üretim Hattının Çalışma Verileri	86
5.2.1.Manuel İşlem Sürelerinin Analizi	88
5.2.2.Simülasyon Senaryosu Oluşturulurken Varsayımlar	91
5.2.3.Üretim Hattının Verilerinin Simülasyon ile İncelenmesi.....	92
5.2.4.Simülasyon Yardımıyla Öneriler	103
5.2.4.1.Öneri 1.....	104
5.2.4.2.Öneri 2.....	108
5.2.4.3.Öneri 3.....	112
SONUÇ	121
KAYNAKÇA.....	123
EKLER	123
EK-1: 40 MW ve 60 MV Hatlar İçin Minitab Veri Setleri	131
Ek-2: İterasyon Tablosu	133
Ek-3: Finansal Analiz Detay Tablo	146

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No.
Tablo 1 Yenilenebilir Enerji Teşvik Fiyatları	5
Tablo 2 Yerli Üretim Teşvik Fiyatları	6
Tablo 3 Yıllara Göre Fotovoltaik Kapasite (MW).....	7
Tablo 4 Türkiye de Kurulu Fotovoltaik Üretim Yapan Tesisler.....	9
Tablo 5 Model Türünü Tanımlayan Özellikler	75
Tablo 6 Vardiya Çalışan Sayısı.....	86
Tablo 7 Vardiya Çalışma Saatleri	86
Tablo 8 Üretim Hatlarında İşlem Süreleri.....	87
Tablo 9 Simülasyon Operatör Tanımlama	94
Tablo 10 Simülasyon İş İstasyonu Tanımlama	95
Tablo 11 Isınma periyodu için alınan örneklem	99
Tablo 12 Toplam periyot için alınan örneklem.....	99
Tablo 13 Optimizasyon Verileri.....	117
Tablo 14 Çalışan Sayısı Atamaları – Optimizasyon	118
Tablo 15 Finansal Analiz	121
Tablo 16 Modüllerin Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre.....	122
Tablo 17 EL Test Kuyruk En Uzun Süre	122

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1 Dünya Üzerinde Kurulu Fotovoltaik Sistem Kapasitesi	2
Şekil 2 Türkiye Güneşlenme Haritası.....	5
Şekil 3 Örnek Kurulu Fotovoltaik Tesis (12 MW).....	6
Şekil 4 Türkiye GES Kurulu Gücü (MW).....	8
Şekil 5- 2023 Yılı Fotovoltaik Kurulu Kapasite Beklentisi	8
Şekil 6 Fotovoltaik Panel Bileşenleri	11
Şekil 7 Fotovoltaik Panel Çeşitleri	12
Şekil 8 1980-2018 arası Pv panel üretim teknolojilerine göre dağılımı	13
Şekil 9 Yarım Kesilmiş Hücre ile Panel	16
Şekil 10 Yarım Kesilmiş Hücre ile Panel Çalışma Prensibi.....	17
Şekil 11 Cama Cam Fotovoltaik Panel.....	17
Şekil 12 Fotovoltaik Panel Üretim Hattı	19
Şekil 13 Cam Yükleme Makinesi.....	19
Şekil 14 Eva/Backsheet Kesme Makinesi	20
Şekil 15 Hücre Lehimleme Makinesi	20
Şekil 16 Bus Ribbon Lehimleme İstasyonu	21
Şekil 17 Otomatik Folyo Serme İstasyonu	21
Şekil 18 EL Tester	22
Şekil 19 Hazır Modül Bekletme İstasyonu.....	22
Şekil 20 Laminatör	23
Şekil 21 Konveyör İstasyonu.....	23
Şekil 22 Full Otomatik Çerçeveleme Makinesi.....	24
Şekil 23 Fotovoltaik Panel Ölçüm Makinesi.....	24
Şekil 24 EL Tester	25
Şekil 25 İzolasyon Ölçüm Makinesi.....	25
Şekil 26 Otomatik Paketleme Makinesi	26
Şekil 27 Fotovoltaik Panel Üretim Hattı Süreçleri.....	27
Şekil 28 Fotovoltaik Panel Üretim Hat Akış Şeması-1	28
Şekil 29 Fotovoltaik Panel Üretim Hat Akış Şeması-2	29
Şekil 30 Fotovoltaik Paneldeki Malzemenin Maliyete Etkisi	30

Şekil 31 Solar Hücre Çalışma Prensipleri.....	31
Şekil 32 Polisilikon Üretim Yöntemleri	32
Şekil 33 Polisilikon Reaktör Modelleri	32
Şekil 34 Ingot tan Wafer a Geçiş.....	33
Şekil 35 Wafer Üretim Süreci	33
Şekil 36 Solar Hücre Üretim Hattı	34
Şekil 37 Tekstüre Makineleri	34
Şekil 38 Difüzyon İstasyonu.....	35
Şekil 39 Plazma Süreci	35
Şekil 40 Anti Reflektif Kaplama	35
Şekil 41 Fotovoltaik Ribbon.....	36
Şekil 42 EVA Folyo	37
Şekil 43 Backsheet.....	37
Şekil 44 Fotovoltaik Modul için özel Cam.....	38
Şekil 45 Alüminyum Çerçeve.....	38
Şekil 46 Elektrik Kutusu.....	39
Şekil 47 CTM Kayıpları Analizi	40
Şekil 48 Hatasız Fotovoltaik Modul.....	41
Şekil 49 Mikro Çatlak Olan Fotovoltaik Modul.....	42
Şekil 50 Yanlış Lehimleme Yapılmış Ölü Bölge Fotovoltaik Modul.....	42
Şekil 51 Jel İçeriği Testi Eva - Teflon Gösterimi	43
Şekil 52 Örnek Bir Montaj Hattı	45
Şekil 53 Örnek Öncelik Diyagramı	48
Şekil 54 Sınıflarına Göre Montaj Hatları	49
Şekil 55 Fiziksel Montaj Hatları.....	51
Şekil 56 Fonksiyonel Montaj Hatları.....	52
Şekil 57 Montaj Hattı Dengeleme Sistemi	53
Şekil 58 MHDP ' lerin ve Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	54
Şekil 59 Simülasyon Süreci Adımları	65
Şekil 60 Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması	73
Şekil 61 Cam Yükleme Makinesi.....	80
Şekil 62 Cam Yıkama Makinesi.....	80

Şekil 63 İç Bağlantı İstasyonu	81
Şekil 64 Stringer	81
Şekil 65 Laminatör	83
Şekil 66 Kenar Temizleme ve Bantlama Makinesi	84
Şekil 67 Çerçeveleme İstasyonu	84
Şekil 68 JB Montaj İstasyonu	85
Şekil 69 Sun Simulator	85
Şekil 70 Simülasyon 40 MW İşçi	92
Şekil 71 Simülasyon 40 MW İşçi Verileri.....	93
Şekil 72 Simülasyon 60 MW Laminatör	93
Şekil 73 Simülasyon 60 Mw Laminatör Verileri.....	93
Şekil 74 Simülasyon Sonucu-36 saatlik çalışma verisi	97
Şekil 75 Simülasyon Sonucu- 8 saatlik çalışma verisi	98
Şekil 76 Çalışan Performans Analizi.....	102
Şekil 77 Öneri 1 - Laminatör Opr. EL Test Opr Yardım Etmesi	105
Şekil 78 Çalışan Performansları - Öneri 1	107
Şekil 79 Öneri 2 - Yeni Bir El Test Makinesi Entegre Edilmesi.....	109
Şekil 80 Çalışan Performansı - Öneri 2	111
Şekil 81 Öneri 3 - Operatörlerin Birbirine Yardım Etmesi	113
Şekil 82 Çalışan Performansı-Öneri 3	115
Şekil 83 Karma Öneri - Optimizasyon Çalışması	119
Şekil 84 Optimizasyon Çalışması Sonuç.....	120

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa No.
Grafik 1 Olasılık Grafikleri 60 Mw lık Hat	88
Grafik 2 Olasılık Grafikleri 40 Mw lık Hat	90
Grafik 3 Üretim Hattında Modüllerin Kuyrukta Bekleme Süreleri.....	101
Grafik 4 El Test Kuyruk Süresi	101
Grafik 5 Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre - Öneri 1	106
Grafik 6 EL Test Kuyruk Bekleme Süresi - Öneri 1	106
Grafik 7 Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre- Öneri 2.....	110
Grafik 8 El Test Kuyrukta Bekleme Süresi - Öneri 2.....	110
Grafik 9 Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre - Öneri 3.....	114
Grafik 10 El Test Kuyrukta Bekleme Süresi - Öneri 3.....	115

KISALTMALAR

CTM	: Cell to Module (HÜCRE den Fotovoltaik Panele Kayıplar)
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GW	: Giga Watt
KW	: Kilo Watt
MW	: Mega Watt
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



GİRİŞ

Son yıllarda teknolojide meydana gelen hızlı gelişmeler ile birlikte şirketler arası rekabet üretim sektörünü önemli ölçüde etkilemektedir. Bir üretim firmasının etkin ve verimli bir şekilde vizyonuna uygun ilerlemesi ve bu doğrultuda eldeki kaynaklarını en etkin şekilde kullanarak üretimini gerçekleştirmesi, istediği üretim kalite ve kapasitesine ulaşması gerekmektedir. Özellikle emek yoğun işler için bilgi yönetiminin doğru bir şekilde yapılabilmesi, sistemin insan faktörü, endirekt iş gücünde bulunan bilgi ve deneyimler ve maliyet faktörlerinin dikkate alınarak incelenmesi ile mümkündür.

Mevcut bir sistemin incelenmesi veya yeni teknolojilerin sisteme uyarlanması için farklı metodolojiler kullanılabilmektedir. Fakat bir sistemi anlamak, kontrolünü sağlamak ve yeni teknolojilerin sisteme dâhil edilmesi zaman ve maliyet kaybına yol açabilmektedir. Harcanan zaman ve maliyetin şirketler için ne kadar değerli olduğunu düşünecek olursak, bu etkenleri azaltmak adına en etkili yöntemlerden birinin Modelleme ve Simülasyon teknolojileri olduğu görülmektedir.

Bu kapsamda, etmen (ajan) tabanlı simülasyon yaklaşımı üretim ortamlarında insan faktörü ile davranış modellemesinin üretime etkisinin incelenmesi için etkin bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Etmen tabanlı simülasyon ile birbirinden bağımsız gibi görünen etmenlerin (ajanların) bireysel veya toplu olarak sistem üzerindeki etkileri bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir.

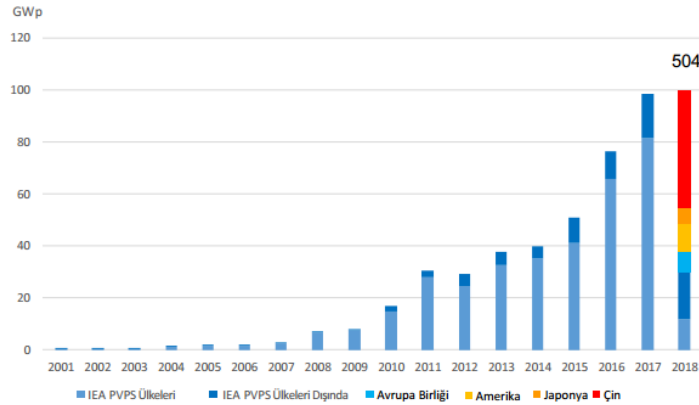
Birinci Bölüm

GÜNEŞ ENERJİSİ

1. GÜNEŞ ENERJİSİ TANIMI

Güneş enerjisi , dünyamıza gelen ışıklardan enerji elde edilmesini sağlayan ileri bir teknolojidir. Füzyon süreci sonucunda hidrojen gazı helyum gazına dönüşür. Atmosferin dışında güneş ışınımının şiddeti yaklaşık 1400 W/m² iken , yer yüzüne ulaşan değer 0-1200 W/m² değerleri arasında değişir. Dünya'ya gelen bu enerjinin az bir bölümü, mevcut durumda insanlığın enerji tüketiminden oldukça fazladır. 1960' ların sonundan itibaren, güneş enerjisinden yararlanma konusunda çalışmalar hız kazanmıştır. Güneş enerjisi kullanımında teknolojik olarak hızlı ilerleme maliyete pozitif bir katkı sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla kullanımı olan ve maliyeti gün geçtikçe düşen enerji tipi güneş enerjisidir. Günümüzde güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda Dünya da çok büyük yatırımlar yapılmaktadır.(https://tr.wikipedia.org/wiki/Gunes_enerjisi)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan Güneş Enerjisinin, tüm dünyada kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Güneş Enerjisi yatırımının amortisman süresi, panel üretim maliyetlerinin düşmesinden dolayı kısalmaktadır. Global ölçekte Güneş enerjisi ile alakalı kurulu güç açısından Avrupa ilk sıradadır. Toplam kurulu güç 504 GW dır.



Şekil 1 Dünya Üzerinde Kurulu Fotovoltaik Sistem Kapasitesi

Kaynak: Renewables Global Status Report, International Energy Agency 2018

1.1. Güneş Enerjisinin Gelişiminin Tarihçesi

Tüm enerji kaynakları güneşten türemiştir. Günümüzde çok olarak kullanılan fosil yakıtlar , yüzyıllar öncesinde güneş enerjisi ile değişime uğrayarak kullanılabilir hale ulaşmıştır. Şu anda fosil yakıt kullanımı çok yoğun olsa dahi çok yakın gelecekte bu kaynak kullanılabilir olmayacaktır. Dolayısıyla Dünya enerji ihtiyacını alternatif kaynaklardan karşılamak zorundadır. Bunların en düşük maliyetli ve kullanılabilir olanların dan bir tanesi de güneş enerjisidir.

Güneş enerjisini kullanabilmek adına tarihte birçok çalışma yapılmıştır. Kaynaklara göre Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışınımının içeri alınmasını belirtmiştir. Daha sonraki yıllarda Arşimet (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Bu çalışmalar 1600'li yıllarında ortasında İtalyan bilim adamı Galileo 'nın merceği bulması ile anlam kazanmaya başlamıştır. Tarihte ilk geliştirilen güneş enerjisi kaynaklı sistem 1728 yılında Belidor tarafından yapılan su pompasıdır. 1860'ların sonlarında dönemin ünlü bilim adamlarından Fransız bilim adamı Mohuchok , parabolik aynalar kullanarak güneş ışınımını odaklamış ve küçük bir buhar makinesi üretmiştir. Ayrıca güneş enerjisi ile çalışan pompala ve güneş enerjisi ile çalışan ocakları üzerinde deney yapmıştır.

Dolmabahçe Sarayı gibi eski saraylarda oldukça fazla ayna görülmektedir. Bu mimarideki temel amaç güneş enerjisinden maksimum seviyede yararlanmaktır. Birinci dünya savaşı esnasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. Bu dönemde yapılan çalışmalar araştırma kurumlarında veya üniversitelerde kalmıştır. Uygulanabilir sistemler geliştirilmemiştir. 1960 'ların sonuna doğru oluşan petrol krizinden dolayı, insanlar alternatif kaynakları kullanmaya yönelik çalışmalar yapmaya tekrardan başlamışlardır. Temiz, yenilenebilir ve masrafsız olan güneş enerjisi, bu çalışmalarda ön planda olmuştur. Boucher ve J.R. Roulet adlı bilim adamları güneşi kolektörü ve deposu komple bir sistem yaparak, maliyeti azaltmak için çalışmalar yapmışlardır. (www.gunessistemleri.com/tarihsel)

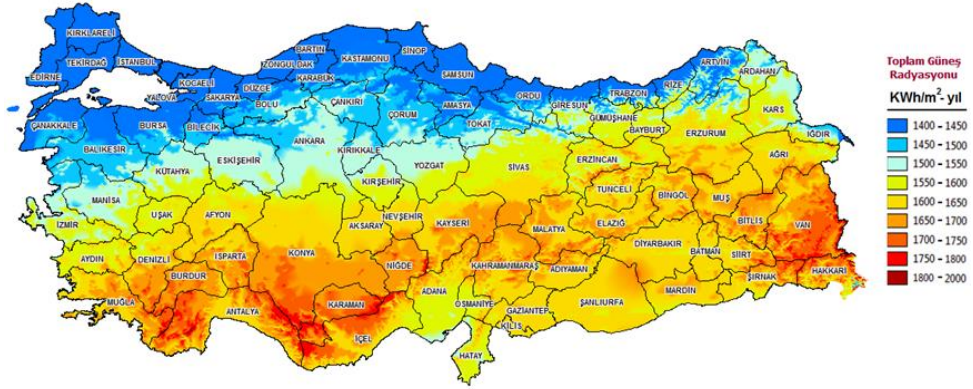
1.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Gelişimin Tarihçesi

Türkiye de güneş enerji ile alakalı çalışmalar 1970’li yılların başından itibaren başlamıştır. Ağırlıklı olarak solar termal sistemler yani güneş enerjisi sayesinde sıcak su elde etme üzerine ticari ürünler üretilmiştir. Ülkemizin birçok yerinde hala güneş enerjisi kolektörleri ile sıcak su kullanımı mevcuttur. Güneş enerjisi alanında ilk ulusal çalışma 1975 senesinde İzmir’ de gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi ile alakalı ilk kurulan enstitü İzmir Ege Üniversitesindedir ve 1978 yılından itibaren aktif olarak çalışmaktadır.

TUBİTAK bünyesinde bulunan Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü güneş enerjisi ile alakalı ilk çalışmayı 1985 senesinde yapmıştır. Bu dönemde Türkiye’nin ısı enerjisi ihtiyacının modellenmesi hakkında proje yürütülmüştür. Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi olan GÜNDER 1992 yılından itibaren çalışmalarına başlamıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü aktif olarak güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı sahalarda ölçümler yaparak, yapılacak yatırımların fayda analizini yapmaktadır. Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü özellikle rüzgar ve güneş enerjisinin ülkemizde geliştirilmesi için birçok çalışma yapmaktadır.

Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha ziyade araştırma ve geliştirme ve projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber son yıllarda kaynakların tespiti ve potansiyel tayini ağırlık kazanmıştır. (Pipe, 2013)



Şekil 2 Türkiye Güneşlenme Haritası

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator>) (08.02.2019) tarihinde alındı.

Türkiye'nin güneş enerjisinden elektrik üretme potansiyeli 380 milyar KW dir. Bu potansiyelin şu anda %2 sinden yararlanılmaktadır. Güneş enerjisinin solar termal sistemlerde kullanılmasında ilk üçte yer alan Türkiye, elektrik üretme amaçlı kullanılan sistemlerde yatırıma 2007 senesinde başlamıştır. 29 Aralık 2010 tarihi itibariyle yeni Yenilenebilir Enerji Kanunu yasalaştıktan sonra yeni bir teşvik planı oluşturuldu. Yenilenebilir enerji kanını güneş enerjisine dayalı lisansız elektrik üretim tesislerinin toplam gücünün 1000 KW ile sınırlandırmaktadır. İlgili kanun içerisinde Türkiye'de üretilen parçalara göre sisteme ekstra teşvikler sunulmaktadır. İlgili teşvikler aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 1 Yenilenebilir Enerji Teşvik Fiyatları

YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu 29.12.2010) teşvik fiyatları	
Enerji kaynağına dayalı tesis tipi	ABD Doları sent/kWh
Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
Biyokütle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Kaynak: YEGM (http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/y_mevzuat.aspx) (07.12.2018) tarihinde alındı.

Tablo 2 Yerli Üretim Teşvik Fiyatları

YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu) Türkiye’de üretilen aksamlar için teşvik fiyatları (ilk 5 yıl)		
Tesis tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi ABD Doları sent/kWh
Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1) PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2) PV modülleri	1,3
	3) PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4) İnvertör	0,6
	5) PV modülü üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	0,5
Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1) Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2) Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3) Güneş takip sistemi	0,6
	4) Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5) Kulede güneş ışığını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6) Stirling motoru	1,3
	7) Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6

Kaynak: YEGM (http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/y_mevzuat.aspx) (07.12.2018) tarihinde alındı.

İlgili kanun ile beraber Türkiye de güneş enerjisi santralleri saha kurulumu için 2 farklı uygulama mevcuttur. 5 MW altı lisanssız santraller ve 5 MW üzeri lisanslı santraller. Lisans yarışları 2016 senesi nisan ayında yapılmış olup, şu anda ülkemizde 6 adet Lisanslı santral mevcuttur.



Şekil 3 Örnek Kurulu Fotovoltaik Tesis (12 MW)

Ayrıca çatı üzeri bireysel ve ticari kullanım için 50 KW ya kadar, direk dağıtım şirketinin onayı ile kısaltılmış prosedür sayesinde kurulum yapılabilir.

1.1.2. Türkiye de Kurulu Fotovoltaik Sistem Kapasitesi

Türkiye, dünyanın en hızlı büyüyen enerji pazarlarından biridir. Türkiye'nin toplam enerji talebi hızla artmaktadır. Devlet bazında alınan kararlar da önceliklerinden biri, 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretiminin %30'una ulaşması hedeflenmektedir.

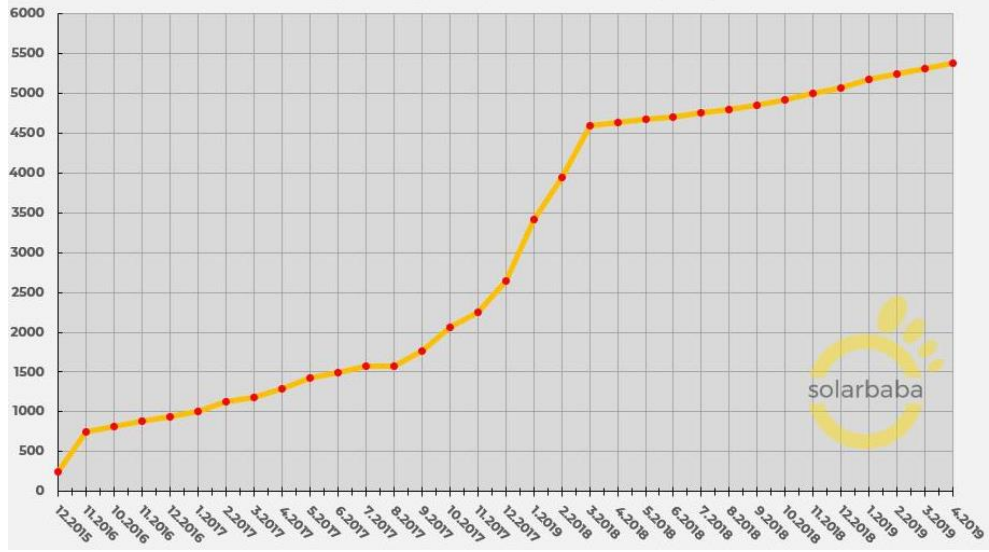
Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü GÜNDER in paylaştığı rapora göre Türkiye de 2018 yılı sonu itibariyle kurulu Güneş Enerjisi santral gücü 5 GigaWatt’ a ulaşmıştır. Yenilenebilir Enerji kaynaklarından başta gelen Güneş Enerji sistemlerinin Türkiye de çok hızlı bir şekilde büyümesi, çevre kirliliği ve dışa bağımlılıktan kurtulmak açısından önemlidir.

Tablo 3 Yıllara Göre Fotovoltaik Kapasite (MW)

	1998-2017	2018	2019 Ocak- Mayıs
Lisanslı Santral	17.90	43.80	60.20
Lisanssız Santral	3.420	3.942	5.230

Kaynak: YEGM (<http://www.yegm.gov.tr/kuruluguc/gunes>) (08.04.2019) tarihinde alındı.

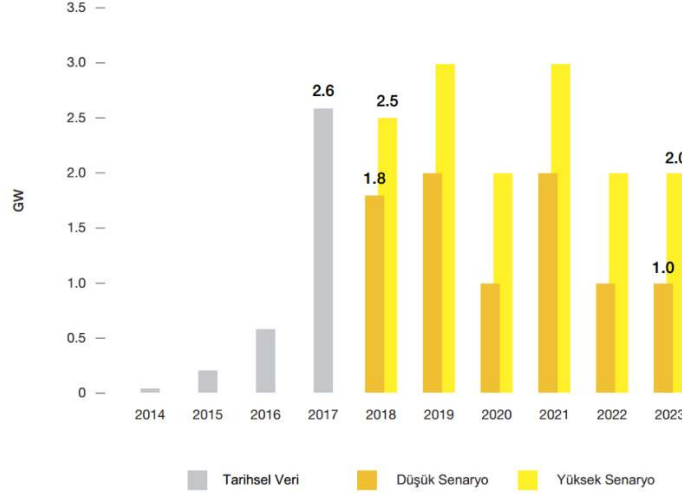
Türkiye güneş enerjisi santrali (GES) kurulu gücü (lisansız + lisanslı) Nisan 2019 sonu itibariyle 5375 MW değerine ulaşmıştır.



Şekil 4 Türkiye GES Kurulu Gücü (MW)

Kaynak: www.solarbaba.com 2018 kapanış analizi raporu , (25.12.2018) tarihinde alındı.

Türkiye güneş enerjisi sistemlerinden kurulu beklentisi önümüzdeki 5 yıllık periyotta Şekil 5 de gösterilmiştir.



Şekil 5- 2023 Yılı Fotovoltaik Kurulu Kapasite Beklentisi

Kaynak: Renewables Global Status Report, International Energy Agency,(25.12.2018) tarihinde alındı.

En temiz ve düşük maliyetli Güneş enerjisinden elektrik üretimi 2023 yılı itibariyle Türkiye için minimum 12 GW maksimum 20 GW olarak beklenmektedir.

İkinci Bölüm

FOTOVOLTAİK PANEL ÜRETİMİ

2. TÜRKİYE DE FOTOVOLTAİK PANEL ÜRETİMİ

Türkiye de toplam kapasitesi 4,2 GW olan Fotovoltaik panel üretimi yapan ve 100 Mw / yıl olan 24 adet fabrika bulunmaktadır. Panel üretiminin ana hammaddesi olan Solar hücre yurtdışından ithal edilmektedir. Kısmı olarak yerli üretim yapan bu fabrikalar Tablo 4 de listelenmiştir. 2017 yılı itibariyle Çin Halk Cumhuriyeti menşei olan solar panellere damping getirilmesinden ötürü yeni bir sanayi oluşmuştur ve yaklaşık 200.000 kişiye yatay olarak iş sağlamaktadır.

Tablo 4 Türkiye de Kurulu Fotovoltaik Üretim Yapan Tesisler

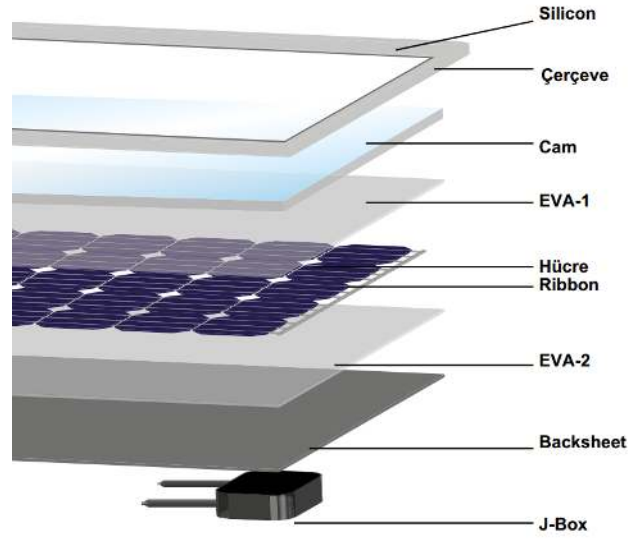
FİRMA ADI	LOKASYON
CW ENERJİ MÜH. TİC. VE SAN. LTD. ŞTİ.	ANTALYA
MARSOLAR PANEL İML.VE ELK. ÜRT. DAĞ. SAN.. A.Ş.	İSTANBUL
SMART GÜNEŞ ENJ.TEK. ÜRT SAN. VE TİC. A.Ş.	İSTANBUL
HT SAAE ENERJİ A. Ş	TUZLA SER.BÖLGE
ELİN ELK. İNŞ. MÜŞ. PRJ.TAAH. TİC. VE SAN. A.Ş.	ANKARA
SOLARTURK ENERJİ SANAYİ TİCARET A.Ş.	GAZİANTEP
ÖDÜL ENERJİ TAH. İNŞAAT SAN. VE TİC. A.Ş.	KAYSERİ
BEREKET ENERJİ A. Ş	DENİZLİ
GEST ENERJİ. A. Ş	HATAY
GAZİOĞLU SOLAR ENERJİ. A. Ş	ÇERKEZKÖY
SELEN-Y ELEKTRİK SAN. VE TİC. A.Ş.	ANKARA
ADMEN ENDÜSTRİYEL MAKİNA SAN. VE TİC.A.Ş.	İSTANBUL
ALFA SOLAR ENERJİ İNŞ. SAN. VE TİCARET A.Ş.	KIRIKKALE
SCHMİDT PEKİNTAŞ ENERJİ A. Ş	DÜZCE
SEHA MÜH.MÜŞ. TİCARET VE MAKİNA SAN. A. Ş	ANKARA
ZAHİT ALÜMİNYUM A. Ş	ADANA
SOLONN ENERJİ ÜRETİM A.Ş.	KAYSERİ
ANKARA SOLAR ENERJİ A. Ş	ANKARA
SUNLEGO-PLURAWATT ÜRETİM A. Ş	ANKARA
GTC GÜNEŞ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.	ADİYAMAN
ENDÜSTRİYEL ELEKTRİK ELEKTRONİK SAN.. ŞTİ.	KONYA

2.1. Fotovoltaik Panel

Güneş enerjisi panelleri, güneş ışığından fotonları toplar ve kullanılabilecek elektrik akımına dönüştürür. Güneş panelleri, kendilerini silikon, fosfor (negatif yükü sağlayan) ve bordan (pozitif yük sağlayan) katmanlardan oluşan birkaç ayrı güneş pilinden oluşur. Güneş panelleri fotonları emer ve böylece elektrik akımı başlatır. Güneş panelinin yüzeyine çarpan fotonlardan ortaya çıkan enerji, elektronların atomik yörüngelerine fırlatılmasını ve bu serbest elektronları bir yön akımına çeken güneş hücreleri tarafından üretilen elektrik alana salınmasını sağlar. Tüm bu işlem Fotovoltaik Etki olarak bilinir.

Dengelenmiş bir şebekeye bağlı konfigürasyonda, bir güneş enerjisi dizisi gündüz daha sonra gece evde kullanılan güç üretir. Net ölçüm programları, güneş enerjili ev sahiplerine, sistemleri evde ihtiyaç duyulandan daha fazla güç üretiyorsa ödeme almalarını sağlar. Şebeke dışı güneş enerjisi uygulamalarında bir akü grubu, şarj kontrolörü ve çoğu durumda bir invertör gerekli bileşenlerdir.

Güneş enerjisi dizisi doğru akım (DC) elektriğini şarj kontrolörü üzerinden akü bankasına gönderir. Güç daha sonra bataryadan DC akımını DC olmayan cihazlar için kullanılabilen alternatif akıma (AC) dönüştüren invertör'e aktarılır. Bir invertör yardımıyla, güneş paneli dizileri en zorlu elektrik yükü gereksinimlerini karşılayacak şekilde boyutlandırılabilir. AC akımı, evlerde veya ticari binalarda, eğlence araçlarında ve teknelerde, kır evlerinde uzaktan trafik kontrollerinde, telekomünikasyon ekipmanlarında (baz istasyonları), petrol ve gaz akışında izleme, RTU, SCADA ve daha pek çok şeyde güç sağlamak için kullanılabilir.



Şekil 6 Fotovoltaik Panel Bileşenleri

Kaynak: <https://mundasolar.com/2018/07/10/gunes-paneli-nedir-gunes-paneli-secimi/> (25.12.2018) tarihinde alındı.

2.1.1. Fotovoltaik Panel Kullanmanın Faydaları

Güneş panellerini kullanmak, birçok uygulama için elektrik üretmek için çok pratik bir yoldur. Dağ evleri güneş enerjisi sistemlerinden kolay bir şekilde yararlanır. Bir güneş enerjisi sistemi potansiyel olarak daha düşük maliyetlidir ve uygun şekilde muhafaza edilirse otuz yıldan fazla bir süre için güç sağlayabilir.

Güneş panellerinin en büyük yararı hem temiz hem de yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır. Küresel iklim değişikliğinin ortaya çıkışıyla birlikte, sera gazı emisyonlarından kaynaklanan atmosferimiz üzerindeki baskıyı azaltmak için elimizden gelen her şeyi yapmak daha önemli hale gelmiştir. Güneş panelleri hareketli parçalara sahip değildir ve az bakım gerektirir. Sağlam bir şekilde inşa edilen sistemlerdir ve düzenli bakımı yapılırsa on yıllarca dayanırlar. Elektrik gereksinimlerinizi üretmek için güneş panelleri kullanmanın pek çok başka uygulaması ve yararı vardır.

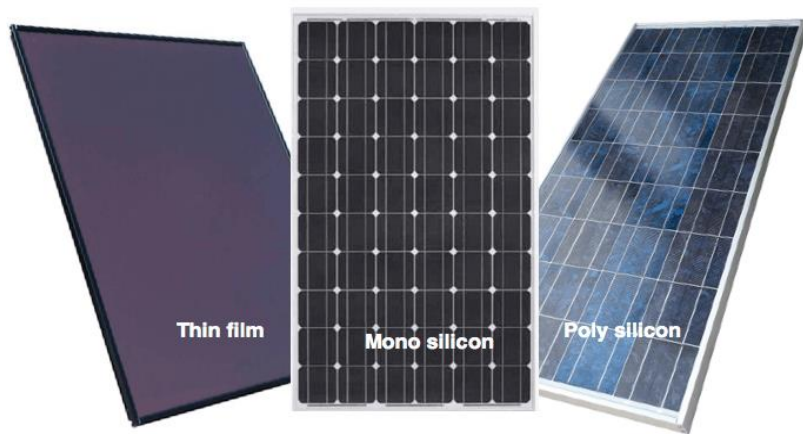
Şebeke bağlantılı güneş enerjisi sistemi sahipleri için, faydalar sistemin çevrimiçi olduğu andan itibaren başlar, potansiyel olarak aylık elektrik faturalarını elimine eder veya sistem sahibine elektrik şirketinden ek gelir sağlar.

Güneş enerjisi sisteminizin ürettiğinden daha az güç kullanırsanız, bu aşırı güç, bir prim karşılığında elektrik dağıtım şirketinize satılabilir. Ülkemizde çatı üstü kurulumlarının önünün açılması ile beraber, fotovoltaik sistemler sahiplerine gelir sağlamaya başlamıştır.

2.1.2. Fotovoltaik Panel Çeşitleri

Solar panel seçimi yaparken dikkat etmemiz gereken bazı kurallar mevcuttur. Ortam sıcaklığı, kullanılacak alan ve kurulum yapılacak alana göre hareket edilmelidir. Temel olarak solar paneller üç çeşittir.

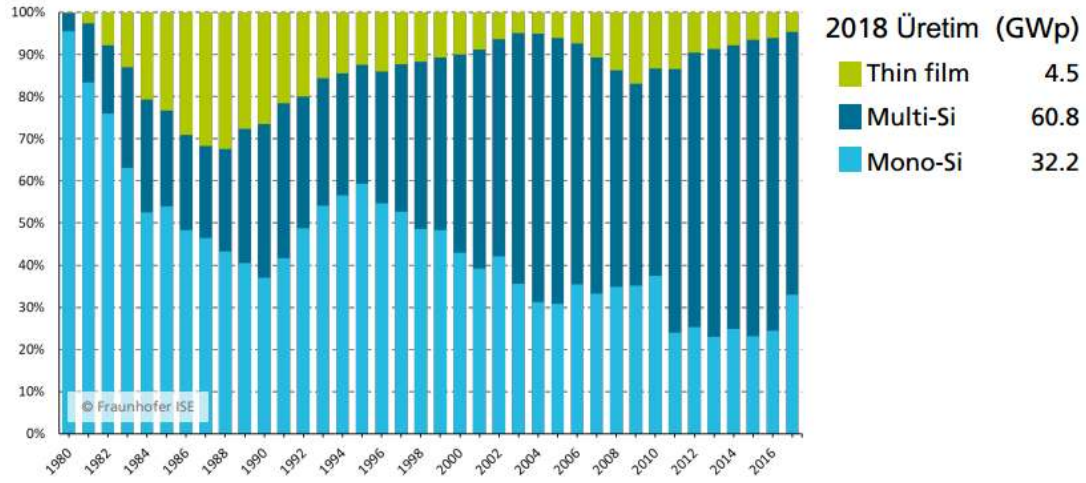
- 1- Poly Kristalin Solar paneller
- 2- Mono Kristalin Solar paneller
 - a. İki taraflı (Bifacial) Mono paneller
- 3- İnce Film Solar paneller



Şekil 7 Fotovoltaik Panel Çeşitleri

Kaynak:<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/pv-panel-technology/>(25.12.2018)tarihinde alındı.

Fraunhofer Enstitüsü'nün yaptığı araştırma raporuna göre 1980-2018 yılları arasında dünya üzerinde üretilen solar panellerin dağılımı Şekil 8 de gösterilmiştir.



Şekil 8 1980-2018 arası Pv panel üretim teknolojilerine göre dağılımı

Kaynak: Fraunhofer 2018 Pv Report [www.ise.fraunhofer.de/\(25.12.2018\)](http://www.ise.fraunhofer.de/(25.12.2018)) tarihinde alındı.

Yukarıdaki grafikten anlaşılabileceği üzere en fazla üretim Polikristalin daha sonra Monokristal ve en son sırada İnce Film panellerdir.

2.1.2.1. Polikristal Fotovoltaik Paneller

Polikristalin (p-Si) ve çok kristalli silikonun (mc-Si) olarak da bilinen polikristalin silisyum bazlı ilk güneş panelleridir. Ham silikon eritilir ve bir kare kalıba dökülür, kalıp içerisinde soğutulur ve daha sonra kesilir.

Avantajı: Polikristalin silikon yapmak için kullanılan işlem daha basit ve daha az maliyetlidir. Atık silikon miktarı, mono kristaline kıyasla daha azdır. Polikristalin güneş panelleri, mono kristal güneş panellerinden biraz daha düşük ısı toleransına sahip olma eğilimindedir. Bu teknik olarak yüksek sıcaklıklarda mono kristal güneş panellerinden biraz daha kötü performans gösterdikleri anlamına gelir. Isı, güneş panellerinin performansını etkileyebilir ve ömrünü kısaltabilir.

Polikristalin bazlı güneş panellerinin verimi tipik olarak %13-16'dır. Düşük silikon saflığından dolayı polikristalin güneş panelleri, mono kristal güneş panelleri kadar verimli değildir.

2.1.2.2. Monokristal Fotovoltaik Paneller

Çok kristalli silikon (çok kristalli Si) olarak da bilinen mono kristal silisyumdan (mono-Si) yapılan güneş pilleri, yüksek saflıkta silikon ile homojen dağılım ile üretilir. Mono kristal güneş panelleri, polikristalin silikonunun benekli mavi rengine kıyasla daha düzgün bir görünüme sahip olduklarından daha estetikdir. Monokristal güneş pilleri, silindirik şeklinde olan silikon külçelerinden yapılır. Tek bir monokristal güneş hücresinin performansını optimize etmek ve maliyetleri düşürmek için, silindirik külçelerin dört tarafı kesilerek silisyum parçalar elde edilir, bu da monokristal güneş panellerine karakteristik bir görünüm verir. Tek ve çok kristalli güneş panellerini ayırmanın iyi bir yolu, çok kristalli güneş pillerinin yuvarlatılmış kenarları olmayan mükemmel bir şekilde dikdörtgen görünmesidir.

Avantajı: Monokristal güneş panelleri en yüksek dereceli silikondan yapıldığı için en yüksek verimlilik oranlarına sahiptir. Monokristal güneş panellerinin verimlilik oranları tipik olarak %15-25'dir. Monokristal silikon güneş panelleri yerden tasarruf sağlar. Bu güneş panelleri en yüksek güç çıkışlarını verdiğinden, diğer tüm tiplerle karşılaştırıldığında en az miktarda alan gerektirir. Monokristal güneş panelleri kullanım ömrü uzundur. Çoğu güneş paneli üreticisi monokristal güneş panelleri için 25 yıl garanti vermektedir. Düşük ışık koşullarında benzer dereceli polikristalin güneş panellerinden daha iyi performans gösterme eğilimindedir.

Dezavantajı: Monokristal güneş panelleri en pahalı panel çeşididir. Güneş paneli kısmen gölge, kir veya karla kaplıysa, tüm devre bozulabilir. Monokristal güneş panelleri, ılık havalarda daha verimli olma eğilimindedir. Sıcaklık arttıkça performans düşer ancak polikristalin güneş panellerinden daha düşüktür.

2.1.2.3. İnce Film Paneller

Bir veya birkaç ince fotovoltaiik malzeme katmanının bir tabaka üzerine biriktirilmesi ile üretilen panel çeşididir. Bunlar ayrıca ince film fotovoltaiik hücreler (TFPV) olarak da bilinir.

Farklı ince film güneş pilleri türleri, fotovoltaiik malzemenin bir tabaka üzerine biriktirildiği kategorilere ayrılabilir:

Amorf silikon (a-Si)

Kadmiyum tellürdür (CdTe)

Bakır indiyum galyum selenid (CIS / CIGS)

Organik fotovoltaiik hücreler (OPC)

Teknolojiye bağlı olarak, ince film modül prototipleri %7-13 arasında verime ulaşmıştır ve üretim modülleri yaklaşık %19 verim ile çalışmaktadır.

Avantajları: Seri üretim basittir. Bu onları kristal bazlı güneş pillerinden daha üretken ve ucuz hale getirir. Homojen görünimleri daha çekici görünmelerini sağlar. Esnek hale getirilebilir, bu da birçok yeni potansiyel uygulama açar. Yüksek sıcaklıklar ve gölgelendirme güneş paneli performansı üzerinde daha az etkilidir. Alanın sorun olmadığı durumlarda, ince film güneş panelleri mantıklı gelebilir.

Dezavantajları: Düşük alan verimliliği aynı zamanda PV ekipmanı maliyetlerinin (örneğin destek yapıları ve kablolar) artacağı anlamına gelir. İnce film güneş panelleri, mono ve polikristalin güneş panellerine göre daha hızlı bozulma eğilimindedir, bu yüzden tipik olarak daha kısa bir garantiyle gelirler.

2.1.3. Fotovoltaik Panel Üretiminde En Son Teknolojiler

Solar panel üretiminde rekabet artıkça, üreticiler yeni teknolojiler üzerinde araştırmalara devam ediyorlar. Temel amaç, aynı metrekare de daha fazla güç nasıl elde edilebilir. Solar panel üretiminde lider ülke olan Çin Halk Cumhuriyeti'nde bulunan firmalar bu konu ile alakalı AR-GE çalışmalarına 2018 yılı itibariyle yaklaşık 50 milyon Amerikan doları harcamışlardır. (SNEC 2018 Fuarı, Sonuç Raporu)

2.1.3.1. Yarım (Half Cut) Hücre ile Fotovoltaik Panel Üretimi

Ticari olarak üretimi yapılan solar panel üretiminde 60 ve 72 hücre kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda yarım kesilmiş hücre ile yapılan panellerde yüksek verimliliklere ulaşılmıştır.



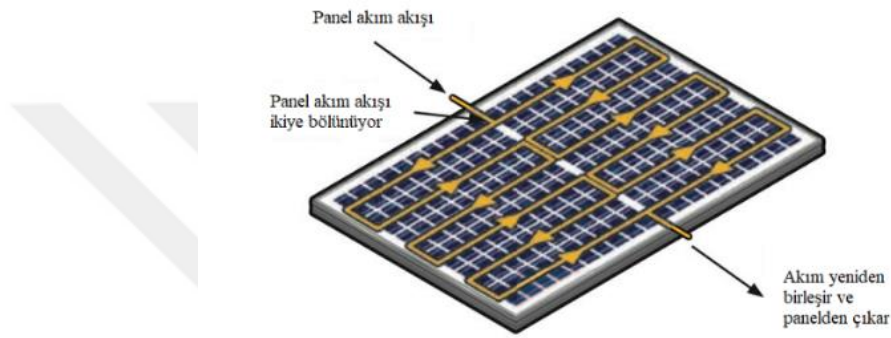
Şekil 9 Yarım Kesilmiş Hücre ile Panel

Kaynak: <https://www.jinko.com/products/> (25.12.2018) tarihinde alındı.

60 adet yarım kesilmiş şekilde 120 adet yarım hücre ile üretilmiş olan bir panel, normalden üretilmiş olan panele göre + 5 watt daha fazla bir güç çıkışı sağlar. Bunun sebebi hücre üzerindeki akım stresinin azalması ve gölgeme durumunda hücre arasındaki bağlantıların %50 etkilenmesinden dolayıdır. Panel içerisinde akımının üst ve alt gövde de ayrı ayrı devam etmesi ve daha sonra tek bir hattan çıkması şeklinde basit bir şekilde anlatılabilir.

Yarım kesilmiş panelin normal panellere göre avantajları aşağıdaki sıralanmıştır.

- a. Aynı alanda net + 5 watt güç çıkışı sağlaması
- b. Daha düşük akım kaybı
- c. Gölgeleme den oluşan güç kaybı avantajı
- d. Kablodan oluşan çıkış gücü kaybı avantajı
- e. Sıcak nokta kayıp azalması
- f. Daha fazla yansıtma ve daha çok güç çıkışı



Şekil 10 Yarım Kesilmiş Hücre ile Panel Çalışma Prensibi

Kaynak:<https://www.jinko.com/products/>(25.12.2018) tarihinde alındı.

2.1.3.2. Çift Taraflı Cam Olan Panel Üretimi



Şekil 11 Cama Cam Fotovoltaik Panel

Kaynak:<https://www.jinko.com/products/>(25.12.2018) tarihinde alındı.

Normal solar modüllerde arka tabaka (Backsheet) kullanımı mevcuttur. Arka tabaka yansıtma için kullanılan ve solar modülün dış etkenlerden korunmasını sağlar. Teknolojinin ilerlemesi ve müşteri taleplerine istinaden, görsellik olarak ve kullanım alanlarında daha fazla gün ışığından yararlanabilmek için cam cama modül ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

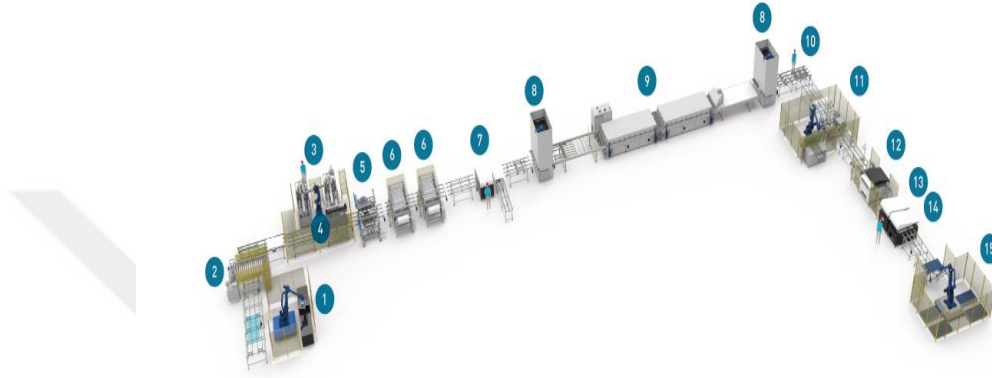
Üretim sürecinde panele arka tabaka koymak yerine çift tarafına cam konularak lamine edilir. Kullanılan elektrik kutusu da bu bağlamda özeldir. En büyük dezavantaj modüllerin fiyatlarının normal modüllere göre fazla olmasıdır. Dolayısıyla ticari olarak istenilen seviyede satış adetine ulaşamamıştır.

Cam cama modüllerin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- a. Standart modüllerde 0,7% olan bozulma, 0.45% şeklindedir.
- b. Mekanik kullanım ömrü standart modüller de 25 yıl iken Cam cama modüllerde 30 yıldır.
- c. Standart panellere göre yüksek Güneş ışığı geçirgenliği sağlar.
- d. Alüminyum çerçeve maliyetinden avantaj sağlanır.
- e. Standart modüllerde 3,2 mm cam kullanılırken, arka ve önde 2mm cam kullanılır.
- f. Cam -cam a modüller mekanik olarak daha dayanıklıdır.

2.1.4. Fotovoltaik Panel Üretim Hattı

Solar panel üretim hatları yüksek maliyetli bir yatırımdır. İlgili yatırımın yapılabilmesi için öz kaynak ve banka kredileri kullanılmaktadır. Üretim hattında bulunan parkurlar birbirleriyle senkronize çalışmak zorundalardır. Hat kapasitesi laminatör kapasitesi ile doğru orantılıdır.



Şekil 12 Fotovoltaik Panel Üretim Hattı

Otomatik Cam Yükleme:

Üretim, ilk başta cam yükleme süreci ile başlar. Cam yükleme makinası ilgili ebattaki camı üretim hattına beslemeye başlar. Camlar arasındaki koruyucu kâğıdı otomatik olarak vakum ile ayırır. Ayrıca cam üzerinde herhangi bir çizik veya leke olup olmadığını kontrol eder. Bir nevi üretimin başından itibaren bir kalite kontrol süreci başlatılmış olur.

01 - CAM YÜKLEME



Şekil 13 Cam Yükleme Makinesi

Eva/Backsheet Kesme Makinesi:

Eva kesme makinası ile ilgili ölçülerde kesilerek üretim hattına inline olarak verilir. Folyo kesme makinası sayesinde iş emrine göre genişlik ve uzunlukta folyolar kesilerek, otomatik olarak üretime verilir.

2- EVA / BACKSHEET KESME



Şekil 14 Eva/Backsheet Kesme Makinesi

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Hücre Lehimleme Makinesi:

Hücrelerin 100 adet kasetlerine yüklenmesinden sonra kamera ile hücre üzerinde kalite kontrol yapar. Hücrelerin birbirine lehimlemesini sağlayan makinedir. Otomatik olarak istenilen sayıda hücrenin birbirine yüksek ısı ile lehimlemesini sağlar.

3- Hücre Lehimleme Makinesi



Şekil 15 Hücre Lehimleme Makinesi

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Otomatik Bus Ribbon Makinesi :

Doğru şerit yerleştirme ve otomatik şerit bükme de dahil olmak üzere teller arasındaki ara bağlantıyı otomatik lehimleme yapan makinedir. Ara bağlantı noktalarının lehimi, indüksiyon sistemi ile yapılır.

5 Otomatik Bus Ribbon Lehimleme



Şekil 16 Bus Ribbon Lehimleme İstasyonu

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Folyo Serme Makinası:

Eva kesme makinası ile ilgili ölçülerde kesilerek üretim hattına inline olarak verilir. Folyo kesme makinası sayesinde iş emrine göre genişlik ve uzunlukta folyolar kesilerek, otomatik olarak üretime verilir.

6 Eva/Backsheet Serme İstasyonu



Şekil 17 Otomatik Folyo Serme İstasyonu

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Elektrolüminesans Testi:

Bu makine, kullanıcının, kullanılan hammaddeye dayalı süreci sürekli olarak izlemesine ve iyileştirmesine izin vererek, üretimin derin bir kontrolünü gerçekleştirmesini sağlar. Kameralar yardımıyla, henüz lamine edilmemiş tek hücrelerin veya dizilerin test edilmesi mümkündür.

7 Elektrolüminesans Makinesi



Şekil 18 EL Tester

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Bekletme İstasyonu:

Bekleme sistemi, üretim hattında geçici bir stok için 30'a kadar modül depolar. Bu makine “son giren ilk çıkar” konseptini kullanır ve özerk bir şekilde çalışır: Laminatörlü konfigürasyon için bir PLC ve elektrikli kontrol paneli ile yönlendirilir. Laminasyon öncesinde veya sonrasında dar boğaz oluşmaması için kullanılır.

8 Bekletme İstasyonu



Şekil 19 Hazır Modül Bekletme İstasyonu

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Laminatör:

Laminasyon ünitesi dizgi halindeki hücrelerin Eva yardımıyla birbirine yapışarak modül halini almasını sağlayan bir nevi fırındır. Laminasyondaki reçete üretilen panelin görsel ve elektriksel olarak etkiler. Laminasyon üretim hattının en önemli süreçlerinin başında gelir.



Şekil 20 Laminatör

Yönlendirici istasyon:

Laminasyondan çıkan panellerin EL testine dikeyden yataya yönlendirilmesini sağlayan ünedir. Hat içerisinde zorunlu değildir fakat işçilik avantajı sağlamaktadır.

10 Yönlendirme İstasyonu



Şekil 21 Konveyör İstasyonu

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Full Otomatik Çerçeveleme Makinesi:

PV panelleri için otomatik silikon dağıtıcılı tam otomatik bir çerçeve çözüdür. Makine, silikonlu çerçeveleri otomatik silikon dağıtma makinesinden alan 6 eksenli bir robotu entegre eder ve çerçeveleri PV modülünün çerçeveleme ve kıvrılmasını gerçekleştiren çerçeve makinesine yerleştirir.

11 Çerçeveleme Makinesi



Şekil 22 Full Otomatik Çerçeveleme Makinesi

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Otomatik Led Güneş Simülatörü:

Üretimi bitirilen paneller otomatik led güneş simülatörü ile ölçülerek güç sınıfı belli olur. Bu makinede 1000 watt / metrekare ölçümü yapılır. Çıkan sonuca göre ürün etiketlenir ve son kontrol için Elektrolüminesans testine gönderilir.

12 Sun Simülatör



Şekil 23 Fotovoltaik Panel Ölçüm Makinesi

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Elektrolüminesans Testi:

Bu makine, kullanıcının, kullanılan hammaddeye dayalı süreci sürekli olarak izlemesine ve iyileştirmesine izin vererek, üretimin derin bir kontrolünü gerçekleştirmesini sağlar. Kameralar yardımıyla, henüz lamine edilmemiş tek hücrelerin veya dizilerin test edilmesi mümkündür.

7 Elektrolüminesans Makinesi



Şekil 24 EL Tester

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

İzolasyon Ölçümü:

Modülün tüm yüzeyi üzerinde izolasyon testini garanti eden iletken bir sünger sayesinde çerçeveli ve çerçevesiz modülleri test edilir. Bu istasyon, tüm üretim sürecinde modüllerin elektriksel yalıtımını kontrol eder.

14 İzolasyon Olcum Makinesi



Şekil 25 İzolasyon Ölçüm Makinesi

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

Paketleme ve Ayırma İstasyonu:

Özel bir vakum kabı sistemi sayesinde, giden modülleri test alanından alan ve 4 ya da daha fazla farklı palette depolayan, 6-eksenli bir robottan oluşan tam otomatik bir paketleme istasyonudur. Her modül gücü için bir tane sınıf belirlenir ve ilgili palette otomatik olarak yerleştirir.

15 Otomatik Paketleme ve Ayırma



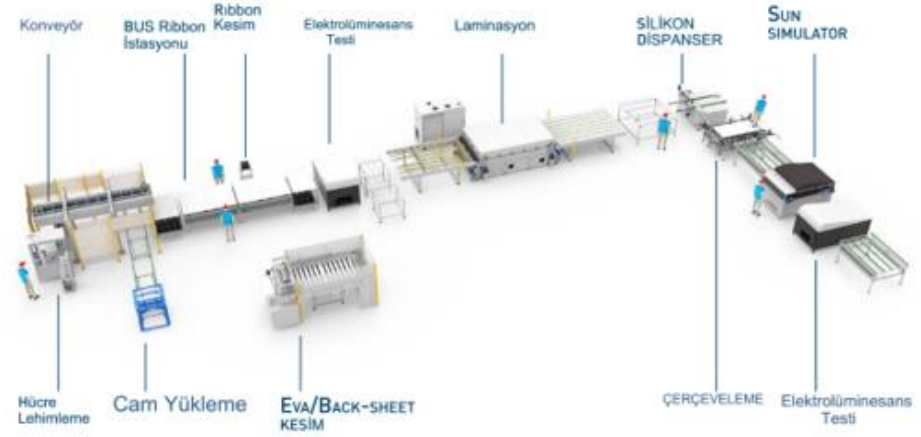
Şekil 26 Otomatik Paketleme Makinesi

Kaynak: www.ecoprogetti.com (25.12.2018) tarihinde alındı.

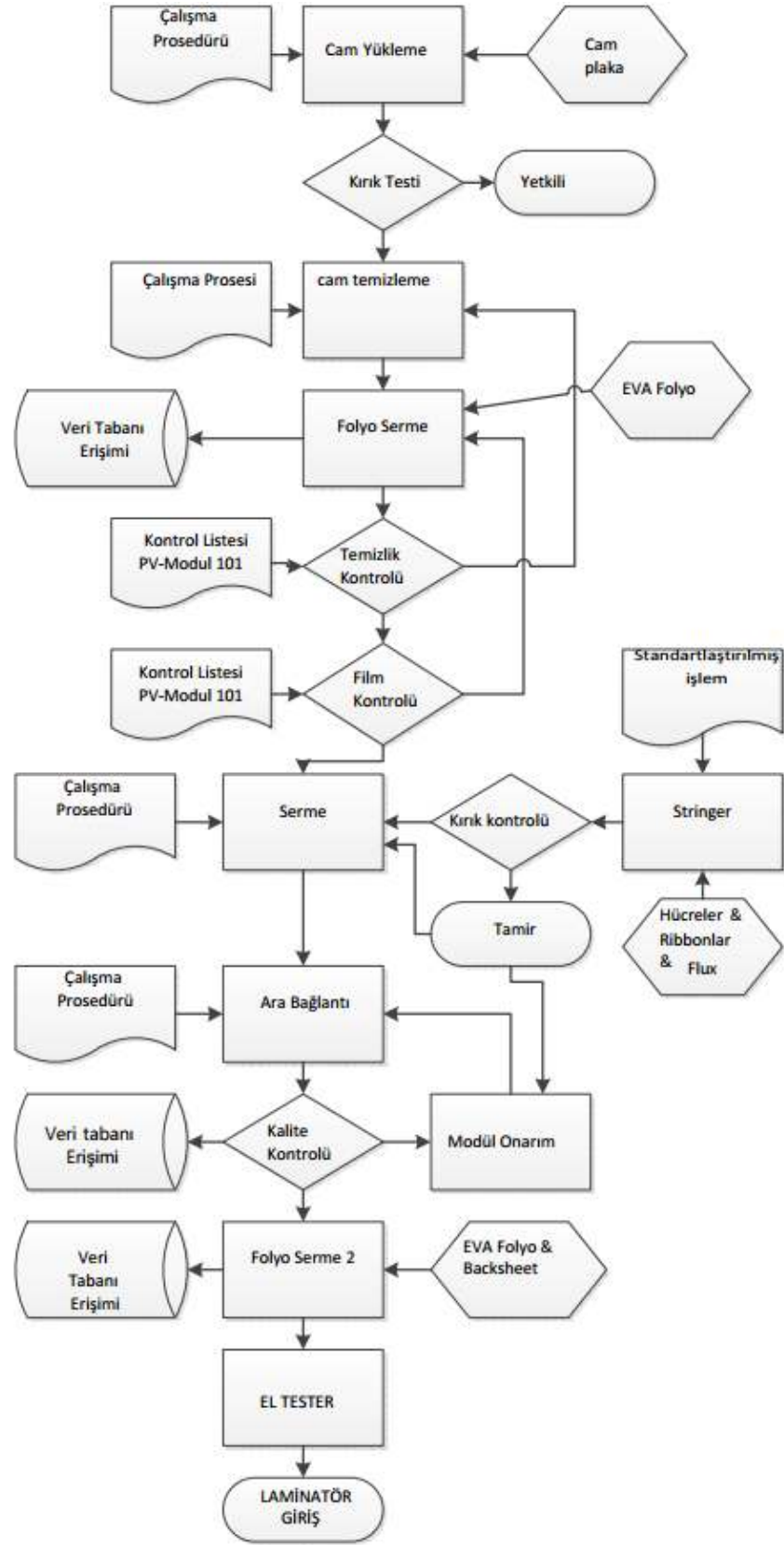
2.1.4.1. Fotovoltaik Panel Üretim Süreçleri

Solar panel üretim hatları çok hassas bir süreç izlemektedir. Tam otomatik veya yarı otomatik olarak üretim yapılmaktadır. Ağırlıklı olarak robotlar ile üretim yapılmaktadır. Üretim felsefesi tam zamanında üretime dayalı olup, mümkün olduğunda sıfır (0) stok ile üretim yapılmaktadır. Dolayısıyla üretim planlama çok önemli bir süreçtir.

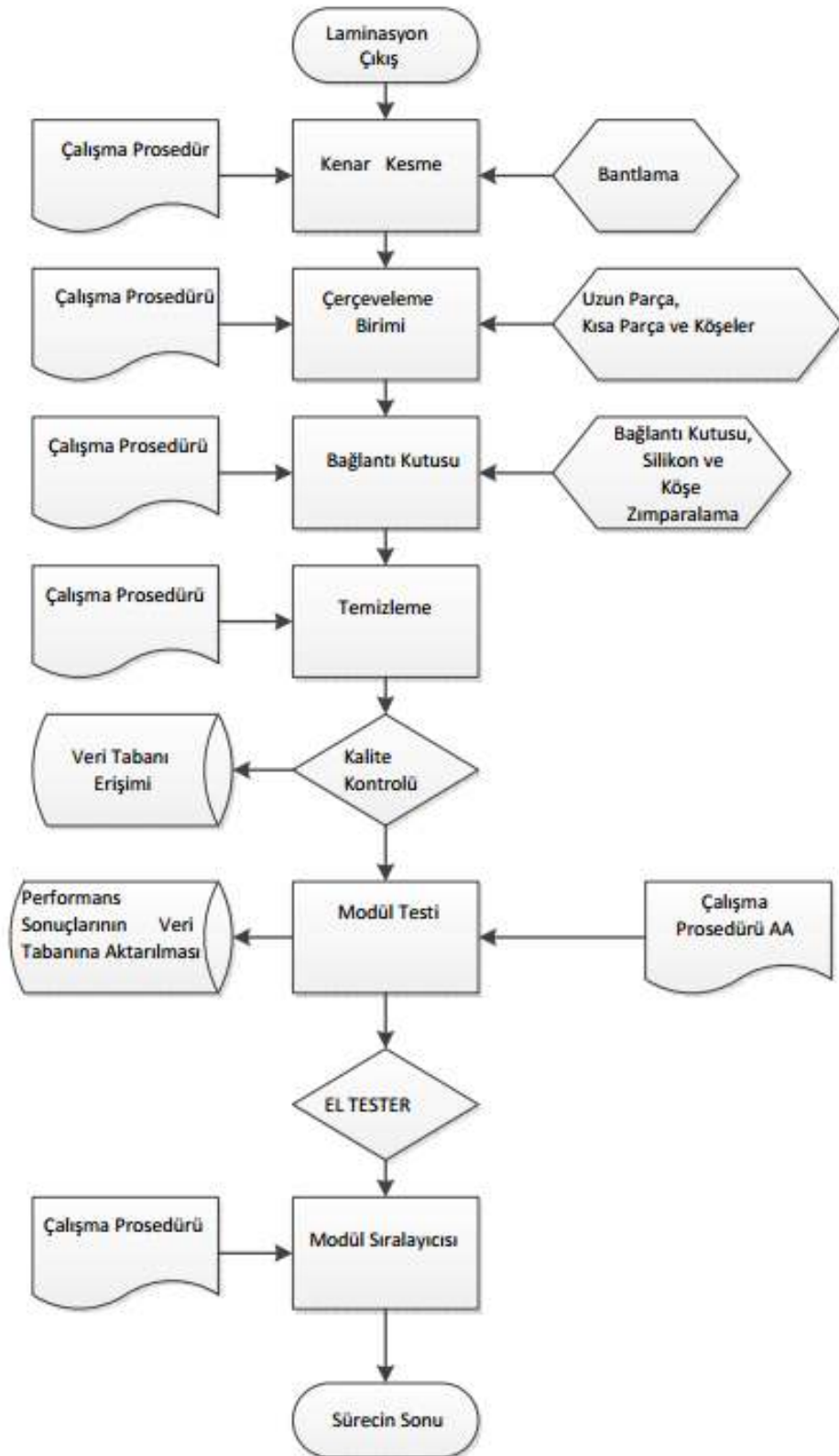
HAM MADDE HAZIRLIĞI	STRING & LAYUP	ARA BAĞLANTI & İZLEME	LAMİNASYON	ÇERÇEVE	TEST
CAM YIKAMA HÜCRE TEST EVA KESME BACKSHEET KESME RIBBON KESME	STRINGER UNİTESİ LAYUP İSTASYONU KIRILMA TESTİ ÇEKME TESTİ	BUSSING İSTASYONU OTOMATİK BUSSING EL-TESTİ KOYU I-V TESTİ ELEKTRİK TESTİ İZLEME	LAMİNASYON SOĞUTMA JEL İÇERİĞİ TESTİ	OTOMATİK ÇERÇEVELEME KÖŞE TAKOZU SİLİCON DISPANSERİ J-BOX UYGULAMA	I-V ÖLÇÜMÜ GÜÇ SINIFLANDIRMA EL TESTİ HI-POT TESTİ SUN SIMULATOR



Şekil 27 Fotovoltaik Panel Üretim Hattı Süreçleri



Şekil 28 Fotovoltaik Panel Üretim Hat Akış Şeması-1



Şekil 29 Fotovoltaik Panel Üretim Hat Akış Şeması-2

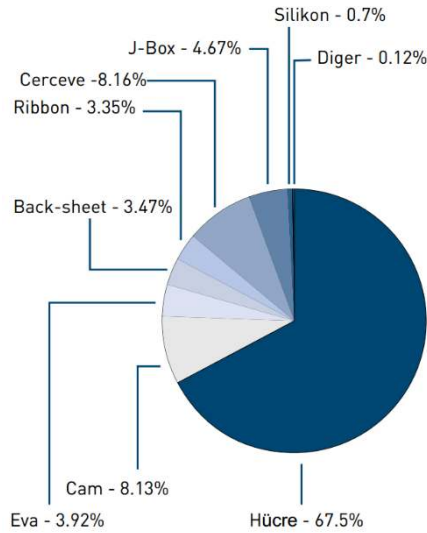
2.1.4.2. Fotovoltaik Panel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Solar panel üretim tesislerinde;

- Hücre
- Ribbon
- Backsheet
- Eva
- Cam
- Çerçeve
- JB – Elektrik Kutusu
- Silikon
- Panel Etiketi

Kullanılmaktadır.

Malzemelerin hepsi tedarikçilerden tedarik edilerek üretim hattında doğru bir şekilde montajı yapılır. Ürünlerden Backsheet ve Eva tedarikçinin verdiği reçete ye göre kullanılır. Ülkemizdeki tesislerde tüm malzemeler Avrupa ve Çin deki tedarikçilerden alınarak montajı yapılır. Yatay entegrasyon yapan bir mevcut değildir. Kullanılan malzemelerin üretim maliyetine etkisi aşağıdaki Şekil 30 gösterilmiştir.



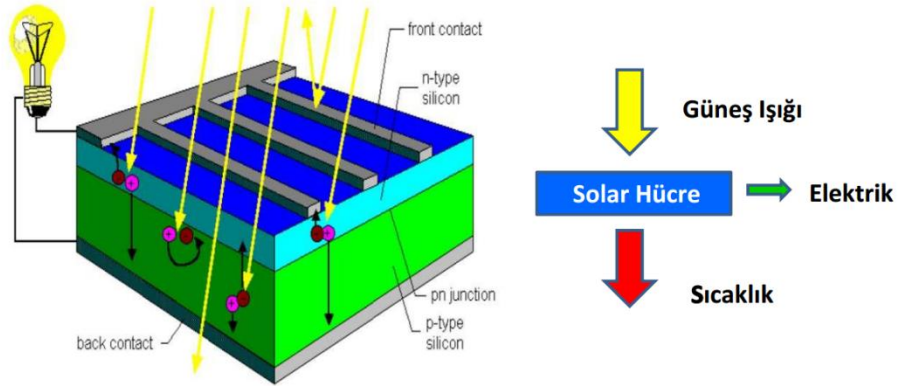
Şekil 30 Fotovoltaik Paneldeki Malzemenin Maliyete Etkisi

Şekil 30 dan anlaşılacağı üzere Solar panel üretimdeki en büyük maliyet hücre 'dir. Ülkemizde hücre üretimi ile alakalı çalışmalar mevcuttur. Fakat 2018 yılı itibariyle Solar hücre üretimi yapabilen bir firma bulunmamaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019 yılı içerisinde Solar Hücre üretimi ile alakalı bir ihale açmayı planlamaktadır. Bu Tezin kaleme alındığı tarihte Solar hücre üretimi ile alakalı projeler mevcuttur.

2.1.4.3. Solar Hücre Teknolojisi

Solar hücreler, güneş enerjisini yakalamak ve çoğunlukla güneş panelinde elektrik üretmek için kullanılır. Evlerde ve iş yerlerinde en sık gördüğümüz güneş panelleri, fotovoltaiik (PV) paneller, hepsi solar hücre kullanmaktadır. Hücreler düz, koyu renkli ve parlaktır.

En önemlisi, her bir hücre güneş ışığını doğrudan temiz elektriğe dönüştürmek için gereken her şeyi içerir. Diğer tüm bileşenler yalnızca çıktıyı artırmak ve elektriği DC'den AC elektriğine dönüştürmek için kullanılır.



Şekil 31 Solar Hücre Çalışma Prensibi

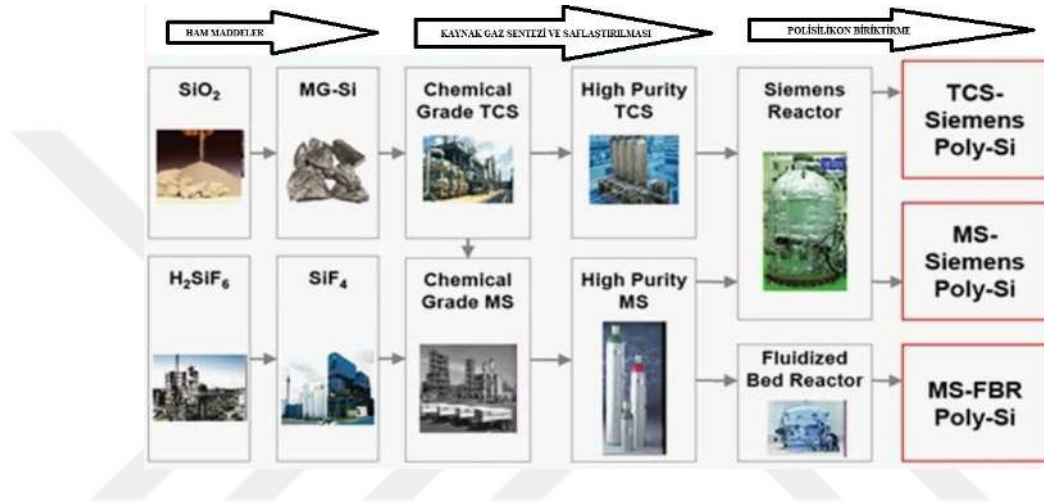
Kaynak: www.google.com/solarcell (25.12.2018) tarihinde alındı.

Solar hücre üretimini 3 aşamada ele alabiliriz.

1.Aşama Polisilikon: Polisilikon üretme yöntemleri, aşağıdaki (Şekil 33) şekilde gösterildiği gibi,

1) TCS-Siemens, 2) MS-Siemens, 3) MS-FBR'dir.

TCS-Siemens metodu esas olarak yüksek saflıkta polisilikonun ticari üretimi için kullanılır.



Şekil 32 Polisilikon Üretim Yöntemleri

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

Polisilikon üretmek için iki tip reaktör sistemi (SIMENS ve FBR) vardır.



Şekil 33 Polisilikon Reaktör Modelleri

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

2.Aşama Ingot (Kalıp): Polisilikonun Wafer sürecinde kullanılacak hale yani külçe formuna daha dökülmüş, metal olan, nispeten saf bir malzemedir.



Şekil 34 Ingot tan Wafer a Geçiş

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

Hammadde olan Polisilikon kalıp haline getirilir. İkinci aşamada dilimlenir, tekrar pürüzsüz bir yüzey olması için temizlenir, ayrıştırılır, son temizleme yapılır, kontrol edilir ve Wafer formuna kavuşur.

3.Aşama Wafer (Silikon devre levhası) : Hammadde olan Polisilikon, ingot haline getirildikten sonra, dilimlenir, tekrar pürüzsüz bir yüzey olması için temizlenir, ayrıştırılır, son temizleme yapılır, kontrol edilir ve Wafer formuna kavuşur.



Şekil 35 Wafer Üretim Süreci

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

Solar Hücre üretimi tamamen tozdan arındırılmış tesislerde yapılır. Bu tip tesislerde temiz odalar mevcuttur. Üretimde çalışan personel sayısı minimize edilmiştir ve ağırlıklı olarak otomasyonlar yardımı ile hiç durmadan üretim yapılır.



Şekil 36 Solar Hücre Üretim Hattı

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

Tekstüre Süreci: Bu süreçte, hasarlı yüzeyleri ince hassas bıçak ile temizleme yapılır. Yüzey pürüzsüz ve parlak bir forma kavuşur. Yapısal olarak kamera yardımıyla son kontrol yapılır.



Şekil 37 Tekstüre Makineleri

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

Difüzyon Süreci: Bu süreçte elektrik üretici taşıyıcıların toplanması ve voltaj üretimi sağlanır.



Şekil 38 Difüzyon İstasyonu

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

Plazma ile Aşındırma: Cam kalıntılarının temizlenmesi ve fosfor düşürücü sürecin uygulanmasıdır.



Şekil 39 Plazma Süreci

Kaynak: Morgan K. Solar Cell
Presentation .2017 PVSEC Conference

Production Technical

Anti Reflektif Kaplama: Hücre yüzeyinin özel kimyasallar ile yansıtma öneyici şekilde kaplamasıdır



Şekil 40 Anti Reflektif Kaplama

Kaynak: Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

2.1.4.4. Ribbon – İletken Bakır Tel

Fotovoltaik Paneller de hücrelerden elde edilen iletimi sağlayan bakır tabanlı, kurşun, kalay, gümüş (veya gümüşüz) tellere Ribbon denir. Hücreler arasında bağlantıyı sağlayan TAB Ribbon denir. BUS Ribbon ise ana yüklenici ve elektrik kutusuna tüm elektriği ileten ribbondur. Ribbon, solar hücrelerin güneş ışığı ile ürettikleri elektriği elektrik kutusu ile vermesini sağlayan, üretimde kullanılan malzemedir. Ortam sıcaklığında saklanması gereklidir. Vakumlu poşetlerde paketlenir.



Şekil 41 Fotovoltaik Ribbon

2.1.4.5. Etilen Vinil Asetat (EVA)

Eva (Etilen Vinil Asetat) özel formülasyonla solar paneller için UH teknolojiyle üretilen polimer bir filmidir. EVA film, solar hücre ile cam ve solar hücre ile Backsheet arasında laminasyon sonucu homojen bir yapışma özelliği gösterir. Bu sayede modüllerin en önemli malzemesi olan solar hücrenin aynı zamanda korumasında yapmış olur.. Daha dayanıklı ve üretimde verimi yüksek panel üretilmesinin parametrelerinden bir tanesi de EVA seçimidir. Fotovoltaik modüllerin içerisine su ,toz , hava kaçmasını önler. Verimliliğin yüksek olması ve bakım maliyetlerinin minimumda tutulmasını katkı sağlar. Şekil 42 de gösterilmiştir.



Şekil 42 EVA Folyo

2.1.4.6. Arka Tabaka Folyo (Backsheet)

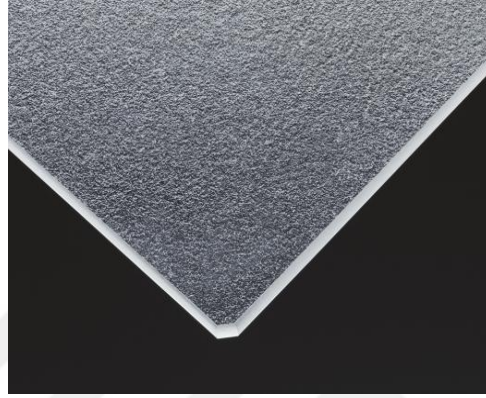
Bir PV modülün (fotovoltaik) modülünün yapımında kullanılan kritik güneş paneli malzemelerinden biri, güneş pili arka levhasıdır. Pv arka tabakası, PV modülünün en dış tabakası üzerindedir. PV arka levha, modülün iç bileşenlerini, özellikle fotovoltaik hücreleri ve elektrik bileşenlerini dış gerilimlerden korumak ve elektrik yalıtkanı görevi yapmak üzere tasarlanmıştır. Polyester tabanlı olan arka levha, cam ile beraber dışarıyla temas halindeki malzemedir.



Şekil 43 Backsheet

2.1.4.7. Solar Cam

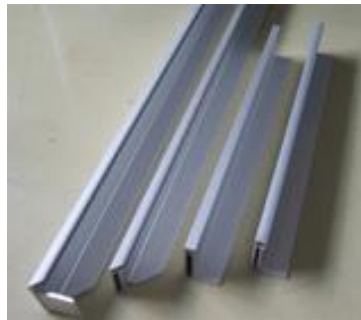
Doğrudan yansımayı ve ortaya çıkan göz kamaştırmayı en aza indirmek için özel üretilen solar panel camının her iki tarafına ince bir mikro yansımayı engelleyici tabaka mevcuttur. Solar camlar yüksek güneş geçirgenliğine sahiptir ve bu nedenle arka levhanın güneş ışığını yansıtarak solar modül içerisinde en yüksek verimi elde etmesini sağlar.



Şekil 44 Fotovoltaik Modül için özel Cam

2.1.4.8. Solar Panel Çerçevesi

Güneş panellerinin çoğu, montaj bağlantı noktaları ve cam laminatın kenarları için koruma sağlayan alüminyum çerçevelerle donatılmıştır. Alüminyum ve camın genleşme ve büzülme oranı farklıdır ve bu nedenle bunları birleştirmek için kullanılan malzemeler stres oluşumunu önlemek için önemlidir. Solar panelde kullanılan çerçevenin kalınlığı ve kaliteli malzemen üretilmiş olması, solar panelin garanti süresini etkiler. Çok ince alüminyum çerçeveler, solar panelin kurulumdan sonraki dayanımına (kar yükü, rüzgâr yükü vb.) etki eder.



Şekil 45 Alüminyum Çerçeve

2.1.4.9. Elektrik Kutusu (JB)

Kristalin modüllerdeki yatay şerit iletkenlerin elektrik bağlantısı için kullanılan elektrik kutusudur. Laminasyondan sonra taşıyıcı ribbonlar klemensle diyetlarına bağlanır. Elektrik kutusunun ucundaki kablolardaki konektörlere ile üretilen elektriğin invertör aracılığı ile depolanmasını veya direk şebeke üzerinden kullanılmasını sağlar.



Şekil 46 Elektrik Kutusu

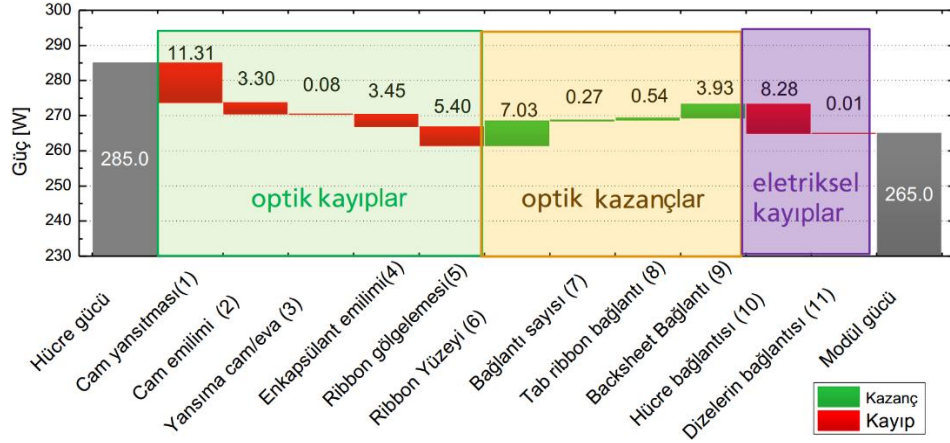
2.1.5. Solar Hücreden Fotovoltaik Modüle Kayıplar

Hücre den modüle kayıplar hesaplanırken kullanılan formül aşağıdadır.

CTM (Cell to Module) Hücreden Modüle kayıplar faktörleri şöyle ifade edilebilir:

Güç		
- Mutlak Değer	Göreceli Oran:	$CTM_{Güç} [\%] = \frac{\sum P_{Hücre}}{P_{Modül}}$
- Göreceli Değer	Kesin Fark :	$CTM_{Güç} [Watt] = P_{Modül} - \sum P_{Hücre}$

CTM hesaplanırken elektriksel kayıplar ve optik kazanç ve kayıplar veri olarak kullanılır. Temel amaç hücre verimliliğini tamamen modül verimliliğine aktarmaktır.



Şekil 47 CTM Kayıpları Analizi

Kaynak: Fraunhofer 2018 Pv Report [www.ise.fraunhofer.de/\(25.12.2018\)tarikhinde alındı.](http://www.ise.fraunhofer.de/(25.12.2018)tarikhinde%20alındı.)

Yukarıdaki şekilden anlaşılacağı üzere hücreden module kayıplar %10 seviyelerine ulaşabilmektedir.

CTM oranının düşmesi için üretim sürecinde yapılması gerekenler basitçe aşağıda anlatılmıştır.

- Kullanılacak Ribbon ölçüsünün hücre üzerindeki bus bar ile uyumlu olması
- Hücre yüzeyi mümkün olduğunca maksimum olarak kullanılması
- Laminasyon reçetesinde mükemmele yakın bir çıktı alınması
- Arka tabakanın yansıtma oranı
- Dize bağlantılarının doğru yapılması
- Ribbon gölgeleme hesabının doğru yapılması
- Yüksek verimlilikte hücre kullanılması
- Elektrik kutusu bağlantısının doğru yapılması

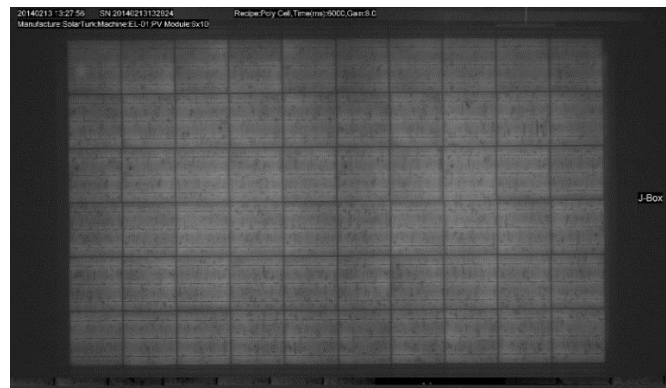
2.1.6. Fotovoltaik Modul Üretiminde Yapılan Testler

Fotovoltaik modül üretim tesislerinde üretim esnasında yapılan çeşitli testler mevcuttur. Üretici firmalar ürün kalitelerini ve üretim akışını kontrol ederken panelleri belirli testlerden geçirirler.

2.1.6.1. Elektrolüminesans Testi (EL)

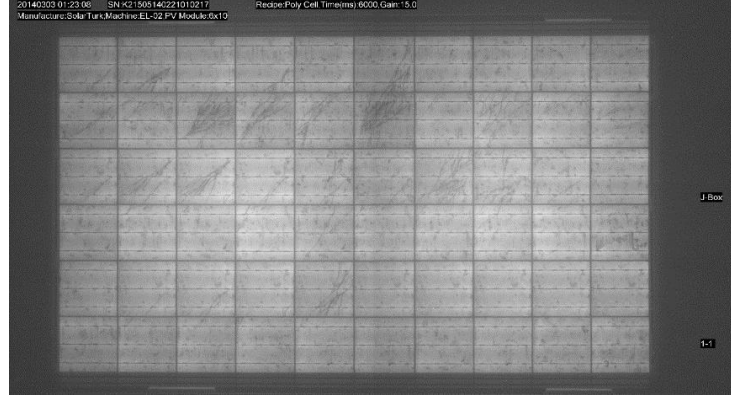
Elektrolüminesans Test cihazı Fotovoltaik panellerin sahip olduğu gözle görülemeyecek kısa devre, mikro çatlak, laminasyon eksikliği ve yanlış hizalama gibi modül kalitesini ve verimini düşürücü etkiye sahip kusurların fark edilip laminasyon öncesinde modülün tamirine, laminasyon sonrasında ise üretim hattının takibi ve tüketiciye gönderilecek ürünlerin yüksek kalite de olduğundan emin olabilmemize olanak sağlar.

Laminasyon öncesi ve Sun Simülatör Test sonrası yerleştirilen 2 adet Elektrolüminesans Test Cihazı tıpkı bir röntgen cihazı gibi çalışarak panel içerisinde bulunan hücrelerin detaylı görüntüsünü alarak hücredeki mikro çatlaklar, hizalama, lehimleme görüntüsü hakkında detaylı bilgiyi üreticiye sunar. Modül laminasyon öncesinde fark edilebilen hatanın geri dönüşümü yapılabilmektedir. Ancak laminasyon işlemi tamamlanmış bir modüldeki kısa devre, kırık hücre, hizalama eksikliği gibi kusurların tamir edilmesi şu an için mümkün değildir.



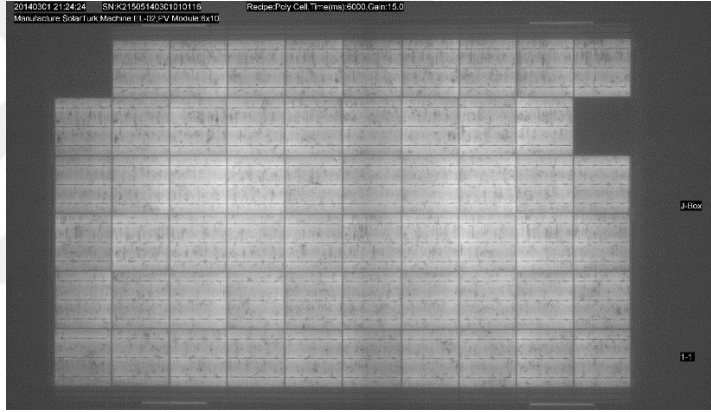
Şekil 48 Hatasız Fotovoltaik Modul

Kaynak: Fotovoltaik Panel Üretim Tesisi, Türkiye



Şekil 49 Mikro Çatlak Olan Fotovoltaik Modul

Kaynak: Fotovoltaik Panel Üretim Tesisi, Türkiye



Şekil 50 Yanlış Lehimleme Yapılmış Ölü Bölgesi Fotovoltaik Modul

Kaynak: Fotovoltaik Panel Üretim Tesisi, Türkiye

Laminasyon öncesi kullanılan Elektrolüminesans Test Cihazı bize bu tür hataları önceden fark edip, gerekli değişimleri ve düzenlemeleri yapmamızı sağlar. Üretim aşamasında fark edilen mikro çatlaklar ve lehimleme kusurları düzeltilerek, ileri zamanlarda panellerde oluşabilecek önemli güç ve verim kayıplarını önlenmesini sağlar.

2.1.6.2. Jel İçeriği Testi

Fotovoltaik panellerin üretimi süreçleri arasında bulunan laminasyon sürecinde panellerin tam anlamıyla istenilen seviyede lamine olup olmadığına kalite kontrol departmanı tarafından takip edilir.

Jel içeriği testi, bir fotovoltaik panel üretiminde laminasyon kalitesini kontrol etmek için yapılan bir laboratuvar testidir. Jel içeriği testi hazırlığı;

- 1- 100 x 100 mm ölçüsünde iki adet Eva kesilip, 120 x 250 mm ölçüsünde teflonun arasına yerleştirilir.
- 2- Hazırlanan rneğin üzerine etiket yapıştırılır. Etiket üzerinde kullanılan Eva markası, rulo numarası, laminasyon reçetesi ve uygulama tarihi yazılır.
- 3- Yukarıdaki örnekten 5 adet hazırlanır.



şekil 51 Jel İçeriği Testi Eva - Teflon Gösterimi

Jel testi uygulama süreci :

Hazırlanan rnekler 5 parça halinde laminasyon içerisinde farklı konumlara yerleştirilip, laminasyon süreci başlatılır. Laminasyon işlemi bittikten sonra jel içeriği kontrolü için ilgili formüle istinaden testler yapılır.

$$\% \text{ Jel} = [(W3 - W2) / W1] * 100$$

W1 : Eva' nın sıcak ksilen içine konmadan önceki ağırlığı

W2 : Filtre kağının ağırlığı

W3 : Filtre kâğıdı ile kurumuş jel ağırlığı



Yaklaşık. 1 gram kurutulmuş EVA ve kesilen parçayı analitik terazide tartması, W1 olarak tanımlanır.



Filtre kağıdının tartılması, W2 olarak tanımlanır.



Tüm işlemlerin bitirilmesi ardından tartılması, W3 olarak tanımlanır

Jel içeriği testinin sonucunun %75 ve üzerinde çıkması, laminasyon işleminin başarılı ile tamamlandığını göstermektedir. Referans değer olan %75 altında çıkan sonuçlarda, fotovoltaiik panelin sahada problem yaşamasına sebep olabilir.

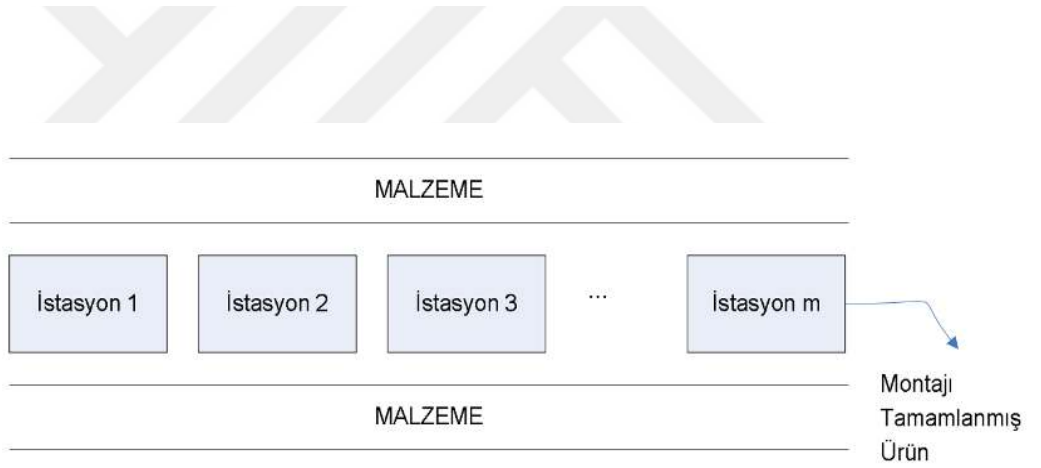
Üçüncü Bölüm

MONTAJ HATTI İYİLEŞTİRME

3. MONTAJ HATTININ TANIMI

Montaj hattı; malzemelerin bir hat boyunca işgücü yardımıyla ya da otomatik olarak iletilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerinde bir hat boyunca sıralı iş istasyonlarında yapılması olarak tanımlanabilir. (Yılmaz , 2016)

Nihai ürünü elde etmek için, montaj işleminin ve ilgili operasyonların gerçekleştirildiği, aralarında malzemelerin akış hattı boyunca taşındığı (genelde bir konveyör yardımı ile) ardışık iş istasyonlarından oluşan hatta montaj hattı denir. (Bayraktaroğlu, 2007) Şekil 52 da örnek bir montaj hattı görülmektedir.



Şekil 52 Örnek Bir Montaj Hattı

Kaynak: Kuvvetli, Y. (2010) Karma modellenli montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi için yeni bir yaklaşım.

Montaj hattında yerine getirilecek görevlerin;

- İstasyonlar arasında öncelik ilişkileri ihlal edilmeden,
 - Belirlenen çevrim zamanını aşmayarak,
 - Belirlenen performans ölçütlerini en iyilecek şekilde,
- İstasyonlara atanması problemine montaj hattı dengeleme problemi denir.

3.1. Montaj Hattı Genel Kavramlar

Montaj: Çeşitli hammadde, yarı mamul ve parçaları sistematik biçimde bir araya getirerek karmaşık bir mamul üretmektir.

İşlem: Bir montaj hattında tamamlanması gereken işin en küçük parçasıdır.

İşlem süresi: Bir işlemin tamamlanabilmesi için gereken süredir.

İş istasyonu: Bir montaj hattında işlemlerin yapıldığı yerdir. Bir iş istasyonunda bir den fazla iş yapılabilir.

Operasyon süresi: Belirlenen zaman diliminde yapılan toplam işlem süresidir.

Üretim miktarı: Belirlenen zaman diliminde yapılan toplam üretim miktarıdır.

Çevrim zamanı: Montaj hattında bir istasyona, o istasyona atanan görevlerinin tamamlanabilmesi için atanan zamandır. Hattan art arda çıkan iki ürün arasındaki süreyi ifade eder.

Montaj hattı, üzerinde verilen bir işin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır (Çakır 2006)

İstasyon boş zamanı: Montaj hattının çevrim zamanı ile üretim hattında açılan bir istasyonun, istasyon zamanı arasındaki farktır.

Toplam boş zaman: Montaj hattını oluşturan bütün istasyonların boş zamanlarının toplamıdır.

Denge gecikmesi: Toplam boş geçen zamanın, ürünün hat boyunca harcadığı zamana oranıdır. Hattın etkinliğinin bir ölçüsü olarak kullanılır.

$$DG = (100 \times TBZ) / (M \times C)$$

DG: Denge Gecikmesi

TBZ: Toplam Boş Zaman

M: İstasyon Sayısı

C: Çevrim Zamanı

Hat etkinliği: Ürünün hat boyunca harcadığı süreye , görev sürelerinin oranıdır. Hattın etkinliğinin bir ölçüsü olarak kullanılır.

$$HE = (100 \times TGS) / (M \times C)$$

HE: Hat Etkinliği

TGS: Toplam Görev Süresi

M: İstasyon Sayısı

C: Çevrim Zamanı

Mükemmel dengelenmiş hatlarda, tüm istasyonlar tam dolu, toplam boş zaman sıfır, dolayısıyla hat etkinliği 100, denge gecikmesi 0 dır.

Düzgünlük İndeksi: Dengeleme performansının bir ölçüsü olarak kullanılır. Her bir istasyon zamanının, en büyük istasyon zamanından farklarının kareleri toplamının kareköküdür. Mükemmel dengelenmiş hatlarında düzgünlük indeksi 0 dır.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^K (ST_{max} - ST_i)^2}$$

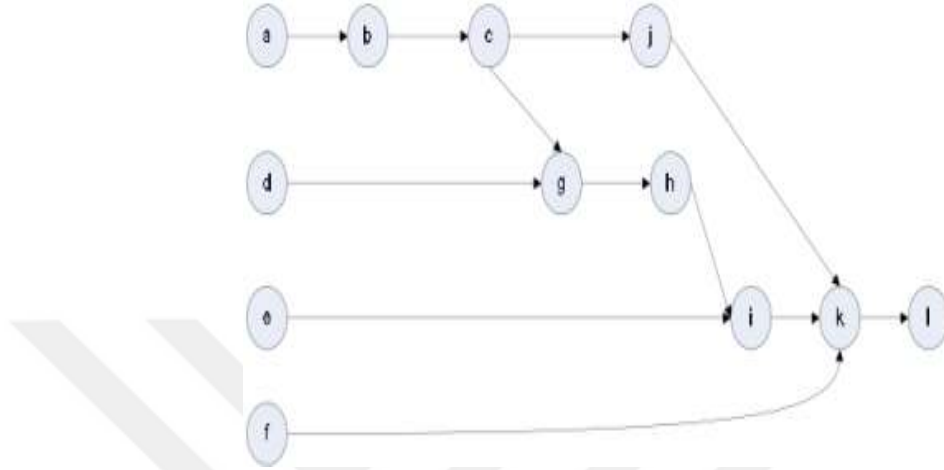
SI : Düzgünlük İndeksi

K : İstasyon Sayısı

ST_i = i İstasyonun istasyon zamanı

ST_{max} = Maksimum istasyon zamanı

Öncelik Diyagramı: Bir montaj hattında işlemler arasındaki ilişkilerin ifade edilmesini sağlayan diyagramdır. Bazı işlemlerden diğerinden önce yapılmak zorundadır. Örnek bir öncelik diyagramı Şekil 53 da gösterilmiştir.



Şekil 53 Örnek Öncelik Diyagramı

Kaynak: Aşkın R.G. ve Standridge C.R., 1993. Modelling and Analysis of Manufacturing Systems.

Montaj hatları kurulurken belli bir amaç üzerine planlama yapılmaktadır. Aşağıda amaçlar kısaca belirtilmiştir:

- 1- Malzeme akışının düzenli olması
 - 2- Çalışan performansının maksimum seviyede olması
 - 3- Üretimde makine kapasitelerini üst limitlerde kullanmak.
 - 4- En kısa sürede en fazla malzemeyi üretmek
 - 5- Üretimde minimum fire ile çalışmak
 - 6- Makine boş kalma sürelerini minimum tutarak , dengeleme yapmak.
 - 7- Gerekli iş istasyonu sayısını minimize etmek
 - 8- İş istasyonları arasında denge kayıplarını eşit şekilde dağıtmak.
 - 9- Gerekli durumda hat dengeleme maliyetinin minimum seviyede tutulması.
- (İllez , 2006)

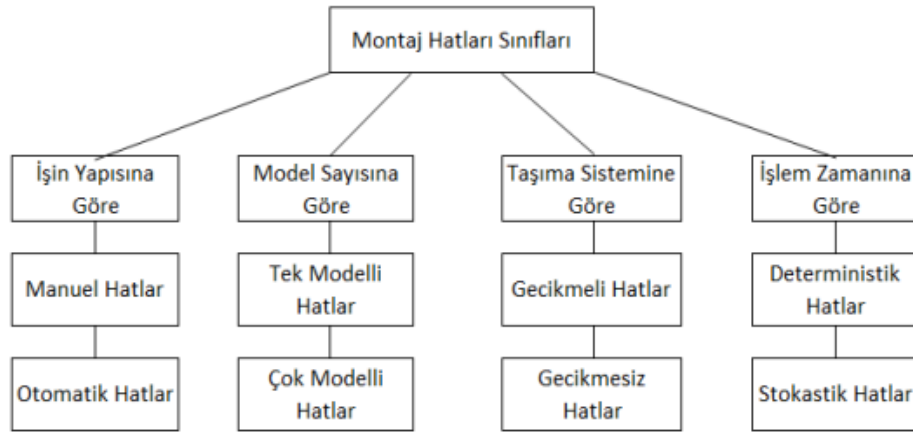
Montaj hattı dengelemede amaçlar birbiriyle doğru orantılı olmadığı durumlarda, hepsinden aynı anda en yüksek düzeyde verime ulaşmak mümkün değildir. Montaj hattı dengelemesinde en önemli amaç, yapılan işlemler arasındaki farklar göz önünde bulundurularak en uygun çözüme ulaşmaktır. Dengeleme işlemi yapılırken maliyette göz önünde bulundurulmaktadır.

İş gücünün dengelemesinde izlenecek yollar aşağıdaki gibidir:

- 1- Bir fazla istasyonda tek işçi çalıştırılabilir.
- 2- İşçiler çalışma hızlarına göre hat içerisinde görevlendirilebilir.
- 3- İşçilere özelliklerine göre istasyon atanabilir.
- 4- Üretim hattında minimum insan gücü felsefesine göre işçi sayısı azaltılabilir.

3.2. Montaj Hattı Sınıflandırılması

Montaj hatları; işin yapısına, model sayısına, taşıma sistemlerine ve işlem zamanlarına göre sınıflandırılabilir. Sınıflarına göre montaj hatları Şekil 54 de gösterilmektedir



Şekil 54 Sınıflarına Göre Montaj Hatları

Kaynak: Yılmaz, M. M. (2006), Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi,

Montaj hatları taşıma sistemlerine göre gecikmeli ve gecikmesiz olarak ikiye ayrılır.

İş parçaları, hareketli bantlar üzerinde bir istasyondan diğerine sabit hızda hareket ederler veya işlendikten sonra kesik kesik transfer edilirler. Her iki durumda da her bir istasyona, görevlerin yerine getirilmesinde aynı zaman miktarı verilir. Gecikmeli hatlar, bu tip hatlarda istasyonlar arasında tampon bulunmaktadır. Tampon, takip eden istasyonda bir önceki işlem devam ederken iş parçasının tutulduğu yer olarak tanımlanır. (Yılmaz , 2006)

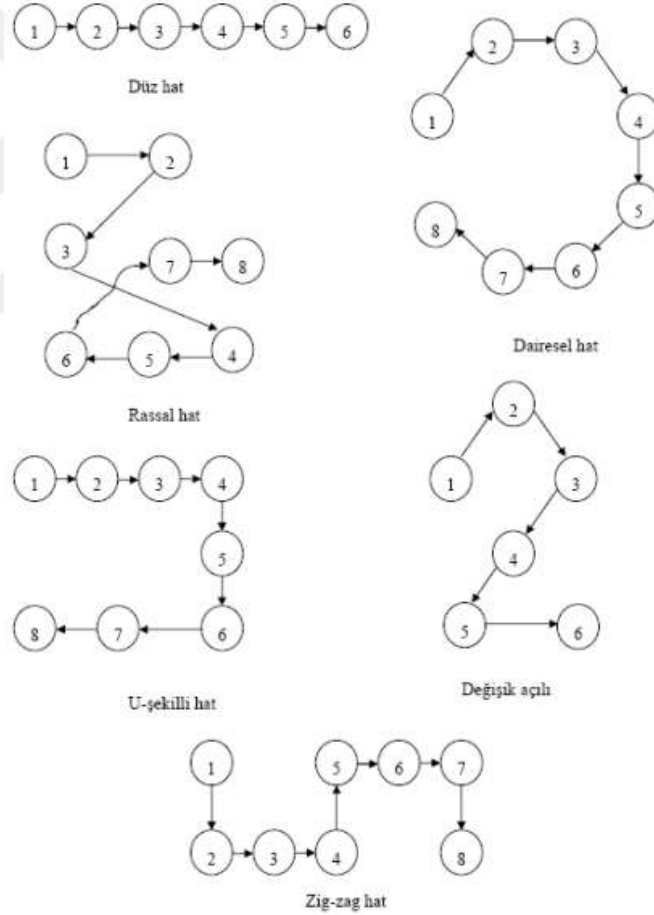
Model sayısına göre montaj hatları; çok modellenli hatlar, karışık modellenli hatlar ve tek modellenli hatlar olmak üzere üçe ayrılır. Tek modellenlide tek bir ürün çeşidi üretilir. Birden fazla modellenli üretim hatlarında ,değişik modellerin üretimi yapılır. Değişik modellerin üretim süreci birbirinden farklı ve partiler halinde , farklı zamanlarda yapılır. Karışık modellenli hatlarda, değişik modeller aynı anda ve karışık olarak üretilirler. (Gökçen , 1994)

Montaj hatları , manuel veya otomatik olarak iki farklı sınıfa ayrılır. Manuel hatlarda ürün son sürece ulaşana kadar ve işin yapısına göre manuel ya da otomatik olarak ikiye ayrılır. Manuel hatlarda ürün son istasyona ulaşana kadar ve bir ürün olarak üretimden ayrılma kadar çoklu istasyonlar da işlem görür. Herbir istasyonda yapılan toplam iş yükünün bir kısmı , bir ya da birden fazla işçi ile yapılmaktadır. Otomatik hatlarda, istasyonlardaki işler ve istasyonlar arası transferler otomatik olarak yapılmaktadır. (Çakır , 2006)

İşlem zamanına göre sınıflandırma yapılırken montaj hatları , stokastik işlem zamanlı ve deterministik işlem zamanlı olarak ikiye ayrılır. Görev zamanlarının belirli olduğu ve bir işlemden diğer işleme bu zamanlarda değişim olmadığı varsayıldığı durumlar deterministik işlem zamanı sınıfına girer. Stokastik işlem zamanlı montaj hatlarında, görev zamanları, belirli bir dağılımla ifade edilir. İnsan unsuru, görev zamanlarının değişken olmasına yol açmaktadır. (Gökçen , 1994)

3.3. Montaj Hatlarının Yerleşimi

Üretilcek ürün için gerekli olan hattın kurulacağı alanın uzunluğu/genişliği/yüksekliği, montaj hattı şeklini belirlemede öncelikli olarak göz önünde bulundurulur. Genelde düz hatlar tercih edilir ancak bazı durumlarda makinenin birden fazla istasyonda kullanılması, hattın kurulacağı alanın özelliklerinin düz hatta izin vermemesi gibi çeşitli nedenlerden ötürü, farklı biçimlerde hat şekilleri de tercih edilebilir. Fiziksel montaj hatları düz, dairesel, rassal, değişik açılı, U-şekilli ve zig-zag (S şekilli) gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir. . (Bayraktaroğlu, 2007) Çeşitli montaj hatlarının yerleşimi Şekil 55 de gösterilmiştir.



Şekil 55 Fiziksel Montaj Hatları

Kaynak : Bayraktaroğlu, A.E..(2007) , Basit U-tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması.

Montaj hatlarının tasarlanmasında en başta iki önemli noktaya dikkat etmek gerekir. Öncelikle zaman kayıplarının en aza indirilecek şekilde tasarlanması ve ilgili hatta çalışacak işçilerin kolay çalışmasını sağlamaktır. Bu sayede yüksek verimli bir üretim yapılabilir. Genellikle montaj hatların da düz hat tercih edilir. Bunun birkaç sebebi aşağıda açıklanmıştır.

1-Sistematik ve basit olması

2-Yerleşimin kolayca yapılabilmesi

3-Akış tipi konveyör sistemi uygulanabilirliği

Bazı özel durumlarda, değişik şekillerde montaj şekillerinin kullanımı söz konusu olabilir. Bu tip özel durumlarla ilgili aşağıda çeşitli örnekler verilmiştir.

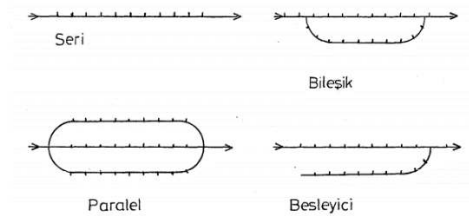
1) Üretim hattının boyu uzun ancak var olan yere sığmıyorsa ya da düz hat yerleştirme yapıldığında çok fazla alan boşa kalıyorsa, U-şekilli veya dairesel hat kullanılır.

2) Genel ihtiyaç tesisat bağlantıları birden fazla istasyonda aynı kaynak kullanılarak işlem görüyorsa U şeklindeki hatlar tercih edilir.

3) Alan ile alakalı kısıtlamalar var ise ve üretime uygun olmayacak şekilde yan yana dizilim olacak ise , düz hatlardan farklı olarak farklı bir hat kullanılır.

4) Yüksek maliyetli olan bir makineye birden fazla işlem yaptırılıyorsa kesinlikle U tipi hatlar tercih sebebidir.

Fonksiyonel montaj hatları ise aşağıda şekil 56 da gösterilmiştir.

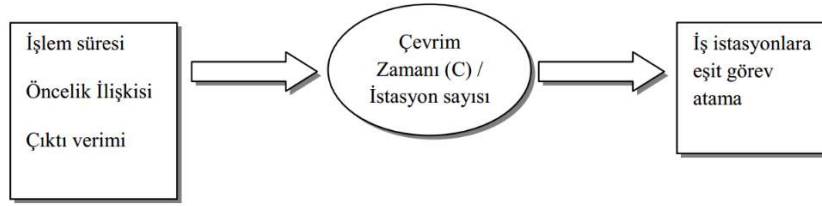


Şekil 56 Fonksiyonel Montaj Hatları

Kaynak : Bayraktaroğlu, A.E..(2007) , Basit U-tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması.

3.4. Montaj Hattı Dengeleme

Montaj hatları, ürünlerin bir istasyondan diğer istasyona devam etmesi ile meydana gelen sistemlerdir. Her iş parçasının ilgili istasyonlara atamasının yapılması ile beraber, istasyonda görevli olan işçinin devamlı aynı işlemi yapması sağlanır. Bu sayede istasyonlarda yapılan işlerde zaman ve işçiden kaynaklanacak kayıplar minimum seviyeye indirilmiş olur.



Şekil 57 Montaj Hattı Dengeleme Sistemi

Kaynak : Güner M. , İşler M. , Acar E. (2014) Bir Konfeksiyon Ürünü Üretiminde Dikim Hattının Farklı Yöntemler ile Dengelenmesi

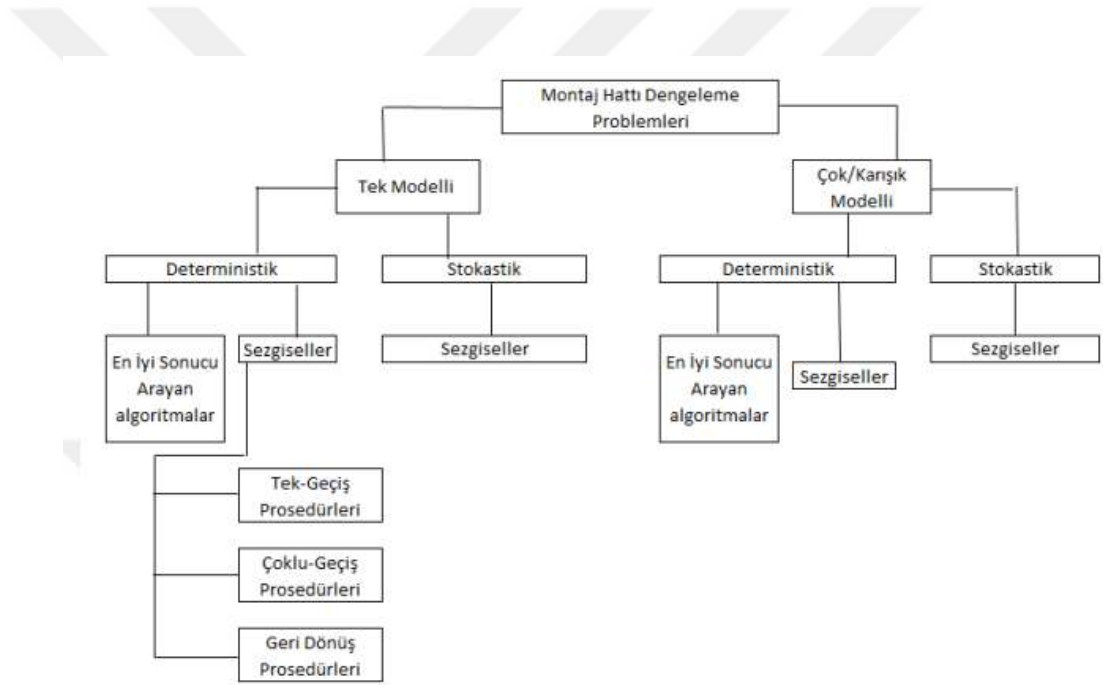
Hat dengeleme, makine parkı ve işgücünün en yüksek verimlilik ve en düşük maliyet ile sonuçlanmasını sağlayan bir çalışmadır. Montaj hatlarında ana ürün elde edebilmek için bu ürüne ait parçaların birleştirilmesi yapılır. Montaj hattı dengelemesi yapılırken en önemli amaç, ilgili görevleri, ilgili istasyonlara doğru şekilde atamaktır. Genellikle işlem süreleri aynı değildir.

İşlem süreleri arasındaki bu farklılıklar istasyonlarda zaman farklılıklarına sebep olmaktadır. Hat dengelemenin en temel amacı, istasyonlardaki zaman farklılıklarını azaltarak, montaj hattındaki toplam iş yükünü istasyonlara eşit olarak dağıtmaktır. . (Güner , İşler , Acar, 2014)

3.4.1. Montaj Hattı Dengeleme Yöntemleri

Literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında MHDP (Montaj Hattı Dengeleme Problemi) için birçok farklı çözüm algoritmasına rastlanmıştır. Benzetim teknikleri, matematiksel programlama yaklaşımı ve sezgisel yöntemler başlıca kullanılan tekniklerdir.

Problemin zorluğu göz önüne alındığında genelde sezgisel yaklaşımlar tercih edilmektedir. (Bayraktaroğlu, 2007) tarafından yapılan çalışmada mevcut çözüm yaklaşımları Şekil 58’de özetlenmiştir



Şekil 58 MHDP ' lerin ve Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Kaynak : Bayraktaroğlu, A.E..(2007) , Basit U-tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması.

3.4.2. Hat Dengelemede Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma

3.4.2.1. Benzetim Tekniklerine Göre Hat Dengeleme

Yöneticilerin bilgisayar programları yardımıyla karar vermesinde benzetim tekniği kolaylık sağlar. Montaj hattının bilgisayar üzerinde nasıl çalıştığını görmek, oluşabilecek problemleri analiz etmek ve çözüm bulmak için benzetim teknikleri kullanılır. Literatür araştırması yapılırken bu hakkında genellikle kullanılan programlar ve kısaca program hakkında bilgilendirmeler aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Win QSB: WinQSB, özellikle yöneylem literatürünü barındıran bir paket programdır. Üretim hatlarında endüstri mühendislerinin karşısına çıkacak her türlü problem türü için bir modülü içinde barındırır. Her bir modül ise kendi içerisinde literatürdeki algoritma ve çözüm yöntemlerini içerir. Kullanıcıya çok basit ara yüzü ve kullanım kolaylığı sunmaktadır.

LINDO: Doğrusal programlama, tam sayılı programlama, doğrusal olmayan programlama, stokasprogramlama ve global optimizasyon için bir yazılım paketidir. Programının amacı, doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kullanıcıya süratli bir şekilde sonucu vermek, basit bir şekilde problemi çözüme götürerek doğrusal programlama formülasyonunun uygunluğu ve doğruluğu hakkında fikir vermektedir.

CRAFT: Tesislerin programlanmış görelî yerleştirme tekniğidir. CRAFT algoritması ilk olarak Armor ve Buffa tarafından geliştirilmiştir. Bu bir geliştirme algoritmasıdır. İlk yerleşim planıyla başlar ve bölümleri ikili olarak değiştirerek yerleşimi iyileştirir, böylece nakliye maliyeti en aza indirilir. Algoritma, nakliye maliyetini azaltmak için başka bir değişim mümkün olmayana kadar devam eder. CRAFT tarafından verilen sonuç asgari nakliye maliyeti açısından optimum değildir. Ancak sonuç uygulamaların çoğunda iyi ve optimum seviyeye yakın olacaktır.

ANYLOGIC: Farklı benzetim tekniklerinin birlikte yer aldığı modellerin oluşturulmasını destekleyen etkin bir simülasyon yazılım aracıdır. Anylogic etmen (ajan) kütüphanesi ve dinamik etmen oluşturma, yok etme, birbirleri ile bağlantısını sağlama, haberleşmesini gerçekleştirme gibi çeşitli tanımlamaları ile “Ajan (etmen)

Tabanlı Simülasyon” oluşturmada kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. Java programlama dili ve nesne yönelimli programlama yaklaşımını kullanan Anylogic yazılımı araştırmacıların oldukça dikkatini çekmektedir. Bu yazılım ile farklı uygulama alanlarına yönelik gerçekleştirilmiş çeşitli örnek çalışmalar mevcuttur.

Örneğin tedarik zinciri yönetimi, malzeme taşıma sistemi, hava savunma sistemi, araç çizelgeleme gibi daha birçok sistemin modellenmesine yönelik, yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca Anylogic nesne yönelimli programlamayı desteklerken, ihtiyaca uygun hazır kütüphaneler kullanılabilmekte, oluşturulan modelin 3B/2B kavramsal görsel modelini kolaylıkla desteklemektedir. (www.anylogic.com)

Modelleme uzmanı genel olarak , sistemdeki aktif olan etmenleri ve onların çevreleri ile olan ilişkilerini Anylogic yazılımında kolaylıkla tanımlayabilir. Anylogic etmen tabanlı kütüphanesi araştırmacılara gerekli olan bütün model kısa kodlarını , resimli olarak anlatımlarını vermektedir. Anylogic kullanırken en büyük avantajlardan birkaç tanesi aşağıda mevcuttur.

- a.)Etmen tabanlı modellemede kullanılan kesikli benzetimi , sistem dinamiğini bir arada verimli bir şekilde kullanımına imkân verir.
- b.)Modelleme yaparken ara yüzü kolaylığı sayesinde birçok sistemi modellemenin kolay olması ayrıca basit kavramsal modelleri oluşturabilirken , karmaşık büyük ölçekli modellerinde çalıştırabilmesi.
- c.)İhtiyaç halinde dış kaynak kullanımında başarılı olması .(Excel, JAVA)

3.4.2.2. Analitik Yöntemler

Analitik yöntemler “Matematiksel Programlama Yöntemleri” veya “Optimizasyon Yöntemleri “olarak da literatürde yer almaktadır. “Doğrusal Tam Sayılı Programlama Yöntemi” E.H. Bowman tarafından ilk geliştirilen analitik yöntemdir.

Montaj hatlarına sebep veren problemlerin çözümünde aşağıdaki şartlar kontrol edilir.

- 1-Çevrim zamanı istasyonun iş yükünden küçük olamaz..
- 2-İşlemlerin öncelik kısıtları göz önünde bulundurulur.
- 3-Ürüne ait işlemler, üretim hattı sonuna kadar tamamlanmış olmalıdır.
- 4-İşlemler sadece bir istasyona verilmelidir.
- 5-İş istasyonu sayısını en küçüklemek amaçlanmalıdır.

Bowman Yöntemi: Amaç fonksiyonunu minimize olmasını sağlayacak işlem , istasyon sayısı ve atamaları bu yöntem ile kolaylıkla bulunabilir. Bu nedenle; bu modele benzer nitelikte matematiksel modellerin geliştirilmesine karşın, montaj hattı dengeleme problemlerine bulgusal yöntemlerle yaklaşılması daha uygun olmaktadır. (Bowman , 1960 , 385-389)

3.4.2.3. Sezgisel Yöntemler

Montaj hattı dengeleme yapılır iken sezgisel yöntemler, önceden belirlenmiş bir prosedürü takip ederek ve bazı varsayımları ele alarak yaklaşırlar. Montaj hattı dengeleme problemlerinin çok karmaşık bir yapıda olması , çözüme giderken geçilen aşamaların karmaşık olması ve çözüm zamanının ilgili problemin büyüklüğü ile paralel olmasından dolayı genellikle sezgisel yöntemler tercih edilir. Gerçek hayat problemlerinde sezgisel tekniklerin kullanımı daha fazladır (Acar ve Eştaş 1991).

En Uzun İşlem Süresi Yöntemi:

Standart zamanların büyüklüğüne göre işlemlerin istasyonlara atanmasını esas alan bir yöntemdir. Anlaşılması ve uygulanması en basit yöntemdir. Yöntemin aşamaları aşağıda sıralanmıştır:

1. Bütün işlemler standart zamanların büyüklüğüne göre sıralanır.
2. İlk istasyona atanacak işlemlerin seçimine listenin ilk sırasından başlanır. Öncesinde yapılması gereken tüm işlemler tamamlanmış ve kendi süresiyle birlikte istasyonun standart süresi, çevrim zamanını aşmayan işlemler birinci istasyona atanır. Bu koşula uymayan işlemler dikkate alınmaz.

3. İkinci aşamadaki işlemlere, 1. İstasyona atanabilecek hiçbir işlem kalmayana kadar devam edilir.
4. Her istasyon için, listenin kalan işlemleri içinde en üstten başlayarak 2. ve 3. aşamalar, tüm işlemler istasyonlara atanıncaya kadar devam edilir.

Göreceli Pozisyon Ağırlıkları Yöntemi: Yöntemin temel yapı taşı, işlemin standart zamanı ve öncelik şemasındaki pozisyonu dikkate alınarak hesaplanan pozisyon ağırlık değerleridir. Helgeson ve Birnie tarafından 1961 yılında ortaya konan Göreceli Pozisyon ağırlıkları Yöntemi, diğer yöntemlere göre daha hızlı ve daha iyi çözümler veren bir yöntemdir. İşlemlerin standart zaman büyüklüklerinin ve öncelik şemasındaki pozisyonlarının beraber dikkate alınmasıyla, En Uzun operasyon Yöntemi ile Kilbridge ve Wester Yöntemlerinin kombinasyonu gibi değerlendirilebilir. (Helgeson ve Birnie 1961 , 384-398)

Yöntemin temeli, işlemin standart zamanı ve öncelik şemasındaki pozisyonuna bakılarak hesaplanan pozisyon ağırlık değerleridir.

Yöntemin aşamaları şu şekildedir:

1. Her işleme ait pozisyon ağırlık değerleri hesaplanır. Bir işleme ait pozisyon ağırlık değeri, kendi standart değeri ile işlem öncelik şemasında o işlemi takip eden tüm işlemlerin standart zamanlarının toplamına eşittir.
2. İşlemler pozisyon ağırlık değerlerine göre büyükten küçüğe listelenir. Listede standart zaman değerleri ve işlemin öncesinde yapılması gereken işlemler de belirtilir.
3. İlk istasyona atanacak işlemlerin seçimine listenin ilk sırasından başlanır. Öncesinde yapılması gereken tüm işlemler tamamlanmış ve kendi süresiyle birlikte istasyonun standart süresi, çevrim zamanını geçmeyen işlemler birinci istasyona atanır. Bu koşula uymayan işlemler dikkate alınmaz.
4. 2. aşamadaki işlemlere, 1. istasyona atanabilecek hiçbir işlem kalmayıncaya kadar devam edilir.
5. Her istasyon için, listenin kalan işlemleri içinde en üstten başlayarak 3. ve 4. Aşamalar, tüm işlemler istasyonlara atanıncaya kadar devam edilir.

Kilbridge ve Wester Yöntemi: Çok çeşitli verilerin olduğu karmaşık hat dengeleme problemlerinde kullanılan bir yöntemdir. İşlemlerin atanmasında, işlem öncelik şemasındaki pozisyonları önemlidir Yöntemin aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

1. İşlem öncelik şemasında, öncelik dereceleri aynı olan işlemleri temsil eden işlemler aynı sütunda olacak şekilde, sütunlara ayrılır.
2. İşlemleri, birinci sütundakiler en üstte olacak şekilde listelenir. Birden fazla sütunda gösterilebilecek işlemler, transfer olabilecekleri tüm sütunlarda belirtilir.
3. İlk istasyona atanacak işlemlerin seçimine listenin birinci sütun işlemlerinden başlanır. Her istasyona öncelikle sırada bulunan sütundaki işlemler atanmaya çalışılır. Sütun standart zaman toplamı, mevcut istasyon standart zamanına eklendiğinde çevrim zamanı aşılmazsa, sütunu tüm işlemleri o istasyona atanır ve diğer sütuna geçilir.

Aksi durumda, yalnızca kendi standart zamanının çevrim zamanını aşmasını neden olan işlemler göz ardı edilir. Sütunun kalan işlemlerinin standart zaman toplamı, mevcut istasyon standart zamanına eklendiğinde çevrim zamanı aşılmazsa, kalan tüm işlemler o istasyona atanır ve diğer sütuna geçilir.

Aksi durumda standart zaman toplamı mevcut istasyon standart zamanına eklendiğinde çevrim zamanına en yakın sonucu veren işlemler o istasyona atanırlar. Yeni istasyona önce içinde bulunulan sütunun işlemleri atanmaya çalışılır.

4. Tüm işlemler istasyonlara atanıncaya kadar 3. aşama tekrar edilir.

En Kısa İşlem Süresi (Shortest Operation Time) Yöntemi: İşlemlerin istasyonlara atanmasında esas olarak standart zamanların kısalığı rol oynar. Diğer sezgisel yöntemlerin bazıları şu şekildedir;

- Helgeson-Birnie Yöntemi
- Moodie – Young Yöntemi
- Hoffman Yöntemi
- Comsoal Yöntemi- Aşamalı sıralamayla çözüm (Jackson)

- Aday matris ile çözüm (Salveson)
- COMSOAL tekniği (Arcus)
- İlişkili etkinlik yöntemi (Agrawal)
- Probabilistik hat dengeleme (Elsayed-Boucher)
- Gruplama yöntemi (Tonge)

3.5. Montaj Hatlarında Darboğazların İncelenmesi

Üretim sistemlerinin önemli problemlerinden biri olan darboğazın araştırılmasında izlenecek yöntem ve sıranın belirlenebilmesi amacı ile üretim faktörleri (malzeme, makina, işgücü, yöntem) ayrımından yararlanılabilir. (Üstün , 2005)

Darboğazların malzeme kaynaklı olması durumunda tüm hammaddeler, yardımcı maddeler analiz edilir. Makina kaynaklı darboğaz ile alakalı çalışma yaparken , üretim sistemindeki bütün makine ve ilgili her türlü araç çalışmaya eklenir. İnsan kaynaklı darboğazlar içinde çalışan performansları , yönetici çalışan ilişkileri incelenir.

3.6. Montaj Hattı Dengeleme Uygulamalarına Yönelik Literatür Taraması

Çalışmanın bu bölümünde literatürde yer alan montaj hattı iyileştirme de simülasyon kullanıma ilişkin literatür özetine yer verilmiştir. Literatür de yapılmış çalışmalarda simülasyon yardımıyla montaj hattı iyileştirmenin birçok farklı sektörde uygulandığı görülmektedir.

Alamgir ve Tabucanon (1995) “Batch-Model Assembly Line Balancing : A Multiattribute Decision Making Approach”, iş istasyonu sayısını belirlemek için çok özellikli bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmalarının da ilk başta, her ürün modeli için dengelenmiş bir dizi iş istasyonu üretmişlerdir. Daha sonra, her bir konfigürasyon için değişim zamanını hesaplamak için bir prosedür geliştirip (iş istasyonu sayısı) son olarak, üretim hızı, çeşitlilik, taşıma da minimum mesafe, iş gücü miktarını kullanarak üretim hızı, çeşitlilik, iş bölümü ve kalitesini dikkate alarak iş istasyonu sayısını

seçmek için Analitik Hiyerarşi Sürecini ve simülasyonu kullanarak çoklu dağıtım modeli geliştirmişlerdir.

JrJung (1997) “A Single-Run Optimization Algorithm for Stochastic Assembly Line Balancing Problems”, stokastik montaj hattı dengeleme problemlerini çözmek için yeni bir algoritma sunmaktadır. Ve bu algoritma bir simülasyon modelinin en uygun parametreleri bulmak için uygulanan tek işlem optimizasyonuna dayanmaktadır. SRO-SALB algoritmasını kullanarak, simülasyon yardımı ile normallik kısıtı olmadan en uygun hat tasarımını bulmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın yapıldığı dönemde literatürde geliştirilen diğer algoritmalarla bir karşılaştırma yapılmış ,simülasyon yardımıyla önerilen algoritmanın stokastik montaj hattı dengeleme problemlerini çözmede hızlı, doğru ve göreceli olarak güvenilir olduğundan bahsedilmektedir.

R.McMullen ve Fraizer (1997) “A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations”, iş merkezlerinde görevlerin paralel olarak yapılmasına izin verildiğinde stokastik görev zamanları ile karma model montaj hattı dengeleme probleminin çözülmesi için bir yaklaşım açıklanmışlardır. Sezgisel her sunulan kural için altı farklı hat-dengeleme problem çözümü yapmışlardır. Simülasyonun , araştırma, sunulan sezgisel karmaşık hat dengeleme sorunlarını farklı stratejiler kullanarak çözmek için nasıl kullanılabileceğini ve bu stratejilerin birçok performans boyutunda değerlendirilebileceğini göstermişlerdir.

Mendes ve Arkadaşları (2005)“Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing a PC Camera Assembly Line” ilk aşama da, daha önce literatürde üzerinde farklı yazarlar tarafından kullanılmış olan benzetilmiş tavlama meta-sezgiseline dayalı olarak geliştirilen bir sezgisel yöntem kullanılmıştır. En az sayıda iş istasyonu ve iş istasyonları arasında sorunsuz bir iş yükü dengesi olan hat yapılandırmalarını türetmişlerdir. İkinci aşamada, sezgisel çözüm tarafından sağlanan çözümler, analitik prosedürlerin yerine getirilmesinde zorluk çeken belirli imalat parametrelerinin, yani stokastik zamanların, makine arızalarının, yeniden işleme vs.'nin getirildiği ayrık olay simülasyon modellerine girdi olarak kullanmışlardır. Kurguladıkları simülasyon modeli ile operasyonel destek sağlayan ve

hat konfigürasyonlarında ince ayar yapılmasına yardımcı olan farklı performans ölçümleri (örneğin akış zamanları ve kaynak kullanımı) ortaya çıkarmışlardır.

Raja ve Suryaprakasa Rao (2007) “Performance Evaluation Through Simulation Modeling in a Cotton Spinning System” , simülasyon yöntemlerini kullanarak bir pamuk eğirme sisteminin performansın değerlendirmişlerdir. Çalışmada geliştirdikleri simülasyon modeli makinelerin izleyeceği en iyi rotaları belirlerken aynı zamanda iplik kırılmalarını engellemeye yöneliktir.

Brahmadeep ve Thomassey, S. (2014) “A Simulation Based Comparison: Manual and Automatic Distribution Setup in a Textile Yarn Rewinding Unit of a Yarn Dyeing Factory” ,simülasyon yöntemini kullanarak bir iplik boyama fabrikasında , iplik sarma ünitesindeki üretim süreçlerinin analizini yaparak, kullanılan bobinlerin dağıtımı yaparakken maksimum verim ile çalışmasını amaçlamışlardır. Mevcut durumdaki manuel sistem ile önerdikleri otomatik sistemin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Zupan ve Heraković (2015) “Production Line Balancing with Discrete Event Simulation: A case study”, hat dengeleme ve ayrık olay simülasyon yaklaşımı kullanarak üretim hattının optimizasyonu için durum çalışması yapmışlardır. Öncelikle üretim hattı dengeleme için temel teori ve adımlar hakkında özet bilgi vermiş, bir üretim tesisinde gerçek veriler toplanarak simülasyon modeli oluşturulmuştur. Arena programı simülasyon için kullanılmıştır. Üretim sürecinin dengelenmesinden ve performansının iyileştirilmesinden sonra, iyileştirilmiş simülasyon modelini kullanarak süreç optimizasyonu yapmışlardır. Hat dengeleme ve optimizasyonunun kombinasyonunun sonuçları, sürecin üretim hızının büyük ölçüde arttığını göstermiştir.

Literatürde yer alan montaj hattı iyileştirme de simülasyon kullanımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; farklı sektörlerde çok sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Fakat Türkiye’de yapılmış olan çalışmaların sayısı çok kısıtlıdır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji sektörü içerisinde fotovoltaiik panel üretimi üzerine yapılmasıyla ve simülasyon yöntemi kullanılmasıyla literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olmanın yanısıra gelecekte bu konu ile alakalı yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.

Dördüncü Bölüm

SİMÜLASYON

4. SİMÜLASYONUN TANIMI

Simülasyon ,askeri stratejik planlama için ilk defa 1940 'ların sonlarında kullanılmıştır. Üretim sektöründe ve hizmet sektöründe kullanımı son yıllarda artmıştır.. Blanks ve Carson (1984) simülasyonun tanımını şöyle yapmışlardır: “Simülasyon, sistemin yapay geçmişini üretir ve bu yapay geçmişe bağlı olarak gerçek sistemin işletim karakteristiklerini oluşturur”. (Kabadayı , 2007)

Simülasyon uzmanlarından biri olan Robert E. Shannon tarihsel olarak simülasyonu tanımlamıştır. Buna göre simülasyon; gerçek ya da hayali bir sistemin modelini tasarlama ve yapma sürecidir. Bu ilkel tanım simülasyon ilkelerinin genel çerçevesini vurgulamakta ve son yüzyılda geçirdiği yol haritası hakkında ipucu vermektedir.

Bir simülasyon çalışmasının başarısı, oluşturulan simülasyon modelinin gerçek sistemi ne oranda yansıttığını belirlenir. Kurulan modelin gerçek sistemle benzer hareket edebilmesi için, modelin hazırlanma amacının ve mevcut problemlerin doğru bir şekilde tanımlanması, simülasyon modelinin hazırlanabilmesi için gerekli verilerin sağlıklı bir şekilde toplanması ve analiz edilmesi , uygun simülasyon programının seçilmesi ve hazırlanan modelin gerçek sistemi temsil edip etmediği doğru sonuçlar için önem teşkil etmektedir(Akın , 2010)

İşletmeler, performanslarının düşmesine neden olan problemlerle karşı karşıya kaldıklarında, genelde maliyeti yüksek çözüm alternatiflerini uygulama sürecine girerler. Fakat bu alternatiflerin gerçek hayata uygulandığında başarılı olup, performanslarını gerçekten arttırmayacağını önceden tahmin etmek zordur.

Bu nedenlerle çözüm önerilerinin gerçek hayatta değil de aynı davranışı sergileyen bir model üzerinde denenmesi çok yararlı olacaktır.

Bu amaçla, simülasyon tekniği gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model üzerinde sistemin davranışını anlamaya yönelik alternatif stratejileri değerlendirmede önemli avantajlar sağlayan yararlı bir araçtır. Simülasyon modellerinde üretilen çözümler deneylere dayandığı için karar vericilere, değerlendirmek üzere çeşitli alternatifler sunar. (Yelkenci ve Tunalı, 2011)

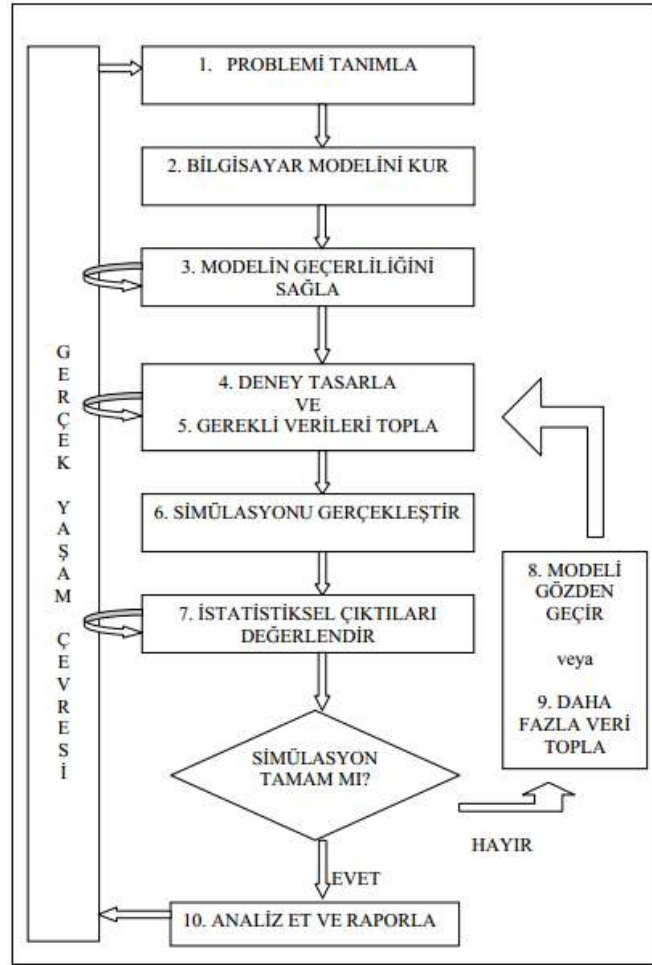
Model kurma ve modelin analitik olarak kullanımı, simülasyon sürecini oluşturur. Aşağıdaki koşulların bir veya birkaçı bulunduğunda simülasyon yapılmalıdır. (Uzmen , 2005)

1. Problemin tam bir matematik formülasyonu mevcut değildir veya matematik modelin analitik yöntemlerle çözümü henüz bulunamamıştır. Çoğu bekleme hattı (kuyruk) modelleri bu grupta yer alır.
2. Analitik yöntemler çözüm için elverişlidir, ancak matematik yöntemler çok karmaşıktır.
3. Analitik çözümler vardır ve kullanabilir, ama problem üzerinde çalışanlarda bu bilgiler yoktur.
4. Belirli parametrelerin tahmin edilmesi için simülasyona baş vurulduğu gözlenmiştir.
5. Deneme yapma açısından simülasyon tek yol olabilir.
6. Sistemin veya süreçlerin davranış karakteristiklerini ortaya koymak zaman gerektirebilir.

Üretim sistemleri analizinde, problem çözümlerinde ve yeni tasarımlarda simülasyon en fazla kullanılan teknikler arasındadır. Fakat başarılı simülasyon modellerinin geliştirilmesi zaman alıcı , pahalı ve beceri gerektirmektedir. Gerçek sistemlerin davranışlarını araştırmak için kullanılan simülasyon çalışmalarının aşamaları aşağıda verilmiştir

Modelin uygulanması sırasında, kurulmuş olan model reddedilirse tekrar modelin formüle edilmesi aşamasına dönlür. Simülasyon çalışmalarında her zaman geriye dönüş mümkündür. Kurulan modelin geçerliliği ve sonuçların güvenilirliği açısından bu şarttır.

Günümüzde, montaj hattı ve diğer üretim sistemlerinin tasarlanması, incelenmesi ve planlanması aşamalarında kullanılmak üzere, özel amaçlı ve yüksek seviyeli simülasyon dilleri geliştirilmiştir. Bu özel diller, bilgisayar simülasyon modellerinde gerekli ayrıntıların çoğunda kullanıcıyı serbest bırakır veya ona yardımcı olur. Bir simülasyon akış şeması aşağıda verilmiştir..



Şekil 59 Simülasyon Süreci Adımları

Kaynak: Monks, J., G. (1996). İşlemler Yönetimi. S. Üreten (Çev.). İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım.

Problem Tanımı: Simülasyon çalışması çerçevesinde ilgili sistem ile alakalı bütün verilerin net bir şekilde elde edilmesi gerekir. Bu doğrultuda problemin tanımlaması kolaylıkla yapılır. Örneğin ; problem olarak bir üretim sisteminde yaşanan makine boş kalma sürelerinin üretime etkisinden bir üretim kapasitesi kaybı olarak belirlenebilir. Böyle bir durumda bütün fabrikayı modellemek süre ve maliyet dezavantajı sağlayacağından, her bir üretim birimini bir istasyon olarak modellemek en kısa sürede en düşük maliyet ile model kurulmasını sağlar.

Amaçları Belirlenmesi & Proje Planı Oluşturma : Sistem içerisinde problemin belirlenmesinden sonra ilgili problemin çözümüne yönelik amaçlar belirlenir. Daha sonra proje planının oluşturulması aşamasına geçilir. Simülasyon çalışmasında ihtiyaç olan verilerin toplanmasında takım olarak çalışılması yapılmalıdır. Veri toplamadan modellemeye kadar geçecek süre de , oluşturulan plana görev süreçler işler.

Model Tasarımı: Modelin konsept olarak oluşturulduğu adımdır. Sürecin kolay yönetebilinmesi için ilk başta basit bir model tasarlanır ve daha sonra karmaşık modele doğru adım adım takip edilir.

Veri Toplama: Kurulacak model için gerekli verilen toplanması, analitik olarak yorumlanması yapılır. Çalışılan modelin durumuna göre toplanacak veri sınıfları birbirinden farklı olabilir..

Kod Yazımı: Toplanan veriler ile oluşturulmuş modelin bilgisayar ortamına aktarıldığı adımdır. Konuya hâkim bir yazılımcı ve bunun yanısıra aynı zamanda modelleme yapabilen kişi bu adımda büyük bir fayda sağlar .Doğru yazılımın seçilmesi, simülasyon çıktılarının , uygulanabilirliğini artırır.

Kod Doğrulama: Bu adımda, modelin istenildiği gibi çalışıp, .çalışmadığına bakılır. Simülasyon yazılımlarının birçoğunda yönlendirici modüller mevcuttur..

Model Doğrulama: Bu adımda, simülasyon modelinin çalışmanın yapıldığı sistemi gerçekten gösterip , göstermediği kontrol edilir. Eğer bir problem var ise tekrar model tasarımı adımına dönülerek , yeniden model oluşturulması gerekir. Veya toplanan veriler gerçek sistemi tam anlamı ile ifade etmiyordur , tekrardan veri analizi yapılır.

Deney Tasarımı: Kurulan modelin gerçek sistemi temsil ettiğine kanaat getirildikten sonra yapılacak deneyler belirlenir ve uygulama aşamasına geçilir.

Deney Yapma Analiz Etme: Tasarlanan deneyler ilgili model üzerinde test edilir. Bu adımda tasarlanan deneyler model üzerinde denenir. Simülasyonun belli bir sayının üzerinde çalıştırılması gerekmektedir.

Bunun için optimizasyon kullanılarak belirli bir iterasyonda belirli bir sayıda tekrar yaptırılarak sonuçlar incelenmelidir. Simülasyonun verimli sonuç verebilmesi için gerekli bir süre vardır. Bu sureye simülasyonun wam up (ısınma) süresi de denir . Simülasyon çalıştırdıktan sonra belli bir tekrar arkasından verilerin incelenmesi gerekir.

Yeni Deney Tasarımı : İstenilen sonuçlar elde edilemediyse , yeniden bir deney tasarımı yapılır.

Dokümantasyon ve Uygulama: Bu aşamada yapılan programın raporlaması ve dokümantasyonu yapılır.

Aynı simülasyonun daha sonra kullanılma ihtimaline karşılık yapılan bütün işlemlerde belgelendirilir. İlerleme raporunun yazılması , ilgili projenin geçirdiği aşamaları , süreçleri , maliyeti takip edilebilmesi için yapılmalıdır.

Uygulama : Sonuç olarak oluşturulan ve birçok deneye tabii tutulan model gerçek sisteme entegre edilebilir.

Bu adımlar oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Fakat bu adımları başarılı bir şekilde sonuçlandırmadan, başarılı bir simülasyon uygulaması yapmak çok zordur. Başarılı bir simülasyon modeli için uygun zamanda yararlı bilgiler, anlamlı kararlar verilmesine destek olmaktadır.

4.1. Simülasyon Tekniğini Kullanmanın Avantaj ve Dezavantajları

Simülasyon, ana sistem ile altındaki sistemin aralarındaki etkileşimi inceleyebilmemize imkân sağlar. Kullanıma açık veriler , kurumsal veya ortamdaki değişikliklerin etkilerini analiz edilebilmesi için simüle edilebilirler. Model , sistemin iyileştirilebilmesi için yapılması gereken revizeler hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Giriş parametreleri değiştirilerek , simülasyondaki önemli girdiler tespit edilebilir.

Sistemde oluşturulacak yeni kurallar veya tasarımlar uygulama öncesi simülasyon aracılığı ile test edilebilir. Sanal ortamda kurgulanmış simülasyonlar sayesinde , iş planı çok daha kolay analiz edilebilir.

Simülasyon kullanmanın gerekmediği yöntemlerden birkaçı aşağıda sıralanmıştır.

1. Problem sağduyulu bir analiz ile çözülebiliyorsa
2. Problem sayısal yöntemler ile kolayca çözülebiliyorsa
3. Gerçek sistemde deneme yapmak basit ve yapılabilir ise
4. Simülasyon finansal maliyeti , sonucunda elde edilecek faydadan yüksek ise
 - a. Sistem planlama, hata tanımlama ve sürecin yazılı hale getirilmesi
 - b. Modeli oluşturma ve uygulama öncesi test etme
 - c. Gerekli verilere sahip olma ve verileri işlenebilir hale getirme
 - d. Deneyler
 - e. Kurulacak sistem modelinde revizelerin ve değişikliklerin yapılması
- f. Simülasyon projesinin sunulması
5. Proje kaynak kısıtları elverişli değil ise
6. Oluşturulacak modelin sonuçlarından avantaj sağlanacak süre kısıtı var ise
7. Gerekli veriler yok ise
8. Modelin doğrulaması ve sağlaması yapılamıyorsa
9. Sistemin yeniden modellenmesi mümkün değil ise

Simülasyon kullanmanın avantajları;

- Modelleme yapılacak sisteme etki etmeden gerekli çalışmalar yapılabilir.
- Yeni bir donanım satın alınması veya taşınma yer değişikliği yapılması gibi talepleri kaynak harcamadan analiz edebilir.
- Analiz edilen olayı zaman kavramına takılmadan hızlandırıp , yavaşlatabilir
- Süreç içerisindeki önemli verilerin birbirleri ile ilişkisini çok kolay analiz edebilir.
- Darboğaz olması durumunda analizini yapabilir.
- Gerçek sistemin nasıl çalıştığını , simülasyon üzerinde yorumlamak kolaylık sağlayacaktır.
- Analitik çözümlerin kontrolü için kullanılabilir.

Simülasyon kullanmanın dezavantajları;

- Simülasyon modellemesi yapabilmek belli bir tecrübe gerektirir. İki farklı modelleme çalışanı tarafından yapılan simülasyon çalışması arasında farklılıklar oluşması olağandır. Birebir sonuçların çıkması mümkün değildir.
- Simülasyon sonuçlarını doğru bir şekilde analiz ederek yorumlamak oldukça tecrübe ister. Benzetim sonuçları sayısal değerler olduğu için , yapılan gözlemin sistem içerisindeki çalışmasından mı , sayısal bir sonuç mu olduğuna kesin karar vermek mümkün değildir.
- Benzetim modellemesi ve analizi oldukça zaman alan ve maddi olarak yüksek sonuçlar verebilir. Modelleme sırasında verilerin ve ilgili kaynakların tam anlamıyla kullanılmaması , benzetim modelinin kurulmasında ve istenile iş için uygulanmasında aksaklık sağlayabilir.
- Benzetim sayısal çözümlerlerin kabul edilebilir ve tercih sebebi olduğu durumlarda tercih edilmelidir.

Yukarıdaki belirtilen dezavantajlar aşağıdaki sebeplere istinaden çoğunlukla kullanılabilir olmaktadır .

- Benzetim program paketlerini yazan firmalar sadece verilere ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla paket programlar ile benzetim uygulamaları yapmak günümüzde oldukça kolaydır.
- Çoğunlukla kullanılan paket programlar , simülasyon aşamasında birçok verinin çıktılarının değerlendirilebilmesini sağlamaktadır.
- Bilgisayar donanımlarındaki gelişmeler , benzetim uygulamalarının günümüzde çok hızlı bir şekilde yapılmasına olanak vermektedir. Önümüzdeki yıllarda bu konuda daha az sürede çıktılar alınacağı öngörülmektedir.

Simülasyon bir alt sistemin karmaşık ana sistemle etkileşimini gözlemlememize olanak verir.

4.2. Simülasyon Kullanım Alanları

Simülasyon birçok farklı sistem tiplerinde kullanılabilmesine karşın bu çalışmada üretim planlama, çalışan performansları ve üretim kapasitesini artırmaya yönelik sistemler üzerinde durulacaktır. Literatür de ağırlıklı olarak aşağıdaki sistemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Aşağıda üretim sistemlerine birkaç genel örnek verilmiştir:

- Üretim de Makine işlemleri
- Üretimde Montaj işlemleri
- Konveyör ve Taşıma sistemleri
- Depolama işlemleri

Üretimde makine işlemleri manuel ya da otomatik olarak yapılan işlemlerdir. Montaj işlemleri , üretim hattında kullanılan makineler aracılığı ile birden çok parçanın birleştirilmesi için üretim sistemleridir. Konveyör ve taşıma sistemleri simülasyon içerisinde kullanılan Forklift , otomatik transfer araçları veya üretim içinde kullanılan transfer makinelerinin analizinde kullanılır . Depo simülasyonları üretilen bitmiş malzemelerinin veya ham maddelerin otomatik veya manuel olarak depoya giriş çıkışının yapıldığı işlemleri içerir.

Simülasyonun hizmet sistemlerine kullanımına yönelik örnekler aşağıda verilmiştir.

- 
- Bilişim teknolojisi
 - Müşteri sipariş sistemleri

Simülasyonun bilişim sistemlerinde kullanımında hangi bilgisayardan kaç tane kullanılması gerektiği veya hangi tip network kullanılması gerektiğine dair çalışmalar yapılır. Müşteri Sipariş Sistemleri simülasyonlarında talebe karşılık gerekli olan sipariş alma uzmanının sayısının belirlenmesine yönelik çalışma yapılır.

Ulaştırma sistemleri örnekleri aşağıdadır:

- Havalimanı Süreç Takibi
- Liman Operasyon İşlemleri
- Ulaşım Sektörü
- Tedarik Zinciri ve Dağıtım İşlemleri

Havalimanı süreçlerinde simülasyon genellikle güvenlik kapılarınıki yolcu sayılarının analizinde veya check in bankolarındaki yoğunluğun çözümüne yönelik yapılan çalışmalardır. Liman operasyonlarında kullanılan simülasyonlar yanaşan, rıhtımdaki veya ayrılacak gemilerin saha planlamasının yapılmasında , konteyner operasyonları için gerekli makinelerin lokasyonuna belirlenmesinde kullanılır.

Ulaşım sektöründe en basit yapılan simülasyon modellemesi rota oluşturma üzerinedir. Tedarik zinciri ve dağıtım sistemlerinde taşıma merkezlerinin ve depoların en uygun noktaya konuşlandırılması konusunda çalışmalar yapılır.

4.3. Simülasyon Kullanım Amaçları

Birbirinden farklı sistemlerin simülasyonları ve değerlendirilmesi amaçları aşağıda belirtilmiştir.

- Çalışan sistem hakkında bilgi sahibi olmak
- İşletim veya kullanılan kaynakların sistem performansının artması için kullanılması
- Simülasyon dan uygulama adımına gelmeden deney yapmak
- Üzerinde çalışılacak sisteme müdahale etmeden gerekli verileri toplamak

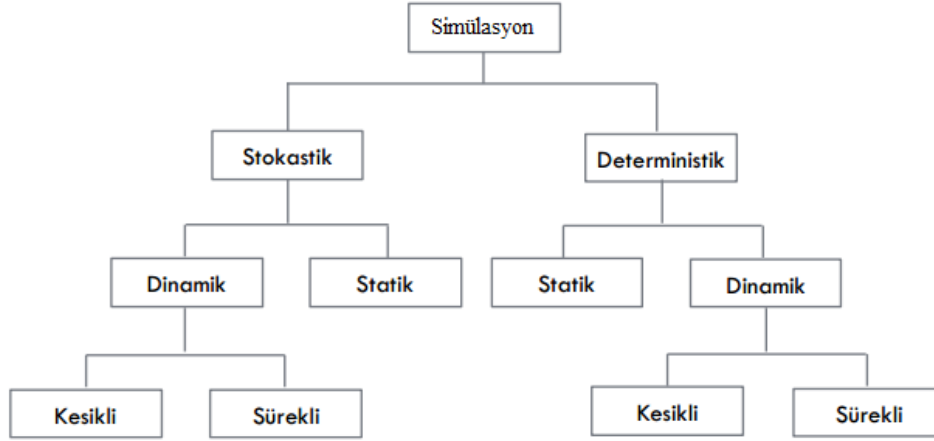
Benzetim uygulamasını yapabilmek için sistemleri anlaşılabilir ve yeterince verinin olması gerekir. Bazı sistemler , akışı durdurmadan veri toplamaya olanak sağlamaz. Bu tip durumlarda simülasyon uygulaması yapabilmek mümkün değildir. Bu tip sistemlerde oluşan problemlerin çözümü kolay değildir.

Yeni bir yatırım yaparken oluşturmak istediğiniz sistemin simülasyon üzerinde çalışmasını görmek fayda sağlayacaktır. Yeni bir sistemin modellenmesinde oluşacak maliyet, gerçek sistemin kurulumunda karşılaşılabilecek maliyetten çok daha düşüktür. Kullanılacak alternatif ekipmanlarının verilerinin modellenmesi ile fayda kar analizini simülasyon aracılığı ile izlememek en doğru çözüm olacaktır.

4.4. Simülasyon Modelleri

Bir sistemin modelinin yapılabilmesi için sistem kavramını anlamak ve iyi analiz etmek gerekir. Sistem, bir amaç doğrultusunda bir araya gelmiş, aralarında düzenli ilişki ve karşılıklı etkileşim olan eleman grubudur. Bir sistemi inceleyebilmek için araştırmacının iki alternatifi vardır; gerçek sistemle deneme yapmak ya da sistemin bir modeli ile denemek yapmaktır.

Bir sistemin modeli yapılmadan önce, üzerinde yapılması düşünülen değişikliklerin gerçek sistem üzerinde uygulanabilirliğine karar verilmesi gereklidir. Eğer değişiklikler gerçek sistem üzerinde denenebiliyorsa ve büyük riskleri beraberinde getirmiyorsa, gerçek sistem üzerinde yapılacak uygulama en emin ve en güvenli sonuçları verecektir. Simülasyon modelleri aşağıdaki gibidir. (Kavcar , 2004)



Şekil 60 Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Kaynak : Kavcar, B. (2004) , Simülasyon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Satış Tahminleriyle Satış Bütçesi Hazırlanması.

Statik Simülasyon Modelleri: Bir sistemin anlık veya dönemsel olarak durumu söz konusu ise buna bağlı olarak kurulan model statik bir model olacaktır. Monte-Carlo simülasyonu statik simülasyon modellerinde genellikle kullanılan modeldir.

Dinamik Simülasyon Modelleri: Gelişen sistemlerin zaman üzerinde simülasyon modelleri ile gösterimine dinamik modeller adı verilmektedir.

Deterministik Simülasyon Modelleri: Sistem davranışı önceden tahmin edilmesi kolay olan ve gelecekte ne tür bir davranış göstereceği bilinen simülasyon modelleri, deterministik modellerdir. Sistemdeki mekanizma açık ve belirgin bir şekilde tanımlanır.

Stokastik Simülasyon Modelleri: Simülasyon tekniği, stokastik modellerin analizi ve çözümünde en çok başvuran temel tekniklerden biri olmuştur. Davranışı daha önceden bütünüyle kestirilemeyen modeller stokastik modellerdir. Yani, bazı olayların hangi olasılıklarla meydana geleceği hakkında çeşitli söylemler oluşturulabilir. Olasılık dağılımları , bu modellerde girdi değerleri ve süreç olarak kullanılabilir. Stokastik modeller deterministik modellerden daha karmaşık olduğu için bu modellere çözümler bulmak ve bulunan çözümlerin analitik olarak yeterli olması oldukça güçtür.

Sürekli Modeller: Sürekli sistemlerde, durum değişkenleri devamlı değiştiği için, istatistikler yalnızca sistemdeki durumu sürekli bir şekilde gözlemleyerek elde edilir. Bu değişkenler zaman süresince sürekli bir şekilde değiştiğinden bu yönüyle kesikli durumlardakilerden farklılaşmaktadırlar.

4.4.1. Etmen Tabanlı Simülasyon

Etmen tabanlı modelleme ve benzetim, karmaşık sistemleri modellemek için birbiri ile etkileşim içinde olan otonom etmenlerden oluşmuş nispeten yeni bir yaklaşımdır. Çoklu-etmen sistemleri çeşitli etmenlerin bazı amaçları başarabilmek için etkileştikleri ya da birlikte çalıştıkları sistemlerdir Etmen tabanlı yaklaşımların problemleri çözmek için en belirgin özellikleri “iş birliği ve iletişim” mekanizmalarını kullanmalarıdır.(Macal , North , 2010)

Dağıtık ve karmaşık yapıya sahip problemlerin çözümünde kullanılan etmen tabanlı benzetim yönteminde , modelin kontrolü dağıtık ve sistemde yer alan etmenler birbirleri ile ve çevre ile etkileşim içindedirler. Etmen tabanlı benzetim aşağıdaki durumlarda problem çözümünde tercih edilirse başarılı sonuçlar elde edilebilir.(Baykaşoğlu, Durmuşoğlu , Gökemli , 2011)

- Etmen tabanlı modelleme yaklaşımı problemleri küçük parçalar haline getirerek çözüme gitmeyi amaçlar. Bu yöntem ile büyük problemlerin analiz edilmesi kolay olacaktır.

- Etmen tabanlı modelleme yaklaşımında sistemin alt parçasında sorun varsa ise genele yayılmaz bunun sebebi tamamen dağıtık bir yapıda olmasıdır. Sistem çalışmaya devam eder sadece alt süreç hata verir.
- Etmenler devamlı beraber hareket etmedikleri için başka etmenlerin kararlarına bağlı kalmak , beklemek durumunda değildir. Dolayısıyla en hızlı yol ile problemin çözümüne ulaşırlar.
- Problem yapısı dağıtık ise kesinlikle etmen tabanlı benzetim uygulamak uygundur. Problemin yapısı devamlı değişken ise ; etmen tabanlı sistemler ile yeni etmek ekleyerek çözüme ulaşmak en kolay yol olacaktır.

Tablo 5 Model Türünü Tanımlayan Özellikler

Kesikli Olay Benzetim Modelleri	Etmen Tabanlı Benzetim Modelleri
Süreç doğrultusunda (yukarıdan aşağıya modelleme yaklaşımı) odak noktası varlıklar değil de sistemin detaylı olarak modellenmesidir	Birey tabanlı (aşağıdan yukarıya modelleme yaklaşımı) odak noktası varlıklar ve aralarındaki ilişkidir
Yukarıdan aşağıya modelleme yaklaşımı	Aşağıdan yukarıya modelleme yaklaşımı
Kontrol tek yürütme biriminden (Merkezi)	Her etmenin kontrollü kendi yürütme biriminden (Özerk)
Varlıklar pasiftir; varlıklar sistem boyunca hareket ederken bazı şeyler yaptırılır; zekâ (örneğin karar verme) sistemin bir parçası olarak modellenir	Varlıklar aktiftir; varlıklar bazı şeyler için inisiyatif alabilir; zeka her bir varlığın içinde tanımlanmıştır
Kuyruklar anahtar elemandır	Kuyruklar diye bir kavram yok
Varlıkların sistem boyunca akışı; genel davranış modellenir	Akış kavramı yok; genel davranış modellenmez, bireysel etmenlerin küçük davranışından ortaya çıkar
Girdi dağılımları çoğunlukla toplamaya/ölçülen(amaçlanan) veriye dayalı	Girdi dağılımları çoğunlukla teorilere ve öznel verilere dayalı

Kaynak : Baskasoğlu A. , Durnuşoğlu Z. , Görkemli L . (2011) Etmen Tabanlı Benzetim : Anylogic Yazılımı ve Örnek Bir Çalışma

4.5. Üretimde Simülasyon Kullanımı

İmal edilen ürünler için pazar globalleştikçe, imalatçılar ürünlerini yığın müşteriye göre üretmek durumunda kalmaktadırlar. Üreticiler, müşterilerinin taleplerini karşılayabilmeleri için düşük maliyetle yüksek kaliteli malların yüklü miktarda üretimini sağlamak amacıyla devasa yatırımlar yapma eğilimine girerler. Bu yatırımların tahmin edildiği gibi işleyeceğinden emin olunmadığı için bilgisayarlı simülasyon yöntemleri bu sistemlerin uygulanma sürecinde büyük fayda sağlamaktadır.

Bir simülasyon çalışmasının başarısı, oluşturulan simülasyon modelinin gerçek sistemi hangi oranda yansıttığı ile belirlenir. Kurulan modelin gerçek sistemle benzer davranışlar gösterebilmesi için, modelin hazırlanma amacının ve mevcut problemlerin doğru bir şekilde tanımlanması, simülasyon modelinin hazırlanabilmesi için gerekli verilerin sağlıklı bir şekilde toplanması ve analiz edilmesi, uygun simülasyon programının seçilmesi ve hazırlanan modelin gerçek sistemi temsil edip etmediğinin araştırılması gerekir. (Akın , 2010)

4.6. Verimliliği Arttırmada Simülasyonun Faydaları

Günümüz rekabet ortamında işletmelerin başarısı doğru kararlar alabilme yeteneklerine bağlıdır. Doğru kararların alınabilmesi içinse, gerekli verilerin sağlıklı bir şekilde toplanması ve işlenmesinin yanı sıra gelişmiş karar verme tekniklerinin de kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu tekniklerden biri olan bilgisayarlı simülasyon tekniği, imalat işletmelerinde gerçekleştirilecek olan değişimin etkilerinin, uygulama yapılmadan bilgisayar ortamında belirlenmesini sağlayan önemli bir araçtır. İşletmeler deneme yanılma yerine, herhangi bir ilave maliyete katlanmadan, üretim sistemlerindeki problemleri tanıma ve değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışları bilgisayar ortamında kurulan simülasyon modelinde görebilme imkanına sahip olacaklardır.

Simülasyon hata yapıldıktan sonra ortaya çıkan maliyetle kıyaslandığında oldukça ucuz bir yöntemdir. Ayrıca bilgisayarla yapılan simülasyon önerilen herhangi bir çözüm için sayısal ölçüm ve analiz yapma olanağı verdiği için kısa zamanda en iyi alternatif çözümü bulmaya yardımcı olur.

Bu nedenle işletmeler yeni bir sistemi kurmadan önce bilgisayarda sistemi modelleyerek hataları bulmak için ve üretim sistemindeki gerekli düzenlemeleri yapmak için daha fazla esnekliğe sahip olacaklardır ve harcadıkları zaman büyük ölçüde azalacaktır. (Akın , 2010)

Ayrıca bilgisayarla yapılan simülasyon, önerilen herhangi bir çözüm için sayısal ölçüm ve analiz yapma olanağı verdiği için kısa zamanda en iyi alternatif çözümü bulmaya yardımcı olur. Bu nedenle işletmeler yeni bir sistemi kurmadan önce

bilgisayarda sistemi modelleyerek hataları bulmak için ve üretim sistemindeki gerekli düzenlemeleri yapmak için daha fazla esnekliğe sahip olacaklardır. Böylece harcadıkları zaman ve para büyük ölçüde azalacaktır (Akın, 2010).

Bu durum işletmelere küresel rekabet ortamında rekabet edebilme avantajı sağlayacaktır.

Beşinci Bölüm

UYGULAMA

Çalışmanın uygulama bölümünde Anylogic programı 8.4 versiyonu ile çalışan sistem üzerinde iyileştirme çalışmaları yapmak hedeflenmiştir. Öncelikle simülasyon için gerekli bütün veriler firmadan talep edilmiştir. Firmanın şuandaki kapasite kullanımında yaşamış olduğu darboğaz için tavsiye niteliğinde 3 çalışma yapılmıştır. Bulunan çözümler işletmeye raporlanmıştır. Kaydedilen bu iyileştirmeler analiz edilerek işletmede yaşanan sorunların çözümünde yeni bir model oluşturulurken kullanılmak için dosyalanmıştır.

Uygulama fotovoltaiik panel üreten Türkiye de bir firmada yapılmıştır. Ülkenin önde gelen fotovoltaiik panel üreticisi olan firma , 2012 yılından yenilenebilir enerji sektörünün alt dallarından biri olan güneş enerjisi sektörüne girmiştir. Yapmış olduğu yatırımlar ile kapasitesini en üst düzeye taşımak için çalışmalarına devam etmektedir. Firma ürettiği fotovoltaiik panelleri TUV , UL , JET sertifikasyonlarına sokarak, ihracat kaleminde de kendi sektöründe ilk 3 firma içerisinde bulunmaktadır.

Uygulama yapılan firmanın kapalı alanı 15.000 metrekare olup , Avrupa standartlarında depolama yapmaktadır. Firma siparişe göre üretim planlamasını yapmaktadır. Üretimden bandından farklı güçlerde ve tiplerde fotovoltaiik panel çıkışı olmaktadır.

5. UYGULAMA YAPILAN ÜRETİM HATTI VE SÜREÇLERİ

Ülkemizin Güneydoğu Anadolu bölgesinde kurulmuş olan ilk fotovoltaik üretim tesisidir. Tesis ile alakalı genel bilgiler;

Pnömatik sistemler

- İşletme basıncı 6 BAR (87,02psi)

Otomasyon kontrol sistemi

- PLC SİEMENS S7

Doküman ve Operasyon Dili

Türkçe, İngilizce ve Almanca

Üretim Kapasite Detayı

- Çalışma saati/gün 24 saat
- Çalışma günü/yıl 365 gün
- Hücre/string 10 adet
- String/modül 6 adet
- Hücre gücü 4,5 Wp (6'')
- Laminatör kapasitesi/yıl 100MW
- Yıllık kapasite 100MW
- Hücre kırma oranı %3

Ortam Koşulları

- Bağıl nem Max. %60
- Ortam sıcaklığı 22°C +/- 2 °C
- EVA depolama sıcaklığı 22°C +/- 2 °C

5.1. Makine Parkuru

Cam Yükleme : Cam plakaların taşıma bantları üzerine yerleştirilmesini sağlayan sistemdir. Elle kumanda edilen ve 270 derece dönebilme kabiliyetine sahip 100 kg taşıma kapasiteli bir tavan vincinden oluşur. Cam plakalar 6 noktadan vakumlama yöntemiyle tutulur ve camın esneyerek kırılması veya mikro çatlaklar oluşumu engellenir. Sistemde tek kişilik bir operatör kullanımı olduğundan iş gücü kazancı sağlanır. Cam plakalara el ile temas edilmemiş ve leke oluşumları engellenmiş olunur.



Şekil 61 Cam Yükleme Makinesi

Cam Yıkama: Cam yıkama makinesi cam plakaların temizlenmesini sağlayan, plakaların yatay olarak içinden geçtiği temizleme ünitesidir. Giriş, fırça istasyonu, modül yıkayıcı, kurutucu ve çıkış bölmelerinden oluşur. Cam plaka dönen merdaneler arasından taşınır. Makine üniteleri otomasyon kontrollüdür, çalışma akışı yönetilebilir ve denetlenebilir. Makine taşıma avans hızı 0,2 ila 6 m/dakika arasında ayarlanabilir ve yıkama süresi uzatıp kısaltılabilir.



Şekil 62 Cam Yıkama Makinesi

İç Bağlantı İstasyonu: Robot yardımıyla cam plaka üzerine dizilmiş stringlerin birbirlerine toplama baraları ile seri bağlantısının yapıldığı ünedir. Bağlantısı tamamlandıktan sonra EVA ve backsheet cam plaka ve hücreler üzeri örtülecek şekilde yüzeyine yerleştirilir. Panel lamine edilecek duruma getirilmiş olunur.



Şekil 63 İç Bağlantı İstasyonu

Dizgi Lehimleme : (Stringer) Team Technic TT-1800 single track marka ve modeli otomatik dizgi lehimleme makinesidir. Temel performans maksimum 1200 çevrim/saattir. Hücrelerin ribbon (lehim şeridi) yardımıyla dizgi haline getirilmesini sağlamaktadır. Lehimleme işlemi kızılötesi lehimleme ile yapıldığından lehim kalitesi yüksek ve hücreye temas oluşmadığından hücre veriminin bozulma oranı minimize edilmiştir. Makine otomasyon sistemli çalışan aksamalardan oluşmaktadır.



Şekil 64 Stringer

Dizgi oluşturulurken yapılan işlemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- a) Hücre nemi giderilmek üzere ısıtılır.
- b) Robot kolu yardımıyla taşınarak kalite kontrol ünitesinden geçirilerek yüzey, kenar ve köşe kırık taraması, toplama kanalı aralığı, simetri, lekelenmeler, renk gibi teknik kalite kontrolleri 20000 piksellik bir kamera yardımıyla yapılır.
- c) Lehim performansı arttırılmak amacıyla kontak (busbar) noktaları flux püskürtülür.
- d) Dizgi düzgünlüğü sağlanmak için hizalama ünitesinde pozisyon yakalatılarak robot kolu yardımıyla lehim bandına aktarılır.
- e) Kızıl ötesi lehimleme işlemi yapılmadan önce ribbonlar kontak noktalarına yerleştirilir. Kızılötesi lehimleme sistemi sekizerli bloklar halinde dizayn edilmiş üç aşamalı ön, ara ve son ısıtım 24 adet kısa dalga boru tipi kızılötesi ısıtıcı yardımıyla lehimlenir.
- f) Pirometre yardımıyla her üç bölmede sıcaklık ölçümü yapılarak otomatik olarak sıcaklık değerleri sabit tutulur. Kontrollü soğutma yapılarak oluşan dizgi bant üzerinde ilerletilir.
- g) Dizgi çevirici yardımıyla çevrilerek, cam üzerine dizilmek üzere robot yardımıyla sistemden alınır.

Performans artırımı için lehimleme süresinin kısaltılması gerekmektedir. 180 mikronluk hücrelerde kırma oranı %0,3 olarak ölçülmüştür.

Laminasyon: Üç kademeli pres sistemli 2 katlı asansöre sahip Lauffer marka laminatör proses güvenliği yüksek bir laminatör makinesidir. Birinci kademe solar modülün önden ısıtılmasını ve vakum yapılarak Eva, Backsheet ve cam arasında hava kabarcığı kalmamasını sağlamaktadır. İkinci kademe solar modülün lamine edilmesini sağlamaktadır. Üçüncü kademe modülün test edilebilir, sıcaklığa soğutulmasını sağlamaktadır. Söz konusu üç kademe proses güvenliğinin daha iyi olmasına yarar. Şekil 65 de gösterilmiştir.



Şekil 65 Laminatör

- a) 1.Kademe burada solar modül bir kayışlı konveyör aracılığıyla pres içine taşınır. Solar modül pozisyona geldiğinde pres alttan yukarı doğru hidrolik sistem yardımıyla kapanır. Bu sayede ısıtma plakasının içinde solar modülün bulunduğu bir vakum bölümü oluşur. Söz konusu bölüm tahliye edildikten sonra pres daha çok kapatılır. Böylece solar modül üzerinde istenilen; operatör tarafından belirlenecek bir basınç ve ısı değeri uygulanabilir.
- b) Yine operatör tarafından belirlenebilen, proses süresine ve kullanılan ham maddeye uygun bir süreden sonra ön ısıtma presi tekrar açılır. Ardından solar modül kayışlı konveyör yardımıyla 2.kademeye aktarılır.
- c) 2.Kademe ısıtma presi önceki istasyondan ısıtma presine aktarım işlemi yapılan solar modül pres içinde doğru pozisyonu bulduğunda pres alttan yukarı doğru hidrolik sistem yardımıyla kapanır. Daha önce tanımlanmış basınç ve zaman değerleri aracılığıyla solar modül lamine edilir. Ham maddeye uygun(eva ve backsheet için) sıcaklık değerlerinde çalışmak solar modül çıkış gücü verimini ve ömrünü artıracaktır. Ardından 3.kademeye aktarılır.
- d) 3.kademe soğuk pres önceki istasyonlardan farklı olarak daha düşük bir sistem basıncı ile kapatılır. Bu kademedede solar modül test koşullarına uygun sıcaklıklara getirilmeye çalışılır. Bizim sistemimizde solar modül 22°C soğutulmaktadır. Modül soğuduktan sonra bir sonraki istasyona aktarılır.

Kenar Temizleme İstasyonu: Solar modül kenarlarında kalan fazla Eva ve backsheet uzantılarının tıraşlandığı istasyondur. Çerçevenin düzgün yerleşmesi için tıraşlama işlemi gerekmektedir. Tıraşlanan solar modül kenarı bu istasyonda çift taraflı bant ile bantlanır. Çift taraflı bant çerçeve ile modülün bütünleşmesini sağlamakla birlikte mekanik uzun ömürlüğü arttırıcı etkiye sahiptir.



Şekil 66 Kenar Temizleme ve Bantlama Makinesi

Çerçeveleme İstasyonu: Solar modülün montaj yüzeyine taşınması ve montajı için gerekli olan çerçeveleme işlemi uzun ömürlülük ve paslanmazlık sebebiyle alüminyum malzemeden yapılmaktadır. Bu istasyonda solar modüle montaj ve topraklama delikleri bulunan alüminyum çerçeveler presleme ve dişli alüminyum kenar aparatları yardımıyla montaj edilir. Sistem otomasyon kontrollü olup elektro Pnömatik uygulamalar içermektedir.



Şekil 67 Çerçeveleme İstasyonu

Bağlantı Kutusu Montaj İstasyonu: Geri besleme akımına karşı koruma yapan ve elektriksel çıkışın alındığı bağlantı kutusu bu istasyonda solar panel üzerine montaj edilir. Bağlantı kutusu diyot veya çeşitli devre elemanları ile üretilmiş olabilir. Sistem performans ve verimliliğini arttırmak için iç direnci en düşük, geri besleme direnci yüksek ve kapasitans değeri zayıf diyotlara sahip bağlantı kutularının kullanılması tercih edilmelidir. Bağlantı kutusu solar silikonlarla ve çift yönlü bantlarla solar panel arka yüzeyine montaj edilir. Solar Panel ön yüzeyi temizlenir ve görsel kontroller yapılarak test edilir hale getirilir. Üretim esnasındaki kirlenmeler panel test değerlerini düşüreceğinden test edilmeden önce temizleme işleminin doğru yapılması önem arz eder.



Şekil 68 JB Montaj İstasyonu

Panel Ölçüm İstasyonu : Üretilen solar panelin çıkış değerlerinin test edildiği bölümdür. Standart test koşullarında (25°C, 1000 W /m², AM1.5) solar panelin test edildiği istasyondur. İstasyonda solar panele yüksek gerilim izolasyon testi uygulanır. G-Sola marka sun simülatör her dört saatte bir FROUNHOFER' ın test laboratuvarlarında test edilmiş kalibrasyon panelleri ile test edilerek ayarlanır. Bu da solar panellerin elektriksel çıkış ölçüm değerlerinin en doğru şekilde alınmasını sağlar. Şekil 69 de gösterilmiştir.



Şekil 69 Sun Simulator

Sun simülatörde; maksimum güç, maksimum güçteki voltaj ve akım değerleri, açık devre gerilimi, kısa devre akımı ölçülerek etiketlenir. Çıkan etiket güç değerine göre +5w güç toleransı ile paneller sınıflandırılır ve paketlenir.

5.2. Uygulama Yapılan Üretim Hattının Çalışma Verileri

Uygulama yapılan fabrika Pazartesi'den Cuma'ya , 8 saatlik 3 vardiya şeklinde çalışmaktadır. Her vardiyada 19 kişi çalışmaktadır. İşçi dağılımları aşağıdaki Tablo 6 de gösterilmiştir.

Tablo 6 Vardiya Çalışan Sayısı

Çalışan	60 Mw Üretim Hattı	40 Mw Üretim Hattı Hat
İşçi	4	4
Kalite Kontrolcü	1	1
Stringer Operatörü	1	1
El tester operatörü	1	1
Sun Simülatör Operatörü	1	1
Laminasyon Operatörü	1	1
Forklift Operatörü	1	

Çalışma saatleri aşağıdaki Tablo 7 de gösterilmiştir.

Tablo 7 Vardiya Çalışma Saatleri

	Başlangıç Saati	Bitiş Saati
1. Vardiya	00:00	08:00
2.Vardiya	08:00	16:00
3.Vardiya	16:00	00:00
1.Vardiya Mola	02:00	02:20
1.Vardiya Mola	04:00	04:20
1.Vardiya Mola	06:00	06:20
2.Vardiya Yemek	12:00	13:00
3.Vardiya Yemek	22:00	23:00

Üretim hattında çalışan personellerden günlük üretim beklentisi 500 adet fotovoltaiik panel çıktısının sağlanmasıdır. Fakat ortalama çıkan panel sayısı maksimum 300 adet seviyelerinde kalmaktadır.

Firma operatörlerinden alınan verilere göre makine çalışma süreleri aşağıdaki Tablo 8 de belirtilmiştir. İlgili tablodaki süreler saat olarak hesaplanmış olup , firmada dikkatli bir şekilde ölçüm yapılarak doğruluğu teyit edilmiştir. 60 Mw olan hatta üretim verileri toplamda 6 adet modül için tutulmuş olup , 40 Mw olan hat için 4 adet modüle göre süre takibi yapılmıştır. Üretim süreçlerinin tek tek incelenmesi ile firma tarafından servis edilen tüm verileri Anylogic 8.4 versiyonun simülasyona tâbi tutarak, karşılaştırmalı analiz yapılmasına karar verilmiştir.

Tablo 8 Üretim Hatlarında İşlem Süreleri

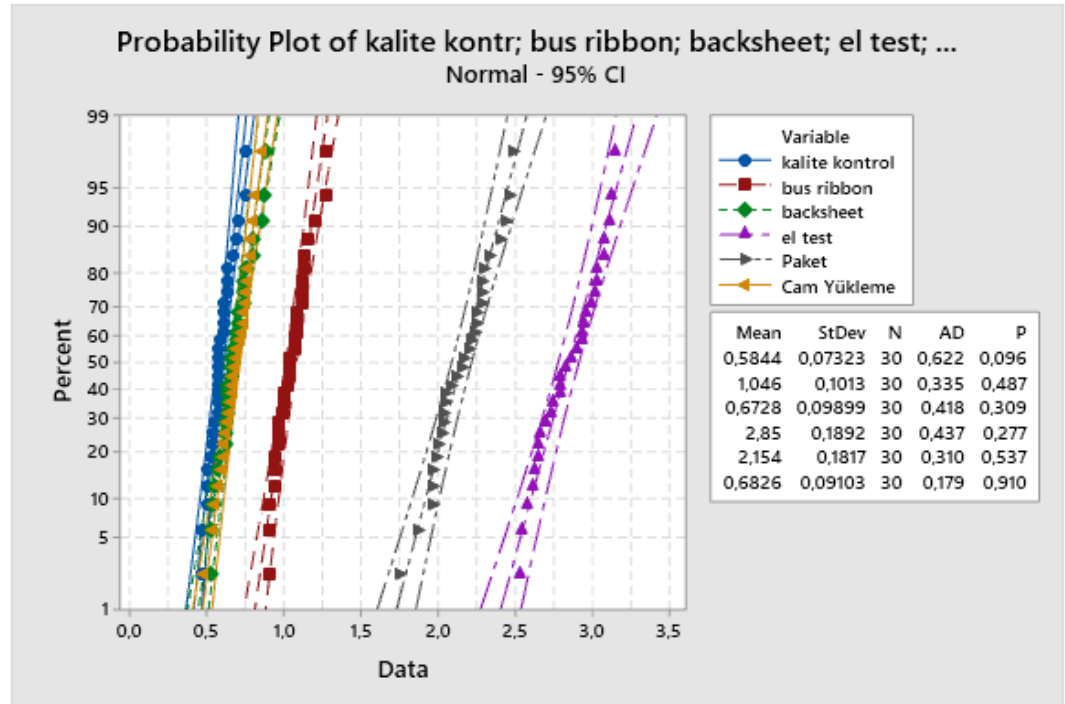
	60 Mw Üretim Hattı	40 Mw Üretim Hattı Hat
Cam Yıkama	0,80	0,80
Cam Yükleme	0,0910-0,6826	0,0910-0,6826
EVA Serme	0,50	0,38
Kalite Kontrol	0,07323-0,5844	0,07770-0,5883
Stringer	1,70	1,05
Bus Ribbon Lehimleme	0,1013-1,046	0,0074-0,8072
EVA Serme	0,67	0,38
Backsheet Serme	0,06728-0,0989	0,0526-0,4572
EL TEST	0,1892-2,85	0,0472-2,058
Laminatör	11,03	7,50
Kalite Kontrol	0,07323-0,5844	0,0777-0,5883
EL TEST-2	0,1892-2,85	--
JB Bağlama	0,42	0,42
Çerçeveleme	0,53	0,53
Sun Simülatör	0,42	0,28
Paketleme	0,1817-2,1540	0,1817-2,1540
Toplam	27,58 dakika	18,27 dakika

Makine çalışma süreleri deterministik kullanılmış olup, insan kaynaklı operasyonlarda süre değişimleri en az 30 kez ölçülerek, uyum istatistiklerine bakılarak belirlenmiştir.

5.2.1. Manuel İşlem Sürelerinin Analizi

İnsan kaynaklı operasyonlardaki ilgili makinelerin işlem sürelerinin tespiti için gözlem yapılmış, elde edilen veriler Minitab programı ile normallik testine tâbi tutulmuştur.

60 Mw lık hat için Anderson Darling ile yapılan test sonuçları ve olasılık grafikleri Grafik 1 de gösterilmiştir.



Grafik 1 Olasılık Grafikleri 60 Mw lık Hat

Anderson Darling yöntemine göre ;

H_0 = Veri normal dağılmaktadır.

H_1 = Veri normal dağılmaz.

Eğer p değeri $> 0,05$ ise (Güven aralığı %95 seçildiği için) H_0 reddedilemez.

Kalite Kontrol işlem süresi ortalama 0,5844 dakika ve standart sapması 0,07323 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Bus Ribbon Lehimleme işlem süresi ortalama 1,046 dakika ve standart sapması 0,1013 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

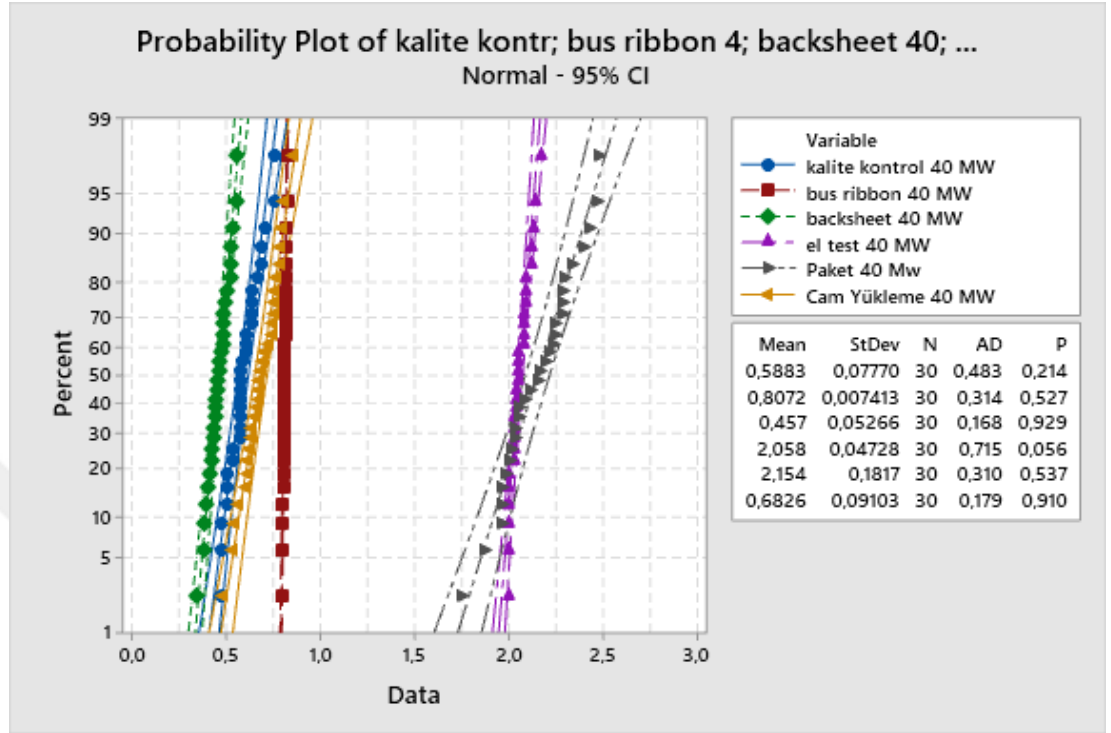
Backsheet serme işlem süresi ortalama 0,0672 dakika ve standart sapması 0,0989 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

El test işlem süresi ortalama 2,85 dakika ve standart sapması 0,1892 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Paketleme işlem süresi ortalama 2,1540 dakika ve standart sapması 0,1817 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Cam Yükleme işlem süresi ortalama 0,6826 dakika ve standart sapması 0,0910 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

40 Mw lık hat için Anderson Darling ile yapılan test sonuçları ve olasılık grafikleri Grafik 2 gösterilmiştir.



Grafik 2 Olasılık Grafikleri 40 Mw lık Hat

Anderson Darling yöntemine göre ;

H_0 = Veri normal dağılmaktadır.

H_1 = Veri normal dağılmaz.

Eğer p değeri $< 0,05$ ise (Güven aralığı %95 seçildiği için) H_0 reddedilemez.

Kalite Kontrol işlem süresi ortalama 0,5883 dakika ve standart sapması 0,0777 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Bus Ribbon Lehimleme işlem süresi ortalama 0,8990 dakika ve standart sapması 0,0072 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Backsheet serme işlem süresi ortalama 0,04570 dakika ve standart sapması 0,0526 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

El test işlem süresi ortalama 2,0580 dakika ve standart sapması 0,0472 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Paketleme işlem süresi ortalama 2,1540 dakika ve standart sapması 0,1817 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Cam Yükleme işlem süresi ortalama 0,6205 dakika ve standart sapması 0,0902 dakika olan normal dağılıma uymaktadır.

Minitab de oluşturulan veri tabloları EK-1 de verilmiştir.

5.2.2. Simülasyon Senaryosu Oluşturulurken Varsayımlar

Üretim hattının simüle edilmesi sırasında aşağıdaki varsayımlar kullanılmıştır.

- 1- Üretim hatları arasındaki mesafe yaklaşık olarak 25-30 metre olarak hesap edilmiştir.
- 2- Üretim çıktı miktarındaki artışın , talep arz dengesine göre firmaya satış cirosunda yükselme sağlayacağı öngörülmüştür.
- 3- Üretim hattındaki makinelerin arıza bakım süreleri simülasyona veri olarak girilmemiştir.
- 4- Çalışanların tam performans ile çalışma saatlerine uyduğu varsayılmıştır..
- 5- Yapılan çalışmada ki önerilerin firma tarafından uygulanacağı varsayılmıştır.

5.2.3. Üretim Hattının Verilerinin Simülasyon ile İncelenmesi

Gelecek durum için önerilen iyileştirilmiş süreç sonucunda mevcut sistemde nelerin değişeceğini ve mevcut sistemin bunlardan nasıl etkileneceğini görmek amacıyla simülasyon yönteminden yararlanılmıştır. Bu kapsamda öncelikle mevcut durum simülasyon modeli kurulmuş ve bu modelin mevcut sistemi tam olarak temsil ettiği doğrulanmıştır. Burada mevcut durum simülasyon modeli, gerçekteki mevcut durumun aynısıdır. Daha sonra mevcut simülasyon modeli üzerinde birtakım değişiklikler yapılarak gelecek durum simülasyon modeli kurulmuştur. Gelecek durum simülasyon modeli ile mevcut durum simülasyon modelinin çıktılarının karşılaştırılmasıyla da gelecek durum için önerilen sürecin ne denli etkin/etkili olduğu görülmüştür.

Üretim hattındaki çalışanların ve makinelerin simülasyon içerisinde tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlama yapılırken bloklar kullanılmıştır. Üretim hatları Anylogic 8.4 programında çizilmiş ve her bir makineye gerekli işçi atamaları yapılmıştır. İşçi atamaları yapılırken firmadan alınan bilgiler kullanılmıştır.

Simülasyon ekranında yeterli alan olmadığı için üretim hattı uygun bir şekilde ilgili süreçlerin sıralaması bozulmadan yerleştirilmiştir. Üretim hattında çalışan tüm işçiler , operatörler ve iş istasyonları benzer şekilde tanımlanmıştır.

Simülasyon da 40 Mw lık hatta çalışan işçi tanımlaması Şekil 70'deki gibi yapılmıştır. Ayrıca 40Mw lık hatta çalışan işçi sayısı vardiya çizelgelerine göre Şekil 71'deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 70 Simülasyon 40 MW İşçi

Şekil 71 Simülasyon 40 MW İşçi Verileri

Simülasyon da 60 Mw lık Laminatör tanımlaması Şekil 72’deki gibi yapılmıştır.Ayrıca 60Mw lık Laminatör işlem süresi , ilgili operatör bilgileri çizelgelerine göre Şekil 73’deki gibi tanımlanmıştır.

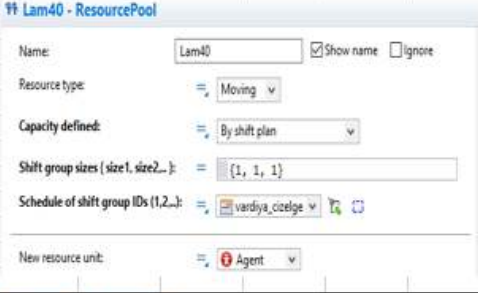
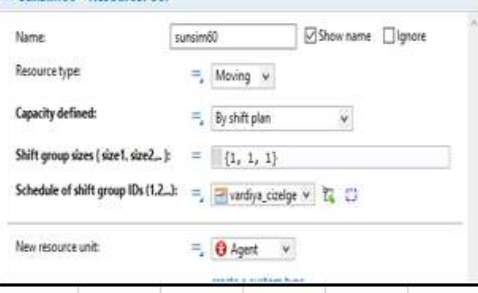


Şekil 72 Simülasyon 60 MW Laminatör

Şekil 73 Simülasyon 60 Mw Laminatör Verileri

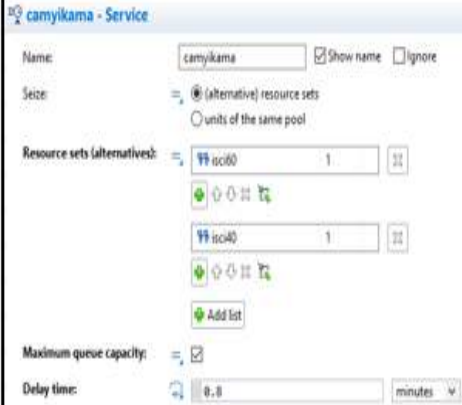
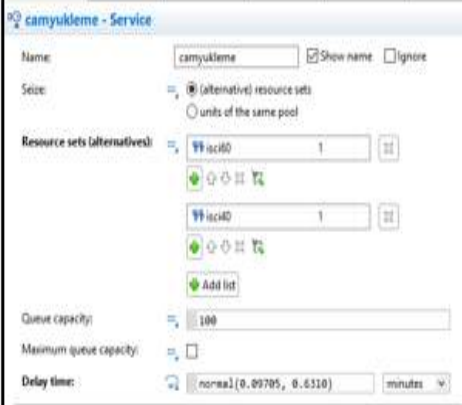
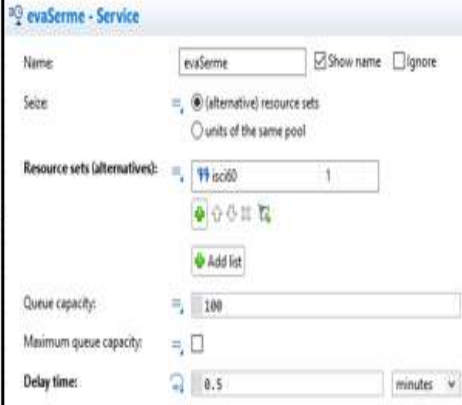
Tablo 9 da üretim hattında çalışan operator ve işçilerin tanımlamalarından bazıları örnek olarak gösterilmiştir.

Tablo 9 Simülasyon Operatör Tanımlama

BLOK	Operatör	VERİLER	AÇIKLAMA
Lam40 	40 MW Laminatör Operatörü		40 Mw lık Laminatörde tanımlı operatördür. Vardiya planına göre çalışmaktadır. Her vardiya da 1 operatör çalışmaktadır.
sunsim60 	60 MW Sun Simülatör Operatörü		60 Mw lık hatta tanımlı operatördür.. Vardiya planına göre çalışmaktadır. Her vardiya da 1 operatör çalışmaktadır.

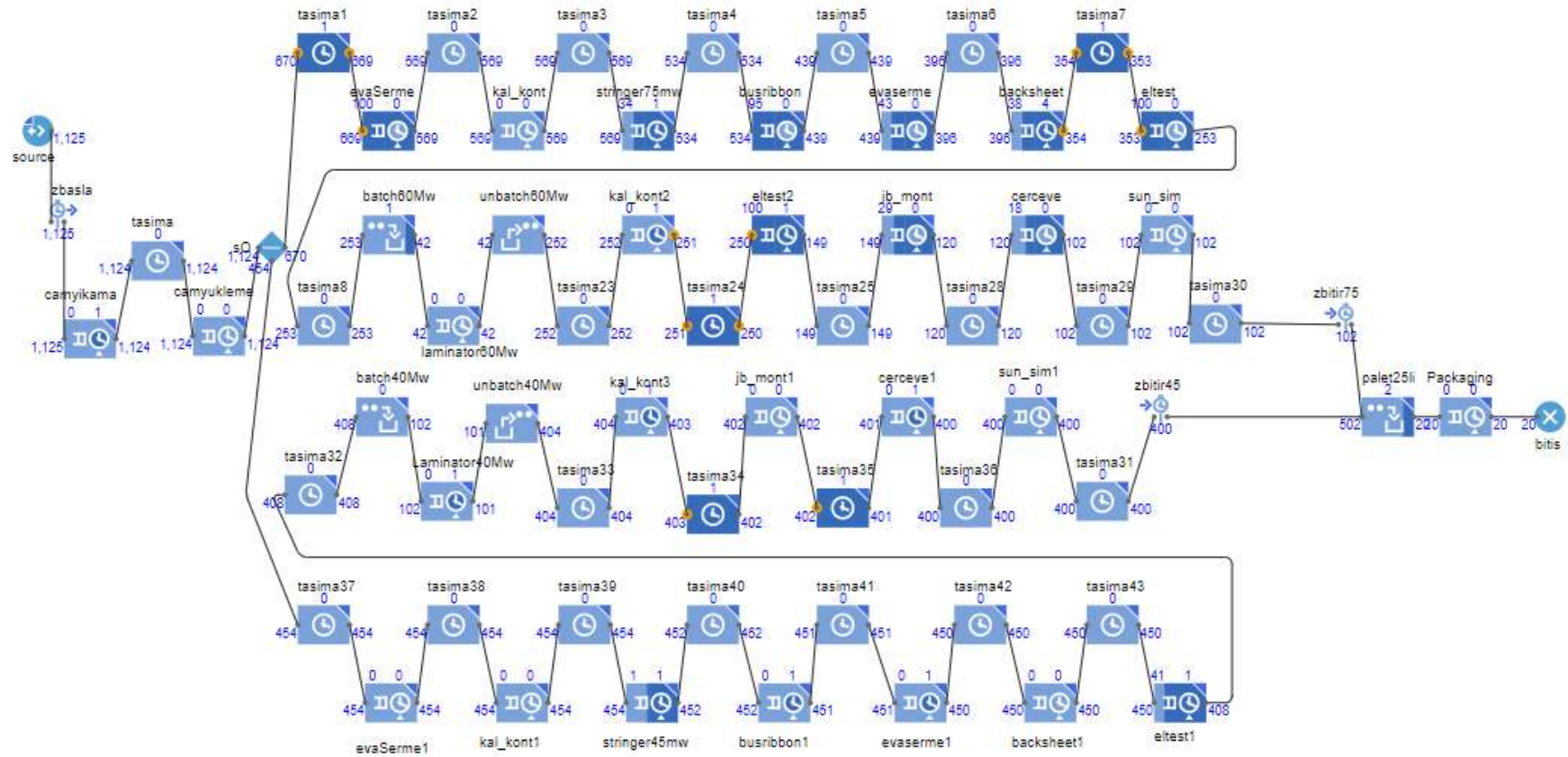
Üretim hattında bulunan iş istasyonları benzer şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca Tablo 10'da iş istasyonlarından bazıları örnek olarak gösterilmiştir.

Tablo 10 Simülasyon İş İstasyonu Tanımlama

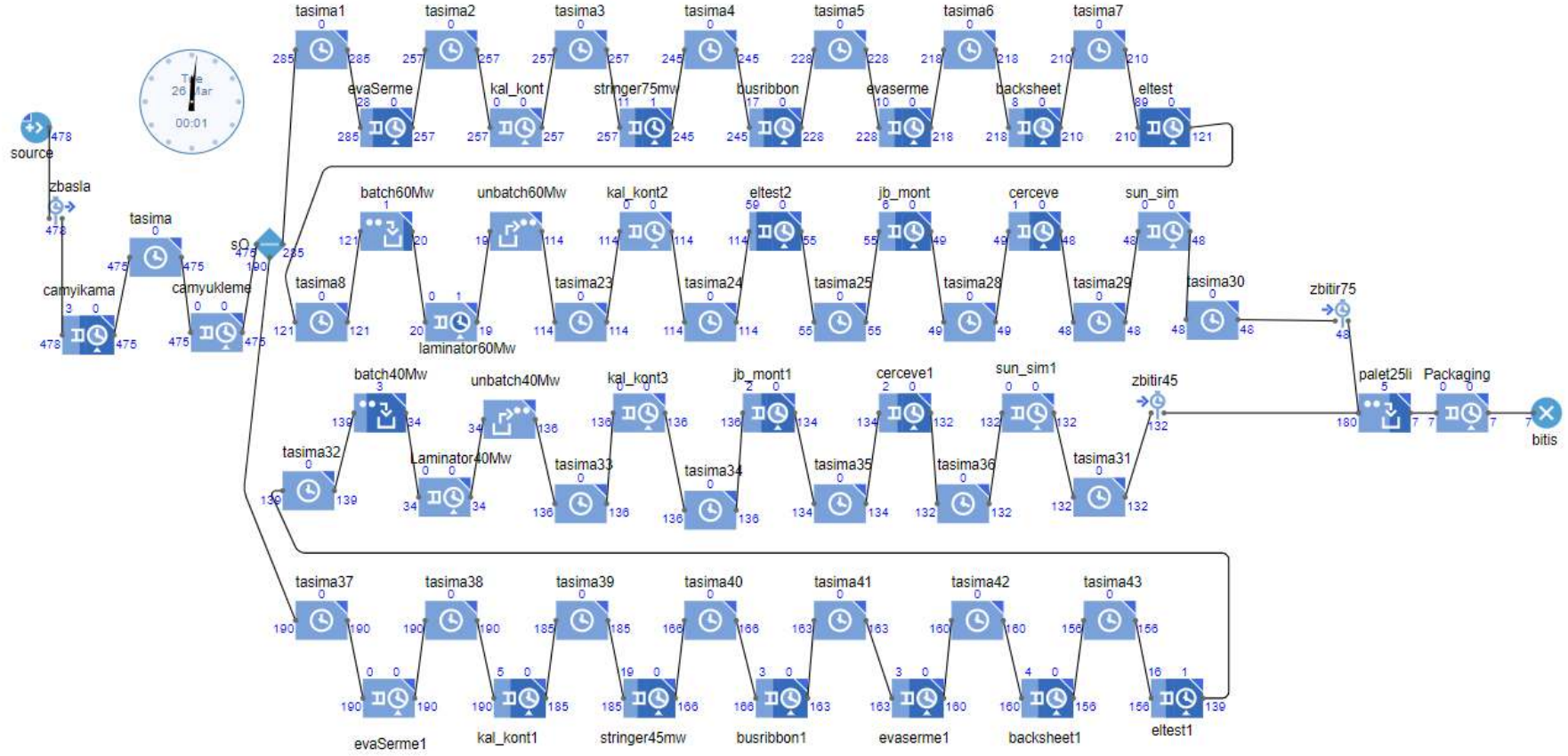
BLOK	İstasyon	VERİLER	AÇIKLAMA
camyikama 	Cam Yıkama İstasyonu	 camyikama - Service Name: camyikama ☒ Show name ☐ Ignore Seize: ☒ (alternative) resource sets ☐ units of the same pool Resource sets (alternatives): - isc60 1 - isc40 1 Maximum queue capacity: ☒ Delay time: 0.8 minutes	Cam Yıkama İstasyonunda 40 Mw ve 60 Mw da tanımlı işçiler çalışmaktadır. Makine İşlem süresi 0,8 dakikadır.
camyukleme 	Cam Yükleme İstasyonu	 camyukleme - Service Name: camyukleme ☒ Show name ☐ Ignore Seize: ☒ (alternative) resource sets ☐ units of the same pool Resource sets (alternatives): - isc60 1 - isc40 1 Queue capacity: 100 Maximum queue capacity: ☐ Delay time: normal (0.09705, 0.6510) minutes	Cam Yükleme İstasyonunda 40 Mw ve 60 Mw da tanımlı işçiler çalışmaktadır. Makine İşlem süresi 0,63 dakikadır.
evaSerme 	EVA Serme İstasyonu	 evaSerme - Service Name: evaSerme ☒ Show name ☐ Ignore Seize: ☒ (alternative) resource sets ☐ units of the same pool Resource sets (alternatives): isc60 1 Queue capacity: 100 Maximum queue capacity: ☐ Delay time: 0.5 minutes	Eva Serme 60 MW ılık hat içerisinde olduğundan , 60Mw da tanımlı işçi çalışmaktadır. Makine İşlem süresi 0,5 dakikadır.

Anylogic 8.4 versiyonunda üretim hatlarının çizimi yapılarak , bütün veriler işlenmiştir. Operatörlere iş tanımlamaları yapılarak , ilgili süreçlerde çalışacak personel atamaları yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda işçilerin verimli çalışmadıkları analiz edilmiştir. Simülasyon çalışması sıfır hata prensibine göre yapılmış olup , makine arıza ve bakım süreleri firma tarafından verilen verilere göre işlenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasında ısınma süresi 8 saat olarak alınmıştır. Şekil 74 de simülasyon 36 saat çalıştırılarak ilk çıktı miktarı elde edilmiş, daha sonra ilk 8 saat lik kısımda üretilen miktar yine simülasyon ile bulunarak Şekil 75 de gösterilmiştir.





Şekil 74 Gerçek Veriler ile Simülasyon Sonucu-36 saatlik çalışma verisi



Şekil 75 Gerçek Veriler ile Simülasyon Sonucu- 8 saatlik çalışma verisi

Öncelikle tek örneklem t testi yardımıyla sekiz saatlik hem ısınma periyodunda hem de 36 saatlik toplam çalışma periyodunda kullanılacak ortalama çıktı miktarı hakkında çıkarım yapılacaktır. Bu amaçla $n = 15$ olacak şekilde model önce ısınma periyodu için çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Tablo 11 Isınma periyodu için alınan örneklem

Örnek Nu.	Isınma Çıktı	Örnek Nu.	Isınma Çıktı
1	6	9	7
2	7	10	7
3	6	11	8
4	7	12	7
5	6	13	6
6	6	14	6
7	7	15	7
8	6	-	-

Aynı şekilde toplam 36 saatlik periyot için aynı işlemler tekrar edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 12 Toplam periyot için alınan örneklem

Örnek Nu.	Toplam Çıktı	Örnek Nu.	Toplam Çıktı
1	22	9	17
2	21	10	18
3	23	11	19
4	17	12	19
5	16	13	16
6	17	14	21
7	19	15	21
8	22	-	-

Tablo 11’de verilen sonuçlara Minitab yardımıyla tek örneklem t testi yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.. Buna göre anakütle ısınma periyodu ortalama çıktı miktarının 7 palet olarak kullanılabileceğine karar verilmiştir.

One-Sample T: Çıktı

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound for μ
15	6,600	0,632	0,163	6,312

μ : mean of Çıktı

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 7$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu > 7$

T-Value	P-Value
-2,45	0,986

Aynı yöntemle toplam çalışma periyodunda elde edilen çıktı miktarı da incelenmiş olup, ana kütle ortalamasının 20 palet kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar aşağıda Minitab çıktısı olarak sunulmuştur.

One-Sample T: Çıktı_Genel

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
15	19,200	2,336	0,603	(17,906; 20,494)

μ : mean of Çıktı_Genel

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 20$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu \neq 20$

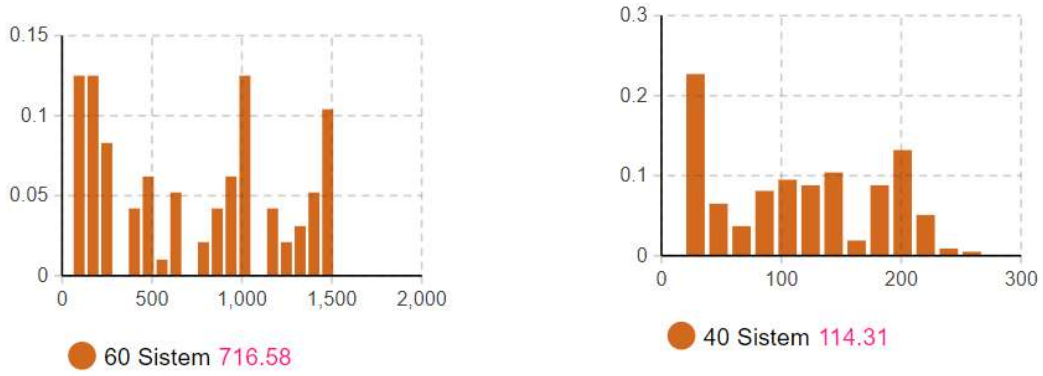
T-Value	P-Value
-1,33	0,206

8 saatlik ısınma üretimi 7 adet palet olarak çıktı vermiş olup , Her bir palete 25 adet fotovoltaik panel konulduğu için toplamdaki üretim çıktı miktarı 175 adettir.

36 saatlik simülasyon sonucu elde edilen üretim miktarı 20 palet olup , toplamdaki üretim çıktı miktarı 500 adet olarak görülmektedir.

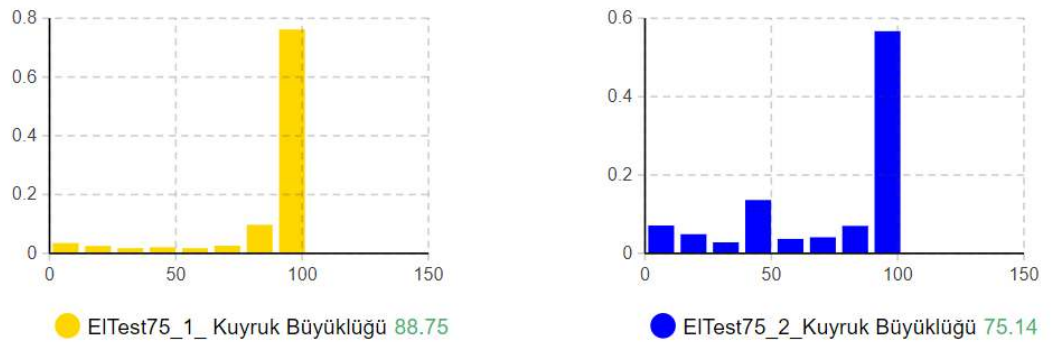
Firmanın günlük üretim miktarının 300-350 adet olduğu bilgisi ile simülasyonun geçerliliği test edildiğinde 325 adet üretim çıktısı alınmış olması , yapılan simülasyonun gerçeğe yakınlığını kanıtlamaktadır.

Simülasyonda ayrıca kuyruk süreleri hesaplamaları yapılarak , bir fotovoltaik modülün hat içerisinde geçirdiği toplam süreler grafikler ile analiz edilmiştir. Kuyruk süreleri Grafik 3 de gösterilmiştir.

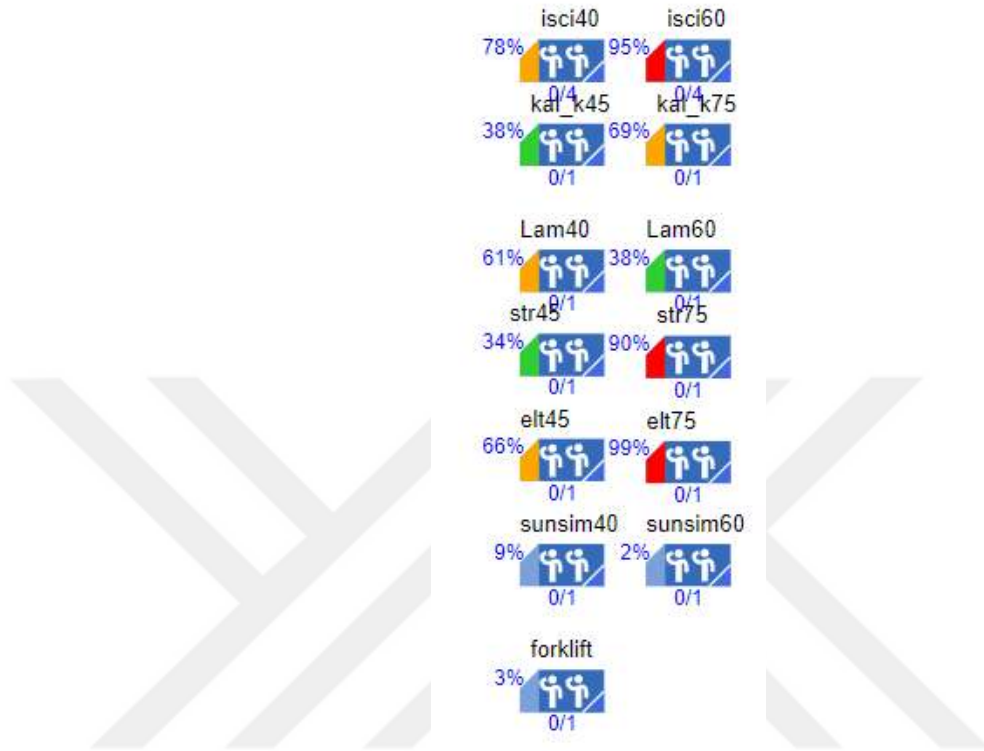


Grafik 3 Üretim Hattında Modüllerin Kuyrukta Bekleme Süreleri

Simülasyon çalışmasında 60 MW lık hat içerisinde kullanılan EL Test Makinesinin üretim çıktısına doğrudan etki ettiği analiz edilmiş ve daha sonra karşılaştırma yapabilmek için EL Test Makinelerinin kuyrukta bekleme süreleri grafikleri de çıkartılmıştır. İlgili sonuçlar Grafik 4 de gösterilmiştir.



Grafik 4 El Test Kuyruk Süresi



Şekil 76 Çalışan Performans Analizi

Çalışanların performans analizi Şekil 76 da simülasyon aracılığı ile gösterilmiştir.

Yapılan bu simülasyon çalışması sonucunda , firmanın fotovoltaiik modül çıktı kapasitesine artırmaya yönelik tavsiye niteliğinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında firmaya sunulan 3 adet öneri ile alakalı bilgiler paylaşılacaktır.

5.2.4. Simülasyon Yardımıyla Öneriler

Firmaya üretim çıktısını artırmaya yönelik 3 farklı öneri sunulmuştur. Bu öneriler planlanırken ilk önce üretim hattında çalışanlar analiz edilerek , farklı makinelerde ki operatörlerin birbirlerine yardıma gitmesi sonucunda bir verimlilik sağlanıp , sağlanmadığına bakılmıştır.

Daha sonra üretim hattında darboğaz olan noktanın simülasyon analizi ile daha fazla çıktı nasıl verebileceği konusunda çalışmalar yapılmış ve EL Test makinesinin hat içerisinde bir tane daha olması durumunda üretim, çıktı sayısının artacağı sonucuna varılmıştır.

En son olarak hat içerisinde entegre edilecek yeni makine ve çalışan sayısında artış yapmanın firmaya kar / zarar analizi yapabilmesi için raporlanmıştır.

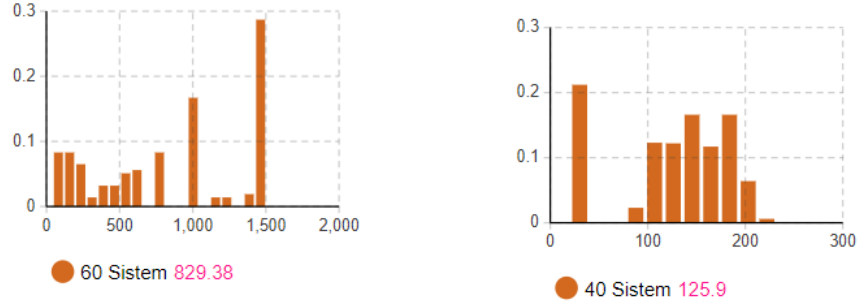
5.2.4.1. Öneri 1

Çalışanların Verimli Kullanılmasının Üretime Etkisi

Üretim hattında yapılan analiz sonucunda 60 MW lık laminatör operatörünün , yine aynı hat üzerinde ki EL tester operatörüne yardım etmesinin etkisi üzerine çalışılmıştır. Hat düz akış şeklinde olduğu için , Laminatör operatörünün , EL Test operatörüne yardım etmesi planlanmıştır. Süreçler birbiri arkasında olduğu için , yardımlaşma sırasında Laminatör operatörünün kendi sürecinde herhangi bir problem yaşanmayacağı firma tarafından onaylanmıştır.

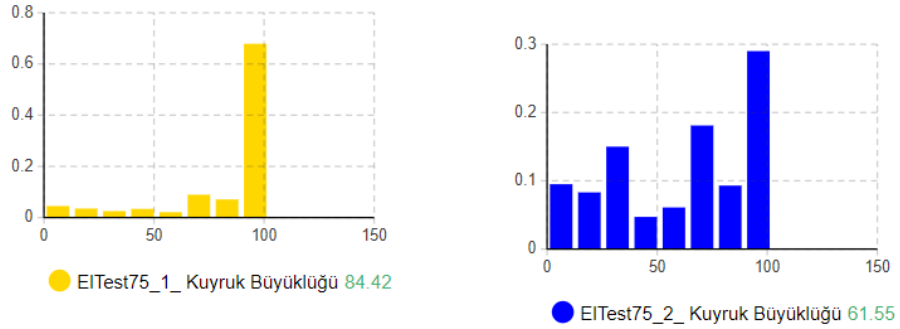
Simülasyon sonucu günlük panel çıktı adedinin 34 palet olduğu görülmüştür. Sadece üretim hattında çalışan personellerinin görev tanımlarında yapılan bir değişiklik günlük olarak fotovoltaik panel çıktı adedini 850 adet olmasını sağlamıştır. Firmaya 1. Öneri olarak sunulan simülasyon görüntüsü Şekil 77 de paylaşılmıştır.

Yapılan ilk çalışmaya göre bir fotovoltaiik modülün, hat içerisinde geçirdiği toplam süreler grafikler ile analiz edilmiştir. Kuyruk süreleri Grafik 5 de gösterilmiştir.



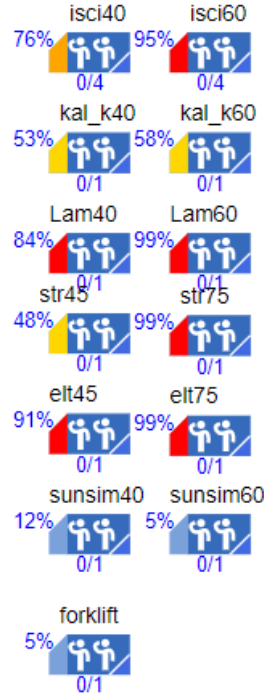
Grafik 5 Modüllerin Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre - Öneri 1

EL Test Makinelerinin kuyrukta bekleme süreleri grafikleri de çıkartılmıştır. İlgili sonuçlar Grafik 6 da gösterilmiştir.



Grafik 6 EL Test Kuyruk Bekleme Süresi - Öneri 1

İlk öneride modüllerin üretim hattında bekleme ve El Tester bekleme sürelerinde bir iyileşme gözlemlenememiştir. Fakat üretim çıktısında ki artış , önerinin uygulanabilirliğini göstermektedir.



Şekil 78 Çalışan Performansları - Öneri 1

Simülasyon da görüldüğü üzere 60 Mw lık hatta çalışan Laminatör operatörünün , EL Test operatörüne yardım etmesi üzerinde , üretim çıktısına etkisi günlük beklentinin 350 adet olmasını sağlayacaktır. Firmaya bu konu da bilgi verilmiş olup , işçi performans takiplerinin daha dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

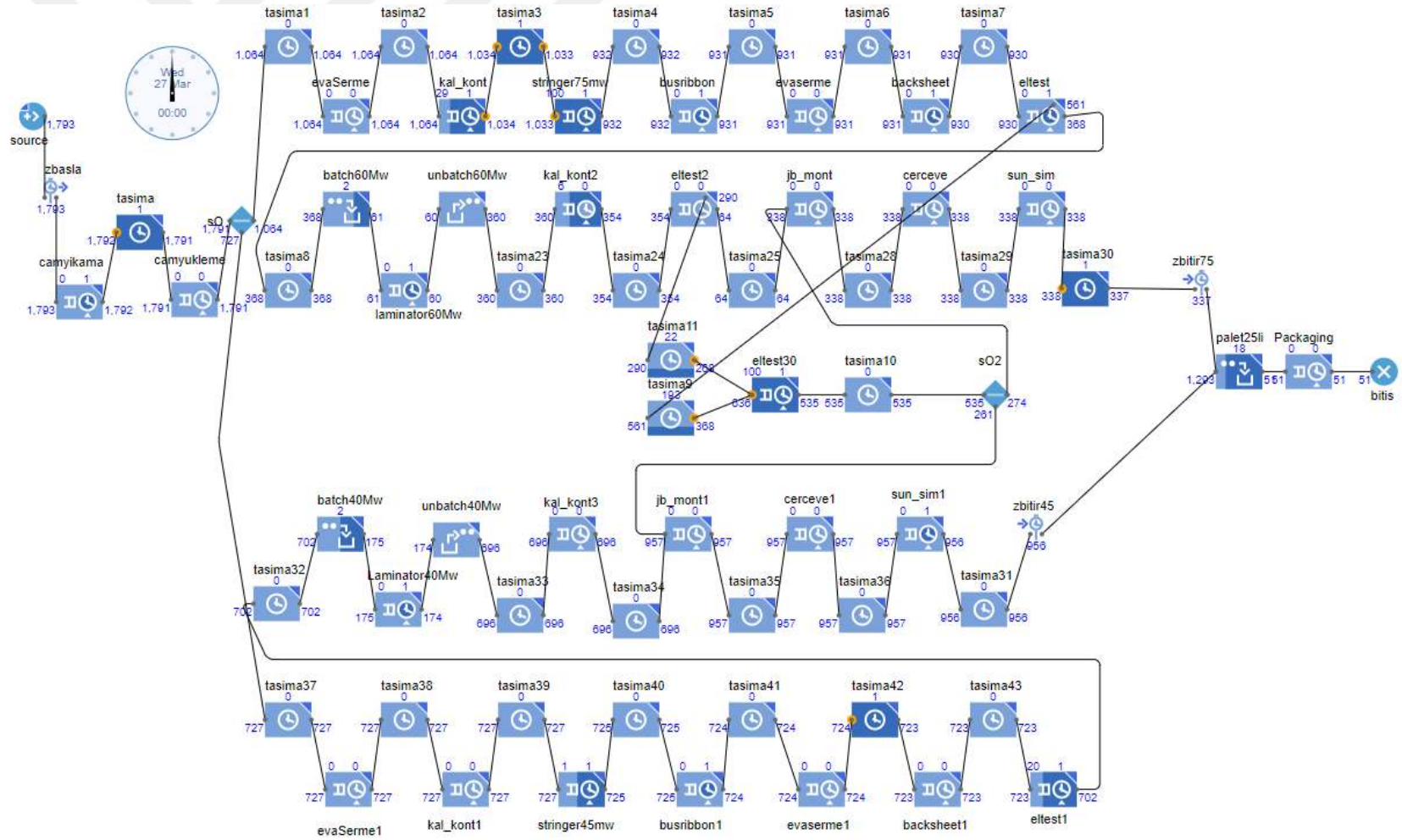
Çalışanların yapılan öneriye göre performans analizi Şekil 78 de simülasyon aracılığı ile gösterilmiştir.

Firma tarafından yapılan hesaplama sonucunda günlük 350 adet fotovoltaik panel çıktısı artışının firmanın proje teslim süresinde % 80 lik bir iyileşme dışında , finansal olarak da aylık ciro da yaklaşık 80.000 USD artış sağlamasıdır.

5.2.4.2. Öneri 2

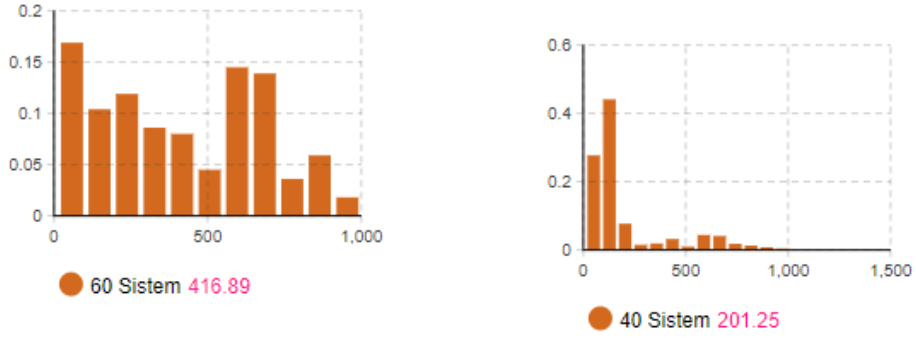
Makine Parkuruna Yeni Bir Makine Eklenmesi

Firma ile yapılan görüşmeler sonucunda , üretim hattında kullanılan makinelerden , EL Test makinesinin çıktı kapasitesini hali hazırdaki durumda doğrudan etkilediğine ortak karar verilmiş ve yeni bir makine yatırımı yapılabilmesi için simülasyon ile çıktı analizi yapılmaya karar verilmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar sonucu , yeni entegre edilecek makinenin lokasyonuna firma ile beraber karar verilmiş ve simülasyon uygulaması üzerinde veri takibi yapılmıştır. Bu öneri de bir önceki senaryodaki gibi yardımlaşma kullanılmamış , yeni bir makine ve ilgili makineyi kullanacak operatör planlaması yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması Şekil 79 de gösterilmiştir.



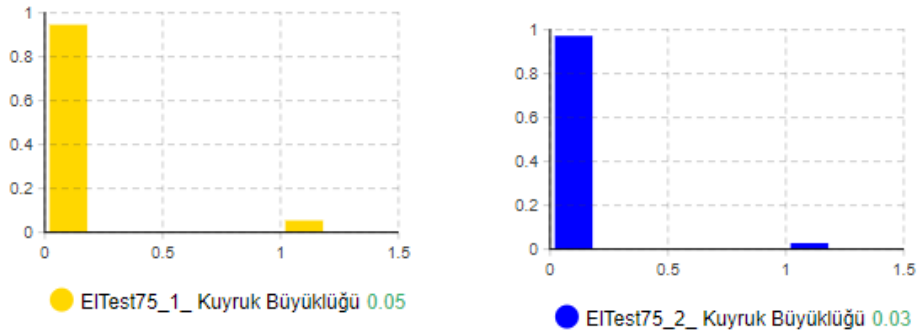
Şekil 79 Öneri 2 - Yeni Bir El Test Makinesi Entegre Edilmesi

Yapılan ikinci çalışmaya göre bir fotovoltaik modülün, hat içerisinde geçirdiği toplam süreler grafikler ile analiz edilmiştir. Kuyruk süreleri Grafik 7 de gösterilmiştir.



Grafik 7 Modüllerin Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre- Öneri 2

EL Test Makinelerinin kuyrukta bekleme süreleri grafikleri de çıkartılmıştır. İlgili sonuçlar Grafik 8 de gösterilmiştir.



Grafik 8 El Test Kuyrukta Bekleme Süresi - Öneri 2

İlk öneriye istinaden yapılan karşılaştırmada Fotovoltaik modüllerin üretim hattında bekleme sürelerinde ve 60 Mw lık hatta bulunan EL Test makinelerinin kuyruk sürelerinde de bir iyileşme gözlenmiştir. Bu iyileşmeler ile ilgili analiz çalışmanın son bölümünde özet olarak verilecektir.



Şekil 80 Çalışan Performansı - Öneri 2

Simülasyonda da görüldüğü üzere toplamda 1.275 çıktı alınmıştır. Toplam beklentinin yeni makine yatırımı ile beraber 1.100 adet olduğu istendiğinden 175 adet üzerinde olmasını sağlayacaktır. Yine bu öneri içinde işçi performanslarının etkisi fazladır. Firmaya bu konu da bilgi verilmiş olup , işçi performans takiplerinin yapılması gerekmektedir.

Çalışanların yapılan öneriye göre performans analizi Şekil 80 de simülasyon aracılığı ile gösterilmiştir.

Firma tarafından yapılan hesaplama sonucunda günlük 1.275 adet fotovoltaik panel çıktısı , firmanın proje teslim süresinde %90 lik bir iyileşme dışında , finansal olarak da aylık ciro da yaklaşık 125.000 USD artış sağlamasıdır. Yapılacak makine yatırımı ve ekstra her vardiyada 1 adet operatör maliyetinin hesaplanması sonucunda, firma aylık ciro da yaklaşık 98.000 USD artış sağlayacağını hesaplamaktadır.

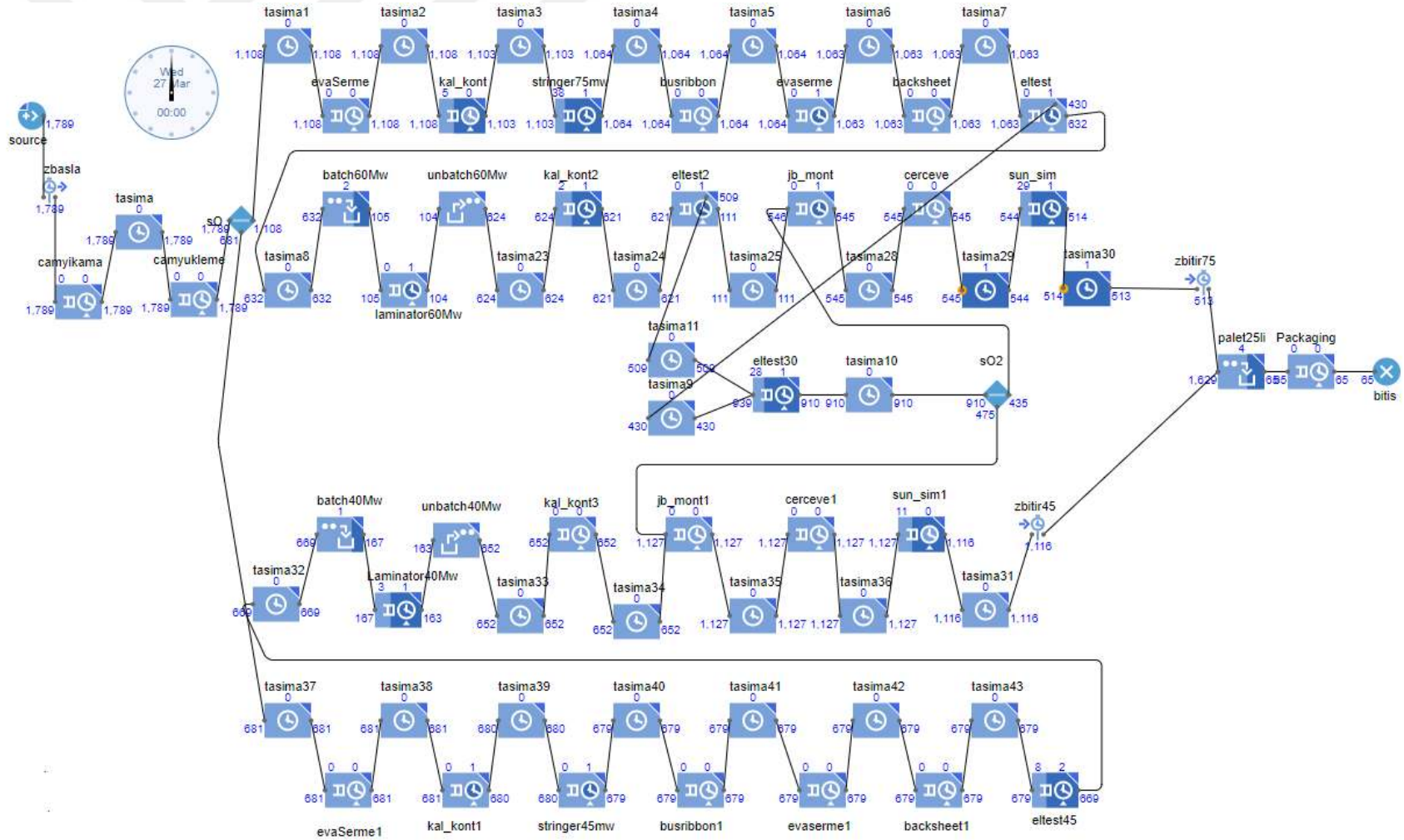
5.2.4.3. Öneri 3

Karma Öneri

Simülasyon sonucuna göre yeni bir EL Test makinesinin hatta entegre edilmesi sonucunda görülen çıktı artış miktarına istinaden , operatörler arasında yardımlaşma senaryosu tekrardan çalıştırılmıştır. Üretim hattında yapılan analiz sonucunda her iki hat içinde aşağıdaki yardımlaşmalar planlanmış ve firmadan uygulanabilirlik konusunda onay alınmıştır.

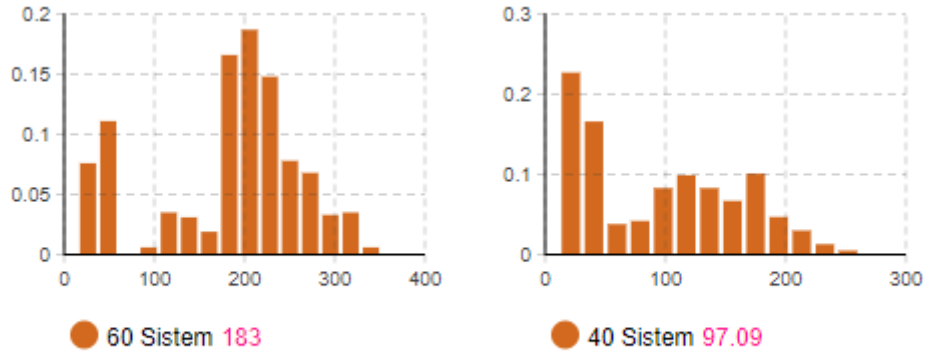
- 60 Mw lık hatta çalışan Kalite kontrol operatörü yine aynı hatta çalışan Stringer operatörüne yardıma gidecek
- 60 Mw lık hatta çalışan Sun simülatör operatörü , yeni planlanan El Test 30 operatörüne yardıma gidecek
- 40 Mw lık hatta çalışan Sun simülatör operatörü , yine aynı hatta çalışan El Test operatörüne yardıma gidecek
- Forklift operatörü , 60 MW lık hatta çalışan El Test (laminasyon öncesi olan) operatörüne yardıma gidecek.

Yapılan simülasyon çalışması Şekil 81 de gösterilmiştir.

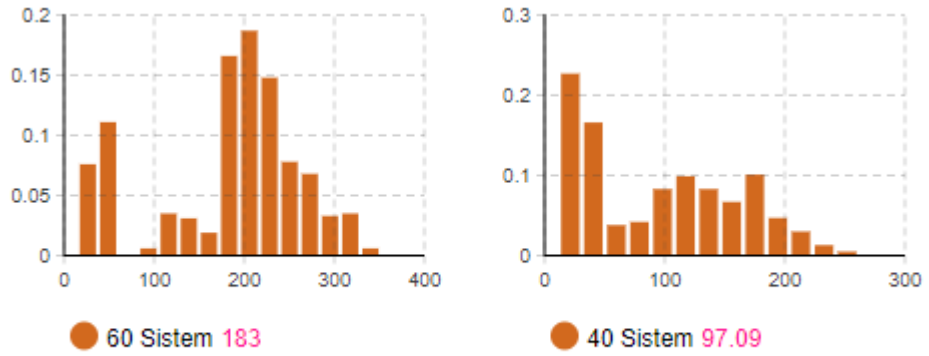


Şekil 81 Öneri 3 - Operatörlerin Birbirine Yardım Etmesi

Yapılan üçüncü çalışmaya göre bir fotovoltaik modülün, hat içerisinde geçirdiği toplam süreler grafikler ile analiz edilmiştir. Kuyruk süreleri

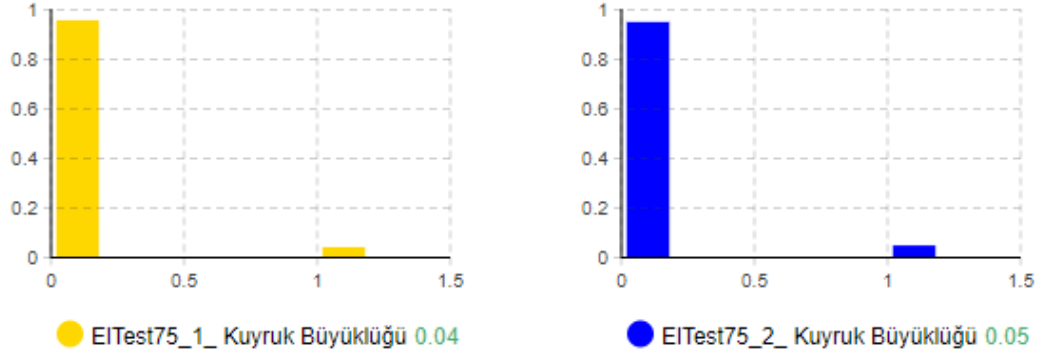


Grafik 9 da gösterilmiştir.



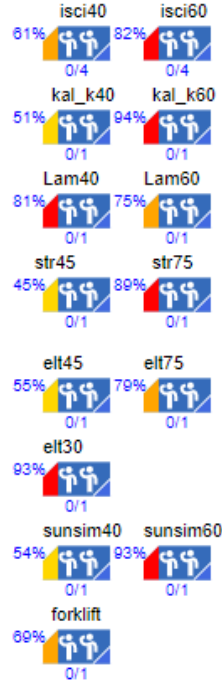
Grafik 9 Modüllerin Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre - Öneri 3

EL Test Makinelerinin kuyrukta bekleme süreleri grafikleri de çıkartılmıştır. İlgili sonuçlar Grafik 10 da gösterilmiştir.



Grafik 10 El Test Kuyrukta Bekleme Süresi - Öneri 3

İlk iki öneriye istinaden yapılan karşılaştırmada Fotovoltaik modüllerin üretim hattında bekleme sürelerinde ve 60 Mw lık hatta bulunan EL Test makinelerinin kuyruk sürelerinde de bir iyileşme gözlenmiştir. Bu iyileşmeler ile ilgili analiz çalışmanın son bölümünde özet olarak verilecektir.



Şekil 82 Çalışan Performansı-Öneri 3

Simülasyonda da görüldüğü üzere toplamda 1.625 çıktı alınmıştır. Toplam beklentinin yeni makine yatırımı ile beraber 1.100 adet olduğu istendiğinden 525 adet üzerinde olmasını sağlayacaktır. Yine bu öneri içinde işçi performanslarının etkisi fazladır.

Firmaya bu konu da bilgi verilmiş olup , işçi performans takiplerinin yapılması gerekmektedir. Çalışanların yapılan öneriye göre performans analizi Şekil 82 de simülasyon aracılığı ile gösterilmiştir.

Firma tarafından yapılan hesaplama sonucunda günlük 1.625 adet fotovoltaiik panel çıktısı , firmanın proje teslim süresinde %100 lik bir iyileşme dışında , finansal olarak da aylık ciro da yaklaşık 158.000 USD artış sağlamasıdır. Yapılacak makine yatırımı ve ekstra her vardiyada 1 adet operatör maliyetinin hesaplanması sonucunda, firma aylık ciro da yaklaşık 113.000 USD artış sağlayacağını hesaplamaktadır.

Karma öneriden sonra tüm veriler toplanarak tekrar bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışması kuralları aşağıdaki gibidir. Üretim hatlarında çalışacak işçi, kalite kontrol operatörlerini ve Forklift operatörü çalışan sayılarını Tablo 13 de belirlenen aralıkta atayarak , maksimum sonuca ulaşmak hedeflenmiştir.

Tablo 13 Optimizasyon Verileri

Parameters:

Parameter	Type	Value			
		Min	Max	Step	Suggested
i60p	int	1	10	1	5
i40p	int	1	10	1	4
kk45p	int	1	3	1	1
kk75p	int	1	3	1	1
lam40p	fixed	1			
lam60p	fixed	1			
str40p	fixed	1			
str60p	fixed	1			
elt45p	fixed	1			
elt75p	fixed	1			
elt30p	fixed	1			
sun40p	fixed	1			
sun60p	fixed	1			
forkp	int	1	3	1	1

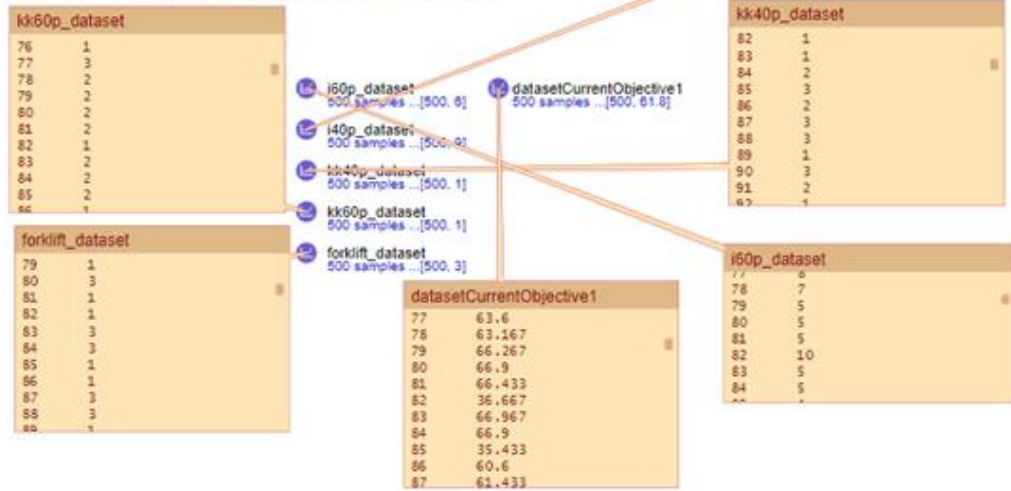
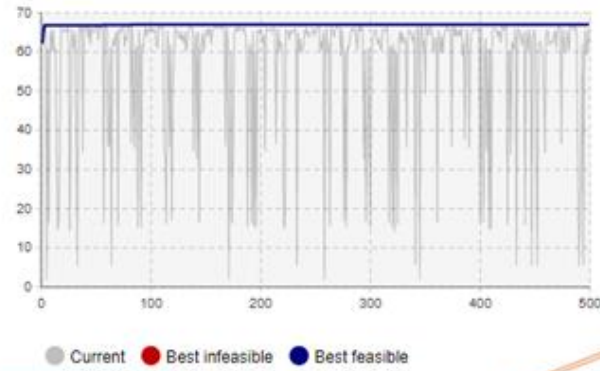
İlgili optimizasyon 500 iterasyon ve 30 tekrar ile çalıştırılarak en iyi sonuç olan 69 adet çıktı sayısına ulaşılmıştır. Optimizasyon sonucunda işçi dağılımı aşağıdaki şekilde simülasyona aktarılmıştır. İlgili iterasyon tablosu Ek-2 de yer almaktadır.

Tablo 14 Çalışan Sayısı Atamaları – Optimizasyon

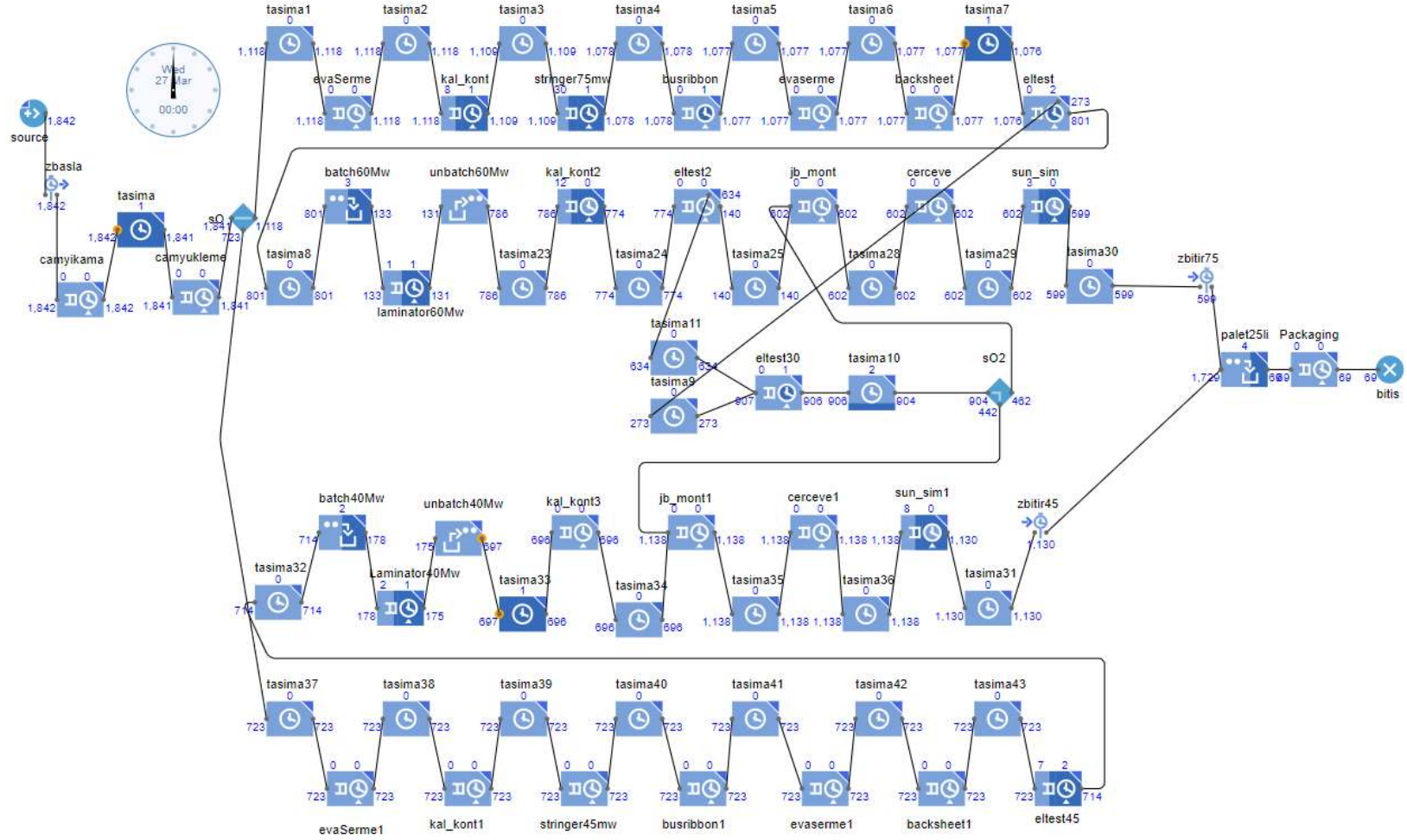
Parameters		
i60p:	=	5
i40p:	=	3
kk45p:	=	1
kk75p:	=	1
lam40p:	=	1
lam60p:	=	1
str40p:	=	1
str60p:	=	1
elt45p:	=	1
elt75p:	=	1
elt30p:	=	1
sun40p:	=	1
sun60p:	=	1
forkp:	=	2

Yapılan optimizasyon sonucu çalışan sayısını artırmanın , çıktı sayısından sağlanan avantaja kıyasla daha maliyetli olduğu anlaşılarak, firmaya bu doğrultuda sunulan raporun içerisinde yer almamasına karar verilmiştir. Yapılan simülasyon çalışması Şekil 83 de gösterilmiştir.

	Current	Best
Iterations completed:	500	83
Replications:	30	30
Objective: ↑	61.8	68.6
Parameters	Copy best	
i60p	6	5
i40p	9	9
kk40p	1	1
kk60p	1	2
lam40p	1	1
lam60p	1	1
str45p	1	1
str75p	1	1
elt45p	1	1
elt75p	1	1
elt30p	1	1
sun40p	1	1
sun60p	1	1
forkp	3	3



Şekil 83 Karma Öneri - Optimizasyon Çalışması



Şekil 84 Optimizasyon Çalışması Sonuç

SONUÇ

Fotovoltaik üretim hatlarının iyileştirilmesi üzerine yapılan bu çalışmanın sonunda , uygulamanın yapıldığı firmaya aşağıdaki bilgiler ışığında raporlama yapılacaktır. Üretim maliyetlerinin yüksek olduğu , teknolojik bir ürün olan Fotovoltaik panel üretimi yapan firmanın son 12 aylık dönemdeki üretim kaybı ve geleceğe yönelik istatistiksel analizinin sağlayacağı katma değer düşünülür ise, bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler, bütçe planlamaları, pazarlama faaliyetleri, satış planlamaları ve üretim planlamasında işletmeye pozitif bir bakış açısı sağlayacaktır.

Firmanın üretim çıktısına işçi performansının etkisinin ne kadar fazla olduğu bu çalışma ile kanıtlanmıştır. Yapılan detaylı analizler sonucu işçilerin ve operatörlerin daha verimli çalışmalarına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca firmanın finansal olarak da daha fazla ciro elde edeceği, yapılan hesaplamalar Tablo 15 de gösterilmiştir. Detaylı finansal analiz tablosu Ek 3 de verilmiştir.

Tablo 15 Finansal Analiz

	ÇALIŞAN SAYISI	ÇIKTI SAYISI	AYLIK TOPLAM CİRO FARKI	YATIRIM SONRASI CİRO FARKI
Fabrika Gerçek Üretim	57	12	----	----
Mevcut Durum Simülasyonu	57	13	\$17.340,00	----
Öneri 1	57	34	\$75.600,00	----
Öneri 2	57	51	\$83.160,00	\$25.160,00
Öneri 3	57	65	\$158.760,00	\$113.760,00
Öneri 3 - Optimizasyon	63	69	\$113.400,00	\$55.400,00

Üretim hatlarının her ikisinde bir panelin sistem içerisinde geçirdiği sürelerin önerilere göre değişimi Tablo 16 de verilmiştir.

Tablo 16 Modüllerin Üretim Hattında Geçirdiği En Uzun Süre

	40 mw	60 mw
Mevcut Durumun Simülasyonu	114.31 dakika	716.58 dakika
Öneri 1	125.90 dakika	829.38 dakika
Öneri 2	201.25 dakika	416.89 dakika
Öneri 3	97.09 dakika	183 dakika

Ayrıca üretim hattında bir modülün El Test makinesi sırasında geçirdiği sürenin minimize edilmesine yönelikte başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

Tablo 17 EL Test Kuyruk En Uzun Süre

	EL 75_1	EL 75_2
Mevcut Durumun Simülasyonu	88.75 dakika	75.14 dakika
Öneri 1	84.42 dakika	61.55 dakika
Öneri 2	0.05 dakika	0.03 dakika
Öneri 3	0.04 dakika	0.05 dakika

Bu çalışma ile Fotovoltaik üretim hatlarında yaşanan sorunların, simülasyon desteği ile analiz edilerek , üretim çıktı sayısının artmasını, optimum çalışma koşullarının planlanmasını , makinelerin maksimum verimle kullanılabilmesini ve gerektiğinde yapılacak bir makine yatırımının firmaya sağladığı fayda görülmüştür.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Acar N. ve Eştaş S., *Kesikli seri üretim sistemlerinde planlama ve kontrol çalışmaları*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara , (1991).

Aşkın R.G. ve Standridge C.R. *Modelling and Analysis of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons Inc., (1997)

Bowman E.H., *Assembly line balancing by linear programming*, *Operations Research*, Cilt 8 , No:3 , 385-289 , (1960).

Halaç O. , *İşletmelerde Simülasyon Teknikleri* , Alfa Yayınları, İstanbul , (1998)

Sezen K . , *Yöneylem Araştırması* , Dora Yayınları , Bursa , (2017)

Pipe, J , *Dünya Enerji sorunları, Güneş enerjisi Bedava Enerji Kaynağı mı?* Ankara TÜBİTAK Yayınları , (2013)

Monks, J. G. *İşlemler Yönetimi*, S.Üreten (Çeviri) , Nobel Yayınları , İstanbul (2001)

Makale

- Baskasoğlu A. , Durnuşoğlu Z. , Görkemli L . (2011) Etmen Tabanlı Benzetim : Anylogic Yazılımı ve Örnek Bir Çalışma , *Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi* , s. 197.
- Güner M. , İşler M. , Acar E. (2014) Bir Konfeksiyon Ürünü Üretiminde Dikim Hattının Farklı Yöntemler ile Dengelenmesi , *ISITES 2014* , Karabük , s. 1887
- Helgeson W.P. and Birnie, D.P., (1961) Assembly Line Balancing Using The Ranked Positional Weight Technique, *Journal of Industrial Engineering*, s. 384-398
- Macal, C. M., North, M. J., (2010) “Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation”, *Journal of Simulation*, s.151-162
- Yelkenci, S., Tunalı, S. (2011),”Eşanjör Üretim Hattında Simülasyon Kullanılarak, Darboğaz İstasyonların Belirlenmesi”, *Atatürk Ü. İİBF Dergisi*, 10. *Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı*, s. 445-450
- Md.Alamgir K.,Tabucanon T.M (1995) “Batch-Model Assembly Line Balancing : A Multiattribute Decision Making Approach”, *International Journal of Production Economics* , s.193-201
- JrJung L.(1997) “A Single-Run Optimization Algorithm for Stochastic Assembly Line Balancing Problems”, *Journal of Manufacturing Systems* , Vol 16/No :3 , s. 204-210
- R.McMullen P., V.Fraizer G. (1997) “A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations” , *International Journal of Production Economics* , s.177-190
- Mendes Ana R.ve Arkadaşları (2005) “Combining heuristic procedures and simulation models for balancing a PC camera assembly line” , *Computers & Industrial Engineering*,Vol: 49, s.413-431

- Raja, R. and Suryaprakasa Rao, K. (2007) “Performance Evaluation Through Simulation Modeling in a Cotton Spinning System” *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15 , s:1163-1172
- Brahmadeep and Thomassey, S. (2014) “A Simulation Based Comparison: Manual and Automatic Distribution Setup in a Textile Yarn Rewinding Unit of a Yarn Dyeing Factory” *Simulation Modelling Practice and Theory*, 45 , s.80-90.
- Zupan H. , Heraković N. (2015) “Production line balancing with discrete event simulation: A case study”, *IFAC-PapersOnLine* 48-3 , s. 2305–2311

Tezler

- Akın, N. G. (2010) , ‘Yalın İmalat Sistemlerinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Simülasyon Kullanılarak , *Doktora Tezi* , Erciyes Üniversitesi , Kayseri
- Bayraktaroğlu, A.E..(2007) , “Basit U-tipi Montaj Hattı Dengelemede Analitik Yöntemlerin Karşılaştırılması” , *Yüksek Lisans Tezi* , İstanbul Teknik Üniversitesi , İstanbul
- Çakır, B. (2006) , “Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama Benzetimi Algoritması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi , Ankara
- Gökçen, H. (1994) , “Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Modeller”, *Doktora Tezi* , Gazi Üniversitesi , Ankara
- İllez, A. A. (2006) , “Konfeksiyon Sektöründe Süreç Planlamasında Kullanılabilecek Matematiksel Yöntemler.” *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi , İzmir
- Kabadayı, N. (2007) , ‘Seri Tedarik Zincirinde Temel-Stok Seviyelerinin Simülasyon Temelli Genetik Algoritma İle Çözülmesi’, *Yüksek Lisans Tezi* , İstanbul Üniversitesi İstanbul
- Kavcar, B. (2004) , ‘Simülasyon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Satış Tahminleriyle Satış Bütçesi Hazırlanması’ , *Yüksek Lisans Tezi* , Ankara Üniversitesi , Ankara
- Kuvvetli , Y. (2010) , “ Karma Modelli Montaj Hattı Dengeleme ve İşgücü Atama Problemi İçin Yeni bir Yaklaşım. ” *Yüksek Lisans Tezi* ,Çukurova Üniversitesi ,Adana
- Uzmen, M. (1990) , “Montaj Dengeleme” , Fen Bilimleri Enstitüsü , , *Yüksek Lisans Tezi* , İstanbul Teknik Üniversitesi , İstanbul
- Üstün, S. (2005) , “ Bir Üretim Atölyesinde Darboğaz Problemlerinin Benzetimle Analizi ”, *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ , Trabzon

Yılmaz, M. M. (2006), Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi, *Yüksek Lisans Tezi* , Gazi Üniversitesi , Ankara

İnternet Kaynakları

https://tr.wikipedia.org/wiki/Gunes_enerjisi, (Erişim tarihi 30.09.2018)

<http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php> (Erişim tarihi 30.09.2018)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator>) (Erişim Tarihi 30.09.2018)

Enlog Europe Referanslar (www.enlog.us/references/) (Erişim tarihi 30.09.2018)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (<http://www.yegm.gov.tr/kuruluguc/gunes>) (Erişim Tarihi 30.09.2019)

www.solarbaba.com 2018 kapanış analizi raporu (Erişim tarihi : 30.12.2018)

<https://mundasolar.com/2018/07/10/gunes-paneli-nedir-gunes-paneli-secimi/> (Erişim tarihi : 10.07.2018)

<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/pv-panel-technology> (Erişim tarihi : 12.12.2018)

www.ise.fraunhofer.de (Erişim tarihi : 05.01.2019)

SNEC 2018 Fuarı, Sonuç Raporu www.snec.org.cn/resultreport2018 (Erişim Tarihi: 02.01.2019)

<https://www.jinko.com/products/> (Erişim Tarihi: 28.09.2018)

<https://www.jinko.com/products/technologies> (Erişim Tarihi: 28.09.2018)

www.ecoprogetti.com (Erişim Tarihi: 28.08.2018)

Enlog Europe www.enlog.us/tr/pvpanel/ (Erişim Tarihi: 05.02.2019)

www.google.com/solarcell (Erişim Tarihi: 05.02.2019)

www.novopolymer.com/whiteeva/ (Erişim Tarihi: 05.09.2018)

[www.agfa.com /pvproducts//](http://www.agfa.com/pvproducts//) (Erişim Tarihi : 05.09.2018)

www.sisecam.com /solarglass/ (Erişim Tarihi : 05.09.2018)

www.enlog.us /frame/ (Erişim Tarihi : 05.09.2018)



Online Katalog ve Dergiler

Morgan K. Solar Cell Production Technical Presentation .2017 PVSEC Conference

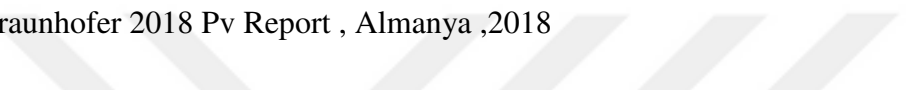
Ulbrich Solar Technologies, Katalog, Avusturya

Renewables Global Status Report,2018 International Energy Agency

Trends 2018 in Photovoltaic Applications, International Energy Agency

PI Berlin Gel Content Procedure, Berlin , 2012

Fraunhofer 2018 Pv Report , Almanya ,2018



EKLER

EK -1 40 MW ve 60 MW Hatlar için Minitab Veri Setleri

kalite kontrol 40 MW	bus ribbon 40 MW	backsheet 40 MW	el test 40 MW	Paket 40 Mw	Cam Yükleme 40 MW
0,50000	0,80763	0,40000	2,00000	2,20000	0,61996
0,46667	0,80584	0,44000	2,14000	2,05000	0,66766
0,56667	0,81609	0,46000	2,03000	1,96667	0,79680
0,63333	0,81143	0,48000	2,00000	2,46667	0,75643
0,68333	0,79881	0,50000	2,00000	2,25000	0,66779
0,75000	0,80563	0,52000	2,00000	2,03333	0,52839
0,66667	0,81016	0,49000	2,00000	2,28333	0,85928
0,56667	0,80628	0,48000	2,00000	2,15000	0,56575
0,46667	0,80469	0,44000	2,08000	2,01667	0,80894
0,58333	0,79704	0,43000	2,03000	2,33333	0,63529
0,56667	0,80199	0,42000	2,05000	2,21667	0,47797
0,63333	0,80277	0,39000	2,12000	1,96667	0,78568
0,60000	0,80604	0,55000	2,13000	2,25000	0,73926
0,60000	0,80657	0,52000	2,08000	2,03333	0,78544
0,60000	0,80892	0,55000	2,09000	1,86667	0,74094
0,56667	0,82038	0,52000	2,05000	2,16667	0,71865
0,56667	0,80500	0,53000	2,04000	2,00000	0,67116
0,56667	0,81041	0,47000	2,03000	2,08333	0,64842
0,53333	0,81268	0,48000	2,08000	2,23333	0,68772
0,50000	0,79178	0,44000	2,09000	2,11667	0,59871
0,70000	0,81262	0,42000	2,05000	2,28333	0,75161
0,56667	0,79965	0,43000	2,04000	2,05000	0,76590
0,63333	0,82906	0,38000	2,03000	1,96667	0,75277
0,53333	0,80651	0,34000	2,08000	1,75000	0,66040
0,50000	0,79814	0,38000	2,09000	2,40000	0,60816
0,46667	0,81245	0,41000	2,05000	2,43333	0,54247
0,56667	0,81005	0,45000	2,04000	1,98333	0,60840
0,63333	0,81440	0,46000	2,03000	2,48333	0,70798
0,68333	0,80329	0,45000	2,12000	2,28333	0,68874
0,75000	0,80052	0,48000	2,18000	2,29271	0,62990

kalite kontrol 60 Mw	bus ribbon 60 MW	backsheet 60 MW	el test 60 MW	Paket 60 MW	Cam Yükleme 60 MW
0,60000	1,08333	0,51667	3,00000	2,20000	0,61996
0,50000	1,03333	0,61667	3,15000	2,05000	0,66766
0,75000	1,01667	0,68333	3,08333	1,96667	0,79680
0,51667	1,13333	0,65000	3,13333	2,46667	0,75643
0,56667	1,20000	0,53333	2,93333	2,25000	0,66779
0,55000	1,26667	0,58333	2,75000	2,03333	0,52839
0,50000	1,13333	0,63333	2,65000	2,28333	0,85928
0,46667	1,06667	0,70000	2,80000	2,15000	0,56575
0,56667	1,03333	0,73333	2,96667	2,01667	0,80894
0,63333	1,08333	0,65000	2,90000	2,33333	0,63529
0,68333	1,00000	0,61667	2,93333	2,21667	0,47797
0,75000	0,93333	0,51667	2,83333	1,96667	0,78568
0,66667	0,90000	0,73333	2,86667	2,25000	0,73926
0,56667	1,11667	0,66667	3,03333	2,03333	0,78544
0,46667	0,96667	0,63333	3,08333	1,86667	0,74094
0,58333	1,11667	0,75000	3,11667	2,16667	0,71865
0,56667	1,26667	0,80000	2,80000	2,00000	0,67116
0,63333	1,06667	0,86667	2,66667	2,08333	0,64842
0,60000	1,08333	0,55000	2,73333	2,23333	0,68772
0,60000	0,96667	0,56667	2,55000	2,11667	0,59871
0,60000	0,90000	0,63333	2,63333	2,28333	0,75161
0,56667	0,90000	0,63333	2,53333	2,05000	0,76590
0,56667	1,11667	0,61667	2,58333	1,96667	0,75277
0,56667	1,03333	0,68333	2,65000	1,75000	0,66040
0,53333	0,93333	0,73333	2,61667	2,40000	0,60816
0,50000	1,15000	0,80000	2,70000	2,43333	0,54247
0,70000	0,98333	0,88333	2,80000	1,98333	0,60840
0,56667	0,93333	0,65000	2,95000	2,48333	0,70798
0,63333	0,96667	0,70000	3,01667	2,28333	0,68874
0,53333	1,00000	0,85000	3,03333	2,29271	0,62990

EK – 2 İterasyon Tablosu

İterasyon	i60p	i40p	kk60p	kk40p	Forklift	Çıktı
246	4	10	1	1	1	69
326	4	6	1	3	3	69
413	5	3	1	1	2	69
467	4	9	2	3	2	69
93	5	6	3	1	3	68
112	4	8	1	1	3	68
137	6	9	3	1	1	68
147	6	4	2	2	2	68
171	5	9	2	1	1	68
179	5	6	2	1	1	68
225	4	9	1	2	1	68
233	6	8	3	3	2	68
263	5	8	3	2	2	68
343	4	9	1	2	3	68
356	5	8	2	2	3	68
409	5	2	1	1	2	68
443	4	7	1	3	1	68
489	5	9	2	3	2	68
26	5	3	2	2	2	67
29	6	3	3	2	2	67
50	6	5	3	2	2	67
54	5	7	2	3	3	67
63	5	6	2	3	3	67
78	6	6	2	2	3	67
81	5	6	3	1	2	67
95	7	5	3	1	2	67
116	3	9	1	1	3	67
142	6	9	3	2	1	67
150	6	9	2	1	1	67
153	5	7	2	2	2	67
185	5	5	2	1	1	67
186	5	4	2	1	1	67
206	5	6	2	2	1	67
223	4	10	1	2	1	67
227	4	6	2	2	1	67
228	6	2	3	1	1	67
231	7	3	3	2	1	67

244	5	3	3	1	1	67
265	3	6	2	1	2	67
274	3	10	1	3	3	67
308	4	10	3	1	3	67
330	4	10	1	1	3	67
334	4	7	1	3	3	67
351	5	9	2	1	3	67
355	4	4	1	3	3	67
390	7	4	2	2	2	67
399	6	4	3	3	3	67
400	6	5	2	3	3	67
428	6	10	3	1	3	67
435	7	2	3	2	2	67
461	5	3	3	3	2	67
464	5	3	2	1	2	67
6	4	2	1	1	3	66
27	5	3	3	2	2	66
28	5	3	1	2	2	66
39	5	5	2	3	3	66
40	3	7	3	3	1	66
46	6	7	3	2	2	66
51	3	7	3	3	2	66
55	5	7	2	2	3	66
60	6	7	2	2	3	66
62	4	9	1	3	3	66
65	5	6	3	2	2	66
76	9	3	3	1	2	66
79	4	7	2	3	3	66
94	4	6	3	1	1	66
102	5	5	3	1	2	66
118	3	10	1	1	3	66
138	7	9	3	1	1	66
146	5	5	2	3	2	66
152	4	7	1	2	3	66
167	3	4	2	2	2	66
170	4	9	3	1	1	66
212	5	6	2	1	2	66
222	7	2	3	2	1	66
234	5	8	3	3	2	66
241	6	7	3	3	2	66
243	4	6	1	2	1	66

260	3	6	2	1	3	66
268	5	8	3	1	2	66
269	4	8	3	2	2	66
270	5	7	3	3	2	66
291	3	6	1	2	3	66
292	4	8	1	2	2	66
293	3	8	1	3	3	66
294	4	9	1	2	2	66
306	4	10	2	1	2	66
309	4	9	1	1	2	66
325	3	8	2	2	2	66
327	5	4	3	3	1	66
329	4	5	1	3	3	66
339	4	7	2	2	2	66
340	4	6	2	2	2	66
341	4	6	1	2	3	66
342	4	8	1	3	3	66
359	5	8	2	1	3	66
363	8	2	3	2	2	66
381	4	6	3	3	3	66
388	7	4	3	3	2	66
396	5	4	3	3	3	66
422	4	6	1	1	3	66
432	3	10	1	3	1	66
439	4	6	1	2	2	66
441	5	10	3	1	2	66
444	5	5	2	2	2	66
446	5	8	2	2	1	66
447	6	2	3	2	2	66
470	4	10	2	3	2	66
472	5	8	2	3	2	66
473	6	3	3	3	2	66
485	4	10	2	3	1	66
488	4	9	3	3	3	66
490	5	5	3	2	3	66
1	5	4	1	1	1	65
2	6	6	2	2	2	65
8	7	2	3	3	1	65
10	5	3	1	3	3	65
23	6	2	2	3	1	65
43	5	4	3	2	2	65

45	4	7	3	3	1	65
53	4	7	3	2	1	65
57	5	7	3	2	2	65
58	5	8	2	3	3	65
61	5	5	3	3	2	65
64	4	7	2	3	2	65
71	4	9	1	3	1	65
84	5	4	2	3	3	65
96	5	6	2	2	3	65
115	4	9	1	1	3	65
117	5	8	1	1	3	65
121	5	7	3	1	2	65
135	5	4	2	3	2	65
139	4	8	3	1	1	65
154	6	8	2	1	2	65
176	5	10	2	1	1	65
177	5	9	2	2	1	65
181	4	7	3	1	1	65
182	5	7	3	1	1	65
194	8	9	3	1	3	65
200	4	5	2	1	1	65
209	4	4	2	2	2	65
213	5	5	2	1	2	65
218	6	9	3	3	2	65
224	5	4	3	1	1	65
229	6	6	2	1	1	65
235	6	8	3	3	3	65
236	4	9	2	2	1	65
238	4	9	3	2	2	65
240	6	8	3	2	2	65
242	4	8	1	2	1	65
257	4	9	2	1	1	65
258	5	9	1	1	1	65
278	6	2	1	3	3	65
282	3	10	1	2	3	65
283	4	10	1	3	1	65
287	5	9	1	3	3	65
290	4	10	1	3	2	65
305	6	9	3	3	3	65
314	5	7	1	1	3	65
318	5	10	3	1	3	65

322	5	3	3	1	3	65
331	4	6	1	3	1	65
333	4	6	2	3	3	65
336	4	8	2	1	1	65
338	5	4	3	2	1	65
344	4	8	1	2	3	65
362	8	4	3	2	3	65
366	4	8	2	2	3	65
367	5	6	1	3	3	65
370	9	2	3	2	3	65
385	8	2	3	2	3	65
389	6	3	3	2	1	65
391	4	4	2	2	3	65
394	6	4	3	3	2	65
398	4	5	2	3	3	65
419	7	9	3	3	2	65
425	5	4	1	2	2	65
437	4	3	1	1	2	65
448	5	8	3	1	3	65
469	4	8	2	3	2	65
471	4	9	1	3	2	65
476	6	2	3	2	3	65
486	5	4	3	2	3	65
493	6	8	2	2	2	65
495	4	9	3	3	2	65
18	5	3	1	2	3	64
20	5	4	1	1	3	64
24	6	5	2	2	2	64
37	7	10	3	2	3	64
44	7	2	3	1	2	64
97	6	5	2	2	3	64
99	4	6	3	1	3	64
100	6	5	3	1	2	64
101	7	6	3	1	3	64
106	9	10	3	3	2	64
120	6	6	3	1	3	64
122	7	8	2	1	2	64
128	10	6	3	3	1	64
155	3	9	3	1	1	64
165	7	2	2	2	2	64
175	6	7	2	2	2	64

183	5	6	2	2	2	64
184	5	7	2	1	1	64
187	5	8	2	1	1	64
190	5	5	3	3	3	64
199	3	3	1	2	2	64
201	3	6	2	1	1	64
202	7	8	3	1	3	64
203	5	9	3	1	3	64
207	8	8	3	1	3	64
210	6	7	2	2	1	64
226	5	10	1	1	1	64
232	7	3	2	2	2	64
239	8	7	3	3	3	64
247	3	6	3	1	3	64
255	4	9	1	1	1	64
256	4	10	3	1	2	64
262	4	10	1	1	2	64
264	3	7	2	1	2	64
267	4	8	2	1	2	64
271	4	8	2	2	2	64
284	5	8	1	1	1	64
285	6	10	2	1	1	64
295	3	8	1	2	2	64
299	3	4	1	1	3	64
307	3	10	1	1	1	64
311	5	9	2	3	3	64
313	7	7	3	3	3	64
337	5	5	3	3	1	64
347	7	2	3	2	3	64
358	6	6	2	3	2	64
360	6	9	2	1	2	64
361	6	7	2	1	3	64
373	6	3	3	3	1	64
378	3	6	1	3	3	64
380	8	3	3	2	3	64
395	7	3	3	3	2	64
397	6	4	2	3	3	64
403	7	9	3	3	1	64
408	10	2	3	2	2	64
415	6	6	2	3	3	64
420	5	4	1	1	2	64

421	5	3	1	3	2	64
440	7	4	3	2	2	64
449	8	5	3	3	3	64
466	8	5	3	2	3	64
468	7	7	2	2	3	64
474	5	4	2	1	2	64
16	4	2	1	2	3	63
30	7	3	3	2	2	63
31	10	3	3	2	2	63
32	6	3	2	2	2	63
42	6	10	2	1	2	63
49	6	4	3	2	2	63
52	4	8	3	3	1	63
59	6	6	3	2	2	63
77	6	2	1	2	2	63
85	6	7	2	3	2	63
86	8	3	3	1	2	63
91	7	6	2	2	2	63
92	4	6	3	1	2	63
104	6	6	3	2	3	63
133	10	4	3	1	2	63
144	4	8	2	1	3	63
145	4	7	1	1	3	63
161	8	9	3	2	3	63
169	7	5	2	2	2	63
173	8	9	3	2	2	63
178	6	4	2	1	2	63
180	5	4	2	2	2	63
193	5	10	3	3	1	63
208	7	9	3	2	2	63
211	6	7	2	1	1	63
252	10	2	3	2	1	63
253	5	6	1	2	2	63
289	9	6	3	1	1	63
312	7	9	2	2	3	63
320	9	9	3	2	1	63
335	4	10	2	1	1	63
345	9	8	3	1	1	63
387	9	3	3	2	3	63
407	9	8	3	3	3	63
412	4	5	1	2	3	63

442	6	9	3	1	3	63
453	6	7	1	3	3	63
458	3	10	2	3	2	63
462	8	5	1	1	3	63
465	8	6	3	3	3	63
487	6	2	2	2	2	63
496	4	2	3	1	1	63
12	10	4	2	1	3	62
21	4	2	1	1	2	62
22	6	3	1	3	3	62
35	6	6	1	1	1	62
38	9	9	2	3	1	62
47	3	3	3	3	1	62
80	8	4	3	1	2	62
88	5	7	1	3	1	62
89	6	9	1	3	1	62
111	10	8	3	1	1	62
119	6	8	1	1	2	62
124	10	8	2	1	1	62
127	4	7	3	1	3	62
140	6	9	1	1	3	62
141	8	10	3	1	1	62
143	7	7	3	1	1	62
166	8	2	2	2	2	62
195	6	9	1	3	2	62
250	4	2	2	1	1	62
259	8	6	3	3	2	62
275	9	7	3	1	1	62
286	3	9	1	3	3	62
310	6	9	1	1	2	62
315	4	3	1	1	3	62
324	7	3	2	1	1	62
350	9	3	3	3	1	62
364	9	6	3	2	1	62
376	10	5	1	2	3	62
393	5	5	1	3	3	62
416	6	2	1	1	2	62
418	10	4	3	2	2	62
426	5	5	1	2	2	62
430	6	2	1	3	1	62
454	9	4	3	1	2	62

460	8	5	2	3	3	62
479	8	10	2	1	3	62
73	10	8	3	2	1	61
82	9	3	2	3	3	61
87	9	5	3	1	2	61
90	7	3	1	2	2	61
123	9	10	3	2	2	61
158	8	10	1	2	1	61
162	7	4	1	3	1	61
172	8	9	2	2	3	61
192	10	6	1	1	3	61
214	8	9	1	3	3	61
221	7	6	1	1	3	61
230	5	9	1	2	2	61
245	10	4	1	1	3	61
248	8	9	3	1	1	61
261	6	4	1	2	2	61
280	8	4	2	2	2	61
288	6	4	1	3	3	61
298	8	9	2	3	1	61
301	10	2	2	3	3	61
303	9	10	1	1	3	61
323	2	10	1	3	1	61
368	10	5	3	1	1	61
369	2	9	3	1	3	61
371	6	4	1	1	2	61
377	10	3	2	3	2	61
384	5	6	1	2	3	61
386	9	2	2	2	3	61
392	7	6	1	3	2	61
410	7	8	1	1	3	61
431	10	9	1	2	2	61
436	8	6	2	3	3	61
452	3	8	3	1	3	61
491	8	9	2	1	3	61
492	8	7	2	2	2	61
498	9	10	2	1	1	61
4	10	10	3	3	3	60
11	9	10	1	3	2	60
33	2	9	1	3	1	60
108	10	10	1	1	1	60

126	8	8	2	1	2	60
132	9	10	2	3	3	60
148	10	10	3	1	1	60
156	2	10	3	3	2	60
174	7	5	1	3	1	60
219	2	4	1	2	2	60
237	6	8	1	3	1	60
277	9	7	3	3	1	60
321	10	9	1	2	3	60
348	9	3	1	1	2	60
349	2	9	3	3	2	60
354	2	8	2	1	1	60
365	10	10	3	1	3	60
374	8	10	2	3	2	60
401	6	6	1	3	3	60
424	7	3	1	1	2	60
451	8	8	1	3	1	60
457	9	3	2	2	1	60
459	6	3	1	1	2	60
480	8	7	1	2	1	60
34	8	9	1	2	3	59
69	9	9	1	1	2	59
107	8	2	1	2	3	59
125	10	10	1	1	3	59
204	8	6	2	1	1	59
249	2	9	1	1	3	59
276	9	8	1	1	3	59
316	9	10	1	2	3	59
352	10	8	2	3	2	59
382	9	2	1	2	3	59
414	6	5	1	3	3	59
417	7	4	1	1	2	59
482	2	10	3	2	3	59
9	2	5	3	1	3	58
74	2	5	1	1	3	58
114	10	9	2	2	3	58
130	9	2	1	1	1	58
157	2	10	1	2	3	58
281	2	8	3	2	2	58
317	10	10	1	3	3	58
455	10	10	2	2	2	58

216	8	2	1	3	1	57
297	2	10	1	3	3	57
302	2	8	3	2	1	57
254	3	2	3	2	2	54
272	2	3	2	1	3	54
499	2	3	1	1	2	54
17	3	2	1	1	3	52
41	2	3	2	2	1	52
164	3	2	3	3	2	52
196	2	3	3	1	3	52
296	2	3	3	3	3	52
353	2	3	3	1	2	52
205	2	3	1	1	1	51
445	6	1	1	1	3	43
13	9	1	1	2	2	42
56	10	1	1	3	1	42
266	10	1	1	1	3	42
328	9	1	1	2	3	42
98	10	1	3	3	1	41
168	8	1	1	3	3	41
332	4	1	1	3	3	41
191	9	1	1	3	1	40
159	5	1	3	1	3	39
197	6	1	3	2	1	37
70	9	1	2	3	1	36
25	10	1	3	1	3	34
66	5	1	2	3	3	34
188	5	1	2	1	1	34
113	9	1	3	2	2	33
48	8	1	3	2	3	32
110	4	1	3	3	1	32
198	8	1	2	2	3	32
423	6	1	1	1	1	32
215	7	1	3	2	3	31
475	10	1	1	1	2	31
497	10	1	3	3	2	31
149	6	1	2	2	3	30
151	6	1	1	3	3	30
300	8	1	1	2	1	30
481	9	1	2	3	2	30
134	7	1	1	2	3	27

7	4	1	1	1	3	26
109	2	2	3	3	3	20
220	1	10	3	2	1	19
68	2	2	3	1	1	18
75	2	2	3	3	1	18
103	1	8	3	1	3	18
129	3	1	3	2	3	18
136	2	2	1	2	1	18
383	1	8	1	3	3	18
477	1	10	1	1	2	18
14	2	2	2	3	2	17
19	3	1	1	1	3	17
72	1	7	3	1	3	17
83	1	9	1	3	3	17
304	1	4	2	2	2	17
405	1	9	1	1	2	17
411	1	9	3	1	2	17
429	1	5	3	1	1	17
434	1	8	3	3	2	17
483	1	5	2	2	1	17
484	2	2	3	3	2	17
5	1	9	3	3	1	16
15	1	8	2	1	2	16
67	1	10	3	1	3	16
105	3	1	2	1	1	16
160	1	3	1	3	3	16
189	1	10	1	1	1	16
217	1	9	2	1	3	16
375	1	3	2	2	3	16
379	1	7	1	3	3	16
406	1	5	1	3	1	16
131	1	9	2	2	1	15
273	1	6	2	3	1	15
438	1	5	1	1	2	15
494	1	9	2	3	2	15
36	1	6	2	1	3	14
251	1	4	2	3	3	14
433	1	9	1	1	1	14
319	1	3	3	3	3	13
372	3	1	1	3	1	10
456	3	1	2	3	2	10

478	3	1	1	3	3	10
279	2	1	2	1	1	6
404	1	2	3	3	2	6
427	2	1	3	3	3	6
450	1	2	3	2	1	6
463	2	1	1	1	1	6
500	1	2	1	3	1	6
357	2	1	1	3	3	5
346	1	2	2	2	1	4
3	1	1	1	1	1	2
163	1	1	2	2	1	2
402	1	1	2	1	1	2



EK 3 Finansal Analiz Detay Tablo

	ÇALIŞAN SAYISI	ÇIKTI SAYISI	PANEL SAYISI	WATT	FİYAT	PANEL BİRİM FİYATI	Satış Fiyatı	TOPLAM ADET	BEKLENTİ	GÜNLÜK CİRO FARKI	MALİYET	AYLIK TOPLAM CİRO FARKI	YATIRIM SONRASI CİRO FARKI
Fabrika Gerçek Üretim	57	12	25	270	\$0,28	\$75,60	\$22.680,00	300	500			----	----
Mevcut Durumun Simülasyonu	57	13	25	270	\$0,28	\$75,60	\$39.690,00	325	500	\$867,00		\$17.340,00	----
Öneri 1	57	34	25	270	\$0,28	\$75,60	\$64.260,00	850	800	\$3.780,00		\$75.600,00	----
Öneri 2	57	51	25	270	\$0,28	\$75,60	\$96.390,00	1275	1220	\$4.158,00	\$58.000,00	\$83.160,00	\$25.160,00
Öneri 3	57	65	25	270	\$0,28	\$75,60	\$122.850,00	1625	1520	\$7.938,00	\$45.000,00	\$158.760,00	\$113.760,00
Öneri 3 - Optimizasyon	63	69	25	270	\$0,28	\$75,60	\$130.410,00	1725	1650	\$5.670,00	\$58.000,00	\$113.400,00	\$55.400,00

ÖZGEÇMİŞ

19 Temmuz 1985 tarihi, Gaziantep İli Şehitkamil ilçesi doğumluyum. İlk, Orta ve Liseyi yine aynı ilçede tamamladıktan sonra, Beykent Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü'ne kaydoldum. Aynı fakültede Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık Bölümünde Çift Anadal yaptım. Bu bölümlerden 20008 yılında mezun olduktan sonra, 2015 yılında Beykent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başladım. 2012 yılından itibaren özel bir Enerji firmasında Ülke Müdürlüğü görevini sürdürmekteyim.

Özel ilgi alanlarım, üretim planlama, satış ve pazarlama yönetimi , karar verme süreçlerinde istatistiksel analizlerdir.

Yabancı dilim İngilizce olup, SAP ve ileri seviye Excel bilgisine sahibim.

Muhammed Cevdet EREN