



T.C

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**PROJE KARLILIĞININ VE TAKVİM AŞIMLARININ  
SİSTEM DİNAMİKLERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ:  
TRİJENERASYON PROJESİ ÖRNEĞİ**  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezi Hazırlayan: **Ali Fırat ELÇİ**

Tez Danışmanı: **Yrd. Doç Dr. Volkan ÇAKIR**

Temmuz 2018



T.C

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**PROJE KARLILIĞININ VE TAKVİM AŞIMLARININ  
SİSTEM DİNAMİKLERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ:  
TRİJENERASYON PROJESİ ÖRNEĞİ**  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezi Hazırlayan: **Ali Fırat Elçi**

Temmuz 2018

## KABUL VE ONAY

Ali Fırat Elçi tarafından hazırlanan “Proje Karlılığının ve Takvim Aşımalarının Sistem Dinamikleri Yöntemi İle Analizi: Trijenerasyon Projesi Örneği” başlıklı bu çalışma 08.08.2018 tarihide yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

Üye:

Üye:

Üye:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Proje Karlılığının ve Takvim Aşımalarının Sistem Dinamikleri Yöntemi İle Analizi: Trijenerasyon Projesi Örneği” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Ali Fırat ELÇİ

## ONAY

Tezimin kağıt ve elektronik kopyalarının İstanbul AREL Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

- Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim sadece Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin ..... yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerde erişime açılabilir.

Ali Fırat ELÇİ

## ÖZET

Birleşik ısı ve güç sistemleri olarak da bilinen kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri, elektrik ısıtma ve soğutma güçlerinin tek bir yakıtla sağlanabildiği sistemlerdir. Sistemde doğalgaz, biyogaz, çöp gazı gibi çeşitli yakıtlar kullanılabilir de doğalgaz ulaşılabilirliği ve sürekliliği sebebiyle en yaygın olarak kullanılan yakıttır. Biyogaz ve çöp gazı yakıtları ise daha çok ısı kazanımı olmayan sadece ulusal şebekeye elektrik satışının olduğu projelerde tercih edilmektedir.

Trijenerasyon sistemleri elektromekanik olarak kompleks yapılar olup disiplinler arası mühendislik çalışması ve saha koordinasyonu gerektirmektedir. Bunların yanında tesislerin kurulum maliyetlerinin de yüksek olması bu tip projelerde efektif proje yönetiminin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Her projenin başarılı olma kriterleri genel olarak bütçe ve takvim hedeflerinin gerçekleşmesi olarak söylenebilir. Endüstrideki rekabetin sürekli arttığı günümüzde, anahtar teslim olarak taahhüt edilen kompleks yapı projelerinin planlanan bütçe ve takvimlerinde aşım olma ihtimali çok yüksek olduğu önceki yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir.

Geleneksel proje yönetim yaklaşımlarında projenin her bileşenin davranışları kendi içinde anlaşıldığında tüm projenin kontrol edilebildiği varsayımı vardır. Fakat proje bileşenleri arasındaki ilişkiler geleneksel yaklaşımlarda belirtilenlere göre daha karmaşıktır.

Bu projede sistem dinamikleri yaklaşımı ile örnek bir anahtar teslim trijenerasyon sistemi projelerinde karlılık ve takvim aşımına etki eden faktörler belirlenerek bu faktörlerin birbirleri ile arasındaki ilişkiler tanımlanacak ve bir proje modeli oluşturulacaktır. Daha sonra bu simülasyon koşullarında karlılık ve takvim aşımına etki eden faktörlerin etkisi analiz edilecektir. Böylece planlanan bütçe ve takvimler ile gerçekleşenler arasındaki farkta iyileştirme olması öngörülmekte ve bu modelin proje yöneticileri için bir karar destek sistemi olması amaçlanmaktadır.

## ABSTRACT

Combined heat and power systems also known as trigeneration and cogeneration system are capable of providing electricity, heating and cooling powers using one fuel simultaneously. Even natural gas, biogas and land fill gas can be used as fuel for these systems, natural gas is the most popular and common fuel in the market due to accessibility and sustainability of natural gas. Biogas and land fill gases are often used for the projects without having heat recovery that means selling energy to grid only.

Trigeneration systems are so complex and require interdisciplinary engineering study and site coordination to establish. Addition to these, effective project management is must because of requiring high investment cost which brings high risk inherently.

Generally it can be said that, every project would become successful if budget and schedule targets are achieved. In our days, competition on industry is increasing and it is specified in previous studies that budget and schedule overruns based on planned will be most probably realized for complex construction project with turn-key agreement.

It is assumed that in traditional project management approaches, whole project can be controlled when each element can be understood itself. But relationship between project components are more complicated than specified in traditional project management approaches,.

In this research, the factors that effect budget and schedule overruns of a trigeneration system projects and relationship between these factors will be specified using system dynamics approach. Then a simulation model referring this project will be created. With running the simulation the factors mentioned above will be analyzed. Thus reduction of gap between planned budget and schedule targets and budget and schedule values at completion is foreseen and it is aimed that this model will be used by project managers as a decision support system.

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın seçilmesinde ve hazırlanmasında manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, karşılaştığım her sorunda her zaman yardımcı olmaya çalışan, kendi bilgi ve tecrübelerini paylaşmaktan çekinmeyen, bana yol gösterip sabırla beni dinleyen değerli tez danışmanın Yard. Doç. Dr. Volkan Çakır'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tez yazımım sırasında gerekli verileri bana temin eden, tezimin her aşamasında beni destekleyen Borusan Güç Sistemleri ailesine de teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla,



# İçindekiler

KABUL VE ONAY.....	iii
YEMİN METNİ .....	iv
ONAY.....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ .....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Konusu.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	1
1.3. Çalışmada Kullanılacak Yöntemler .....	2
1.4. Araştırma Soruları .....	2
1.5. Çalışma Planı.....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Birleşik Isı ve Güç Sistemleri .....	4
2.2. Trijenerasyon Sistemleri.....	5
2.3. Sistem Teorisi ve Sistem Dinamikleri Yaklaşımı.....	6
2.4. Sistem Teorisi ve Sistem Dinamikleri Yaklaşımı ile Proje Yönetimi .....	7
3. ÇALIŞMA METODOLOJİSİ .....	11
3.1. Kavramsallaştırma .....	11
3.1.1. Modelin Amacının Belirlenmesi.....	12
3.1.2. Model Sınırlarının Belirlenmesi .....	12
3.1.3. Anahtar Değişkenlerin Davranışlarının Tanımlanması .....	13
3.1.4. Ana İşleyişin Diyagramlar Olarak Oluşturulması, Geri Besleme Döngülerinin Belirlenmesi.....	15
3.2. Politika Oluşturma .....	16
3.2.1. Döngülerin ve diyagramların stok-akış eşitliklerine dönüştürülmesi ..	16
3.2.2. Parametre ve değişken değerlerinin tahmin edilmesi ve seçilmesi.....	17
3.3. Modelin Test Edilmesi.....	17
3.3.1. Modelin simülasyonu ve hipotezin test edilmesi .....	17
3.3.2. Model varsayımlarının test edilmesi.....	17
3.3.3. Model davranışının test edilmesi ve duyarlılık testleri .....	18
3.4. Politika Tasarımı ve Değerlendirme .....	18
4. TRİJENERASYON SİSTEMİ ÖRNEĞİ.....	20
4.1. Trijenerasyon Modelinin Kavramsallaştırılması.....	20
4.1.1. Trijenerasyon Modelinin Amacı.....	20

4.1.2.	Trijenerasyon Modelinin Sınırlarının Belirlenmesi .....	21
4.1.3.	Trijenerasyon Modelinin Anahtar Değişkenlerinin Davranışlarının Belirlenmesi .....	23
4.1.4.	Trijenerasyon Modelinin Ana İşleyiş Diyagramının Belirlenmesi .....	25
4.2.	Trijenerasyon Modelinin Politikasının Oluşturulması .....	26
4.2.1.	Yeniden Yapılan İşler Döngüsü .....	27
4.2.2.	Karlılık Döngüsü .....	28
4.2.3.	Hata Payı Değişkeninin Oluşturulması .....	30
4.2.4.	Tam Modelin Oluşturulması .....	31
4.3.	Trijenerasyon Sistemi Modelinin Parametre ve Değişken Değerlerinin Tahmin Edilmesi ve Seçilmesi .....	32
4.4.	Trijenerasyon Sistemi Modelinin Test Edilmesi .....	33
4.5.	Trijenerasyon Sistemi Modelinin Politika Tasarımı .....	35
4.5.1.	Baz Senaryo Tasarımı .....	35
4.5.2.	Birinci Alternatif Senaryonun Tasarımı .....	38
4.5.3.	İkinci Alternatif Senaryonun Tasarımı .....	41
4.5.4.	Üçüncü Alternatif Senaryonun Tasarımı .....	45
4.6.	Trijenerasyon Sistem Modelinin Politikalarının Değerlendirilmesi .....	48
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	52
	KAYNAKLAR .....	54
	EK-1 SİMULASYON MODELİNDEKİ DEĞİŞKEN VE PARAMETRELERİN FONKSİYON VE DEĞERLERİ .....	56
	EK-2 ÖRNEK TRİJENERASYON PROJESİ SİSTEM DİNAMİKLERİ MODELİNİN TAM HALİ .....	64
	ÖZGEÇMİŞ .....	65

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Tez Çalışma Planı.....	3
Şekil 2.1 Trijenerasyon ve Kojenerasyon Sistem Tanımı.....	4
Şekil 2.2 Sistem Düşüncesi Tanımları Karşılaştırmaları (Arnold & Wade, 2015)'den uyarlanmıştır. ....	7
Şekil 2.3 Proje Kontrol Döngüsü.....	9
Şekil 3.1 Nedensel Döngü Diyagramları ve Stok-Akış Diyagramları Gösterimi .....	15
Şekil 4.1 Karlılık Değişimi Davranışı.....	24
Şekil 4.2 Takvim Aşımaları Davranışı .....	24
Şekil 4.3 Yeniden Yapılan İşler ile Ana İşleyiş Stok-Akış Diyagramı.....	25
Şekil 4.4 Yeniden Yapılan İşler Döngüsü .....	27
Şekil 4.5 Karlılık Döngüsü .....	29
Şekil 4.6 Hata Payı Değişkeninin Modeli.....	30
Şekil 4.7 Sistem Dinamikleri Modelin Tam Hali .....	31
Şekil 4.8 Üretkenlik Değişkeninin Uç Şartlar Altındaki Davranışı .....	34
Şekil 4.9 Tecrübeli İş Gücü Oranının Etkisi Değişkeninin Uç Şartlar Altındaki Davranışı.....	34
Şekil 4.10 Baz Senaryoda Proje Tamamlanma Eğrisi .....	36
Şekil 4.11 Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Süresi.....	37
Şekil 4.12 Baz Senaryoda Karlılık Değişimi .....	38
Şekil 4.13 Birinci Alternatif Senaryo Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Süresi..	40
Şekil 4.14 Birinci Alternatif Senaryo Tamamlanan İşler Grafiği .....	40
Şekil 4.15 Birinci Alternatif Senaryo Karlılık Değişimi .....	41
Şekil 4.16 İkinci Alternatif Senaryo Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Grafiği ..	43
Şekil 4.17 İkinci Alternatif Senaryo Tamamlanan İşler Grafiği.....	43
Şekil 4.18 İkinci Alternatif Senaryo Karlılık Değişimi .....	44
Şekil 4.19 Üçüncü Alternatif Senaryo Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Grafiği	46
Şekil 4.20 Üçüncü Alternatif Senaryo Tamamlanan İşler Grafiği.....	46
Şekil 4.21 Üçüncü Alternatif Senaryo Karlılık Değişimi .....	47
Şekil 4.22 Planlı Yapılacak İşler Grafiğinin Senaryolar Arası Kıyaslaması .....	48
Şekil 4.23 Tamamlanan İşler Grafiğinin Senaryolar Arası Kıyaslaması.....	49
Şekil 4.24 Alternatif Senaryoların Tespit Edilememiş İşler Grafiği.....	50
Şekil 4.25 Karlılık Değişiminin Senaryolar Arası Karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.26 Alternatif Senaryolar Karlılık Değişimleri .....	51

## TABLO LİSTESİ

Tablo 4-1 Oturum Katılım Listesi .....	21
Tablo 4-2 İçsel ve Dışsal Değişkenler .....	23
Tablo 4-3 Model Döngülerinin Referansları .....	26
Tablo 4-4 Senaryo Değişkenleri Özeti.....	35
Tablo 4-5 Baz Senaryo Değişkenleri.....	36
Tablo 4-6 Birinci Alternatif Senaryo Değişkenleri.....	39
Tablo 4-7 İkinci Alternatif Senaryo Değişkenleri .....	42
Tablo 4-8 Üçüncü Alternatif Senaryo Değişkenleri .....	45

## 1. GİRİŞ

Sanayi ve endüstrinin hızlı geliştiği günümüzde teknolojik gelişmelerin takip edilmesi giderek zorlaşmaktadır. Rekabetin de artmasıyla firmalar sürekli yeni projeler üretmek zorunda kalmıştır. Bu projelerin başarılı olma baskısı ve kısıtlar proje yönetiminin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Çeşitli sektörlerdeki inşaat projelerindeki çalışmalarda projelerin büyük çoğunluğunda planlanan bütçe ve takvimin aşıldığı gözlemlenmiştir. Teknik olarak kompleks olan ve finansal olarak yüksek bütçeli projelerde bu aşımalar firmalar üzerinde çok ciddi etkilere yol açmaktadır. (Reichelt & Lyneis, 1999)

### 1.1. Tezin Konusu

Kojenerasyon, trijenerasyon sistemler son yıllarda oldukça popüler olup, doğalgaz, çöp gazı, biyogaz gibi yakıtlar kullanarak tesislerin elektrik, ısıtma ve soğutma güçlerini karşılamaktadır. Genel olarak birleşik ısı ve güç sistemleri adı ile anılırlar. Bu tip tesisler elektromekanik olarak kompleks tesisler olup maliyetleri de yüksektir. Yüksek maliyetlerine rağmen elektrik, ısıtma ve soğutma gereksinimlerini aynı anda sağladığından geri dönüş süreleri göz önüne alındığında yatırım yapılabilir seviyededir. Teknik olarak kompleks yapılar olması ve maliyetlerin de yüksek olması projenin teklif sürecinden devreye alma sürecine kadar iyi yönetilmesini gerektirir.

Kendi çalıştığım özel firmada da bu tip sorunlarla sık sık karşılaşmaktayız. Proje başında tahmin edilen karlılık ve zaman hedeflerinde sapmalar yaşanmakta ve hem şirket üzerinde sıkıntı hem de proje çalışanları üzerinde diğer projeler için baskı yaratmaktadır.

### 1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmada proje süresince karlılık ve işin tamamlanma süresini etkileyen faktörler belirlenip bir proje yönetim modeli oluşturulacaktır. Daha sonra belirlenen faktörlere göre karlılık ve işin tamamlanma sürelerinin nasıl değiştiği analiz edilecektir. Örnek olarak bir trijenerasyon sisteminin anahtar teslim olarak müşteriye teslim edildiği bir proje ele alınacaktır. Modelde kullanılacak veriler

projeyi gerçekleştirecek firmanın daha önceki benzer projelerinde kaydedilen kurumsal kaynak planlama sisteminden elde edilecektir.

Bu çalışmayla amaçlanan, proje sırasında planlandığı gibi gitmeyen işlerin veya proje başında belirlenen mali ve/veya idari değişkenlerin projenin geneline olan etkilerinin anlaşılabilmesidir. Bu etkilerin anlaşılmasıyla firmaların bu etkilere yönelik tedbirler alması beklenmekte ve bundan sonraki projelerin daha başarılı bitirilmesi hedeflenmektedir.

### 1.3. Çalışmada Kullanılacak Yöntemler

Önceki bölümlerde belirtilen tez konusu ve amacına ulaşmada sistem dinamikleri yaklaşımı kullanılacaktır. Örnek bir trijenerasyon projesi bir bütün olarak ele alınıp proje süresi ve bütçeyi etkileyecek faktörlerin belirtildiği ve bu faktörlerin birbirleri ile ilişkilerinin belirtildiği bir simülasyon modeli oluşturulacaktır. Bu model VENSİM programı yardımıyla kurulacaktır. Belirlenecek senaryo ve değişkenlere göre bu simülasyon koşturulacak ve çıkan sonuçlar analiz edilecektir.

Proje ile ilgili başlangıç parametreleri benzer boyutlarda trijenerasyon projesi gerçekleştiren bir firmanın SAP verilerinden yararlanılarak VENSİM modeline işlenecektir.

VENSİM programı İngiltere kaynaklı Ventana firması tarafından geliştirilen, dünya üzerinde binlerce analistin, araştırmacının, danışmanların bilimsel, çevresel, sosyal ve ticari model oluşturduğu modelleme yazılımıdır.

### 1.4. Araştırma Soruları

Geleneksel proje yönetim yaklaşımlarında projenin her elementi kendi içinde anlaşıldığında tüm projenin kontrol edilebildiği varsayımı vardır. Fakat proje komponentleri arasındaki ilişki geleneksel proje yönetimlerinde belirtilen kırılımlara göre çok daha komplekstir. Sistem dinamikleri yaklaşımı projenin tümüne konsantre olacak bir alternatif çözüm olarak sunulabilir. (Rodrigues & Bowers, 1996)

Bu çalışmada kullanılacak olan sistem dinamikleri yaklaşımı ile bütçe ve takvim aşımalarının daha proje başında analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Buna göre  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini tanımlarsak;

$H_0$  : Sistem dinamikleri yaklaşımı ile proje sonundaki aşımalar tahmin edilemez.

Buna göre oluşacak  $H_1$  denklemi de;

$H_1$  : Sistem dinamikleri yaklaşımı ile proje sonundaki takvim ve bütçe aşımaları geliştirilen modele göre öngörülebilir.

### 1.5. Çalışma Planı

Tez çalışmasının süresi yaklaşık 8 ay olarak belirlenmiştir. Bu süre zarfında yapılacak temel adımlar şu şekildedir;

- Tez Konusunun Belirlenmesi
- Literatür Araştırması
- Araştırma Yönteminin Belirlenmesi
- Giriş Bölümünün Yazılması
- Simülasyon Modelinin Kurulması
- Verilerin ve Birimlerinin Belirlenmesi ve Toplanması
- Toplanan Verilerin Modele Girilmesi
- Modelin Doğruluk ve Geçerlilik Testlerinin Yapılması
- Modelin Koşuturulması ve Analizi
- Uygulama Bölümünün Yazılması
- Sonuç Bölümünün Yazılması
- Tezin Uluslararası Konferansta Sunumu

Belirtilen iş kalemlerinin bulunduğu iş programı aşağıdaki gibi olacaktır.

İş Kalemleri	Kasım				Aralık				Ocak				Şubat				Mart				Nisan				Mayıs				Haziran				Temmuz			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Tez Konusunun Belirlenmesi	■	■	■	■																																
Literatür Araştırması					■	■	■	■																												
Araştırma Yönteminin Belirlenmesi						■	■	■	■																											
Giriş Bölümünün Yazılması							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Simülasyon Modelinin Kurulması								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Verilerin ve Birimlerinin Belirlenmesi									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Verilerin Toplanması										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Toplanan Verilerin Modele Girilmesi											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Modelin Doğruluk Testinin Yapılması												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Modelin Geçerlilik Testinin Yapılması													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Modelin Koşuturulması ve Analizi														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Uygulama Bölümünün Yazılması															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Sonuç Bölümünün Yazılması																																				
Tezin Uluslararası Konferansta Sunumu																																				

Şekil 1.1 Tez Çalışma Planı

Yapılan iş programına göre 2018 yılının temmuz ayı sonunda tezin yazımının bitmesi planlanmaktadır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

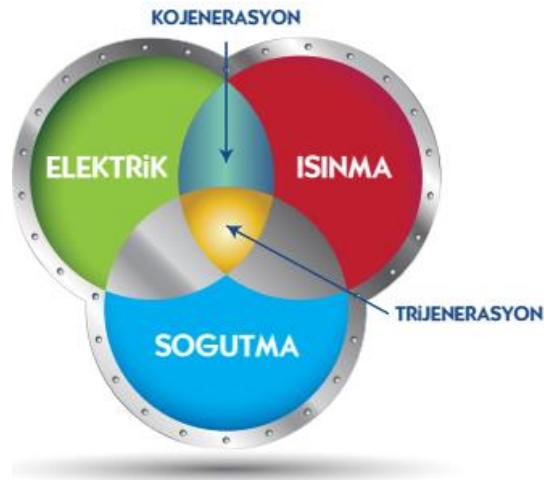
### 2.1. Birleşik Isı ve Güç Sistemleri

Yakıt rezervlerinin sürekli olarak azaldığı ve enerji ihtiyacının sürekli olarak arttığı günümüzde enerji üretiminde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak kaçınılmaz olmuştur.

Türkiye’de gelişmekte olan sanayi sektörünün enerji gereksinimi ekonomik büyüme hızının üzerinde artmaktadır. Sanayi ve diğer hizmet sektörlerinde ihtiyaç duyulan enerjinin temelini elektrik ve ısı enerjisi oluşturmaktadır. Türkiye’nin 2014 yılı itibariyle toplam kurulu gücü 68.719 MW değerine ulaşmıştır. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı % 33.35’i doğalgaz, % 27.58’i baraj, % 14.66’sı linyit ve taş kömürü, % 9.80’i akarsu, % 6.73’ü ithal kömür, % 4.63’ü rüzgâr, % 2.30’u petrol kökenli yakıtlar, % 0.53’ü jeotermal, % 0.42’si ise biyogazdan karşılanmaktadır (Gül & Beltir, 2014).

Endüstriyel ve sosyal tesisler enerji kaynaklarının sürekli azaldığı bu ortamda kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamada kaynağa karar verirken verimlilik en önemli etken haline gelmiştir.

Tek bir yakıt ile elektrik, ısıtma ve soğutma güçlerinin karşılanabildiği sistemlere birleşik ısı ve güç sistemleri, ısıtma ve soğutma enerjisi üretimine göre de kojenerasyon veya trijenerasyon sistemler olarak tanımlanmaktadır. Trijenerasyon için kısaca kojenerasyonun geliştirilmiş versiyonu da diyebiliriz.



Şekil 2.1 Trijenerasyon ve Kojenerasyon Sistem Tanımı



Bu sistemlerde bulunabilirliği yüksek olduğundan doğalgaz ağırlıklı olarak yakıt olarak kullanılsa da son yıllarda biyogaz ve çöp gazı da yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Geleneksel yöntemlerle kurulan sadece elektrik üretmeye odaklı enerji tesislerinde verimler %30-40 seviyelerinde iken atık ısının tekrar kazanıldığı kojenerasyon, trijenerasyon tesislerinde toplam verim %90 civarlarında olmaktadır.

## 2.2. Trijenerasyon Sistemleri

Trijenerasyon elektrik, ısıtma ve soğutma olarak 3 farklı enerjinin eř zamanlı üretildiği sistemlerdir. Elektrik ile beraber ısıtma ve soğutma yükleri olan hastane, otel gibi tesisler bu sistemlerle gerekli güçlerini daha ucuza mal edebilmektedir.

Trijenerasyon sistemleri, kojenerasyon gibi motor gömlek ısısı ve egzoz çıkışını ısıtma olarak kullanabildiği gibi aynı zamanda absorpsiyonlu chiller sayesinde bu ısıtmayı soğutmaya da çevirmektedir.

Sistemin yapılacağı tesis için gerekli olan ısıtma eşanjör ve kazanlar yardımıyla sağlanmaktadır. Gerekli mühendislik hesapları yapılarak seçilen eşanjörler ve kazanlarla istenen sıcak su rejimleri tesise verilebilmektedir.

Ülkemizde trijenerasyon sistemleri ve gaz motorları tasarruf dışında elektrik şebekesinin olmadığı fakat elektriğe ihtiyaç duyulan acil durumlarda veya üretilen enerjiyi şebekeye satarak kazanç sağlamak için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler elektriksel olarak şebekeyle paralel veya şebekeden ayrı olarak çalışabilmektedir. Bu kabiliyet şebeke gittiğinde sistemin ayakta kalabilmesini ve tesisin operasyonunu sürdürmesini sağlamaktadır. Özellikle hastaneler gibi elektriğin kritik öneme sahip olduğu tesislerde trijenerasyon sistemlerinin kullanılması günümüzde kaçınılmaz hale gelmeye başlamıştır.

Daha önceki bölümde çöp gazının da trijenerasyon sistemlerinde yakıt olarak kullanılabilirliği belirtilmişti. Türkiye’de enerji satışı regülasyonlarının düzenlenmesi ile artık birçok özel firma kendi elektriğini üretip şebekeye satar hale geldi. Böyle bir satışın karlılığının artması için en önemli kriter kullanılan

yakıtın gideridir. Çöp gazının da gaz motorlarında yakıt olarak kullanılabilmesiyle bu gazdan üretilen enerjinin şebekeye satış olanağı firmalara ciddi karlar sağlamaktadır.

Yukarıda bahsedilen tüm bu özellikler trijenerasyon sistemlerinin elektriksel ve mekanik olarak kompleks yapılar olduğunu ve sistemin gücüne göre de mali olarak yüksek bütçelere çıkılabileceğini kanıtlamaktadır. Dolayısıyla bu tip projelerin düzgün bir şekilde yönetilebilmesi sistemi kuran firmalar açısından oldukça önemlidir.

### 2.3. Sistem Teorisi ve Sistem Dinamikleri Yaklaşımı

Sistem sınırları belirlenmiş birbiriyle ilişkili elemanların kümesidir. Sistem elemanlarının birbiriyle ve çevresiyle etkileşimleri sistemin özgü davranışına yol açar. Aristo'nun bin yıllar önce, "bütün, bütünü oluşturan parçaların ayrı ayrı etkisinden çok daha büyük bir etkiye sahiptir." dediği gibi Meadows'a göre bir sistemin temel prensibi, kendi parçalarının toplamından daha fazla bir şey olmasıdır (Meadows, 2009)

Sistemler daha da basite indirgersek içerisinde yer alan elemanlar/öğeler, onların ilişkileri, bu ilişkilerin amaca yönelik kurallarından oluşturdukları bütün olarak tanımlanabilir.

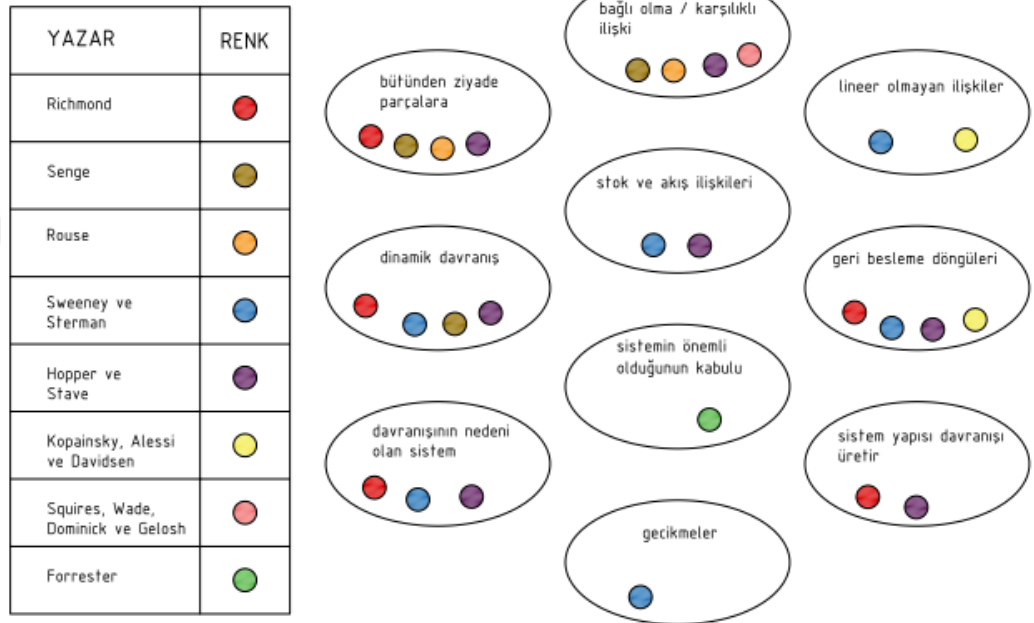
Sistem yaklaşımı ilk olarak biyolog Ludwig von Bertalanffy tarafından "Genel Sistem Teorisi" (Allgemeine System Theorie) adı altında ortaya çıkarılmıştır. Bertalanffy, o güne kadar fizik alanında çalışılan tüm sistemlerin kapalı olduğuna, dış dünya ile etkileşim içinde olmadıklarına dikkat çekti. Oysa bir biyolog olarak çoğu fenomen için böyle bir yaklaşımın imkansız olduğunu biliyordu. Yaşayan bir organizmanın çevresinden ayrıldığında, kısa bir süre içinde oksijen, besin ve su yetersizliğinden öleceğini hatırlatarak organizmaların açık sistemler olduğunu ve açık sistemlerin sürekli olarak çevreleriyle madde ve enerji değişimi yapmadan yaşayamayacaklarını dile getirdi. Böylece ilk kez dış çevre faktöründen bahsedilmiş oldu.

Açık sistemler dışında yer alan sistemlerle etkileşim içindedir. Bu etkileşim sistemdeki girdi ve çıktılarla olmaktadır. Sisteme dışarıdan giren her şey girdi olarak tanımlanabilir. Sistemden çevreye geçiş yapan her şey ise çıktıdır. Sistem ve çevre arasında bir sınır vardır. Örnek olarak bir hücredeki hücre zarını çevre

ile sınır olarak düşünebiliriz. Sistemlerdeki çıktılar girdilerin direkt ya da dolaylı olarak bir sonucu olarak oluşurlar. Sistemler ise bu girdiler ve çıktılar arasındaki süreci işleten bir yapı olarak düşünülmemelidir. Sadece geçiş görevini üstlenen bir yapı olarak düşünülmemelidir.

Sistem yaklaşımı ile ilgili çalışan araştırmacılar arasında da bu kavram çeşitli şekillerde açıklanmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımın kurucularından olan Barry Richmond'dan yine bu alanda lider araştırmacılardan olan Peter Senge, Sweeney ve Sterman ve sistem dinamiklerinin kurucusu olan Jay Forrester gibi araştırmacıların sistem yaklaşımı tanımlarının karşılaştırmalarını aşağıdaki gibi özetlemiştir.

### Sistem Düşüncesi Tanım Karşılaştırmaları



Şekil 2.2 Sistem Düşüncesi Tanımları Karşılaştırmaları (Arnold & Wade, 2015)'den uyarlanmıştır.

#### 2.4. Sistem Teorisi ve Sistem Dinamikleri Yaklaşımı ile Proje Yönetimi

Proje, insan ve diğer kaynakların belirli bir amacı gerçekleştirmek için belirlenen kısıtlara göre bir araya geldiği bir süreç olarak tanımlanabilir. Proje için yapılan farklı tanımlar da mevcuttur.

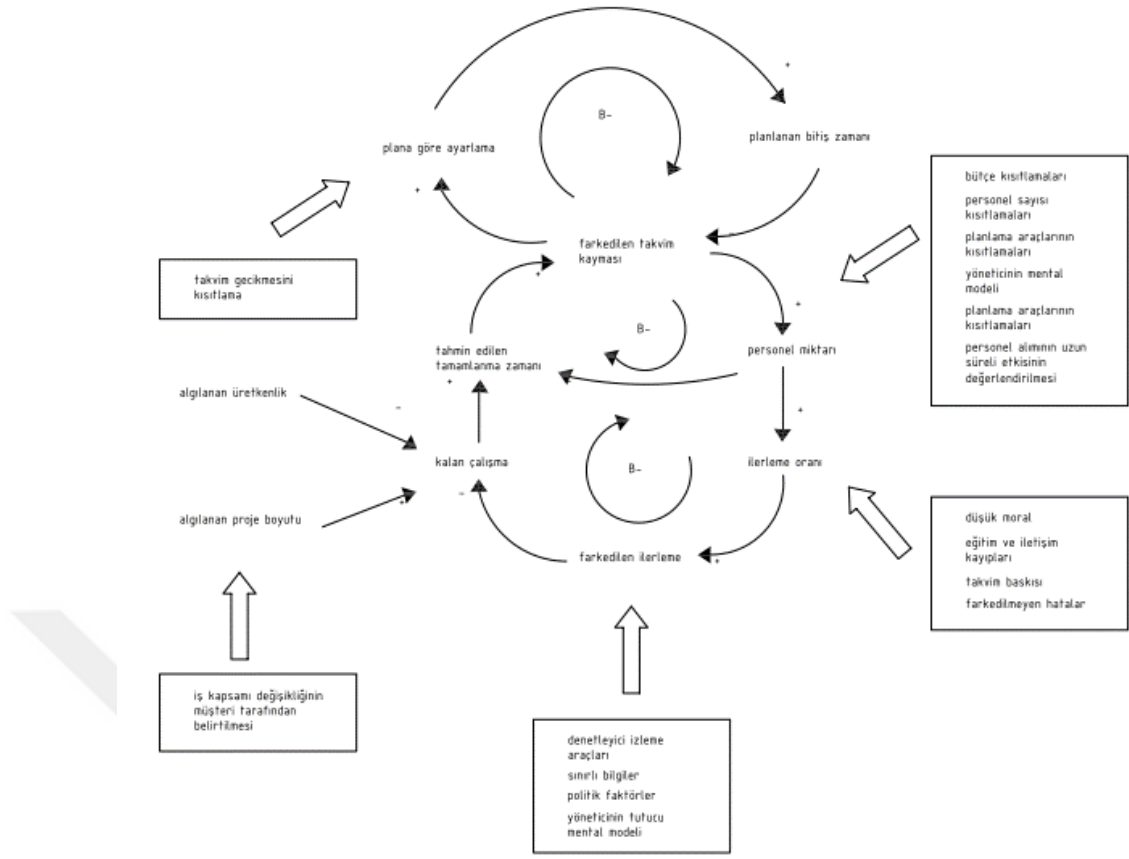
Proje yönetimi bilgilerin, becerilerin, araçların ve tekniklerin proje gereksinimlerini yerine getirmek amacıyla projenin aktivitelerine uyarlanmasıdır. Bir projenin yönetilmesi, projenin gereksinimlerinin belirlenmesi, projenin planlanması ve yürütülmesi, yürütülmesi sırasında projeye dahil olan kişi ve kurumların ihtiyaçlarının ve beklentilerinin ele alınması ve projenin birbiri ile çekişen kısıtlarının incelenmesi ile gerçekleştirilir (Özel, 2013).

Projenin birbiri ile çekişen kısıtları ise şunlardır (Özel, 2013).

- Bütçe
- Kaynaklar
- Kalite
- Risk
- Zaman
- Kapsam

Başarılı bir proje yönetimi her proje için ana kısıtlar olan maliyet, zaman ve kapsam kısıtları için belirlenen hedeflere ulaşılması ve müşterinin memnuniyeti ile ölçülür.

Geleneksel proje yönetim yaklaşımlarında projenin her elementi kendi içinde anlaşıldığında tüm projenin kontrol edilebildiği varsayımı vardır. Günümüzde proje bileşenleri arasındaki ilişki geleneksel proje yönetimlerinde belirtilen kısıtlara göre çok daha karmaşıktır. Sistem dinamikleri yaklaşımı projenin tümüne odaklanacak bir alternatif çözüm olarak sunulabilir. Bu yaklaşım proje bileşenleri arasındaki ilişkilerin bütçe ve zaman aşımalarının sorumlusu olduğunu vurgulamaktadır. Buna göre ortaya çıkan proje kontrol döngüsü de Şekil 2.3'teki gibidir (Rodrigues & Bowers, 1996).



Şekil 2.3 Proje Kontrol Döngüsü

Reichelt ve Lyneis (1999)'in yaptığı çalışmaya göre uzay, denizcilik ve inşaat alanlarından alınan 10 adet kompleks geliştirme projelerinde ortalama bütçe aşımı %86, ortalama takvim aşımı ise %56 seviyesindedir. Lyneis, Cooper ve Els'e göre bu sorunun en büyük sebebi proje yönetimi metot ve konseptlerinin projeleri kısmı olarak ele almalarıdır (Lyneis, Cooper, & Els, 2001). Bu sebeple bu derece kompleks ve sistematik olan bu problemi modelleyebilecek bir yaklaşım gereklidir ve bu da sistem dinamikleri ile mümkün olabilir. (Rumeser & Margaret, 2016)

Bu çalışmada ele alınacak olan anahtar teslim trijenerasyon tesisi gibi çok disiplinli projelerde yeniden yapım ve atlanan işlerin olma ihtimali çok yüksektir. Projenin başarı ölçütleri arasında yer alan bütçe ve zaman kısıtlarının aşımına büyük oranda bu işler neden olmaktadır. Bunlara ek olarak sistem dinamikleri yaklaşımı stratejik seviyede karar verme süreçlerini geliştirebilmektedir.

Sistem dinamikleri modelinin ana hedefi, projeyi oluşturan parçacıkların detaylı olarak incelenmesinden çok, proje sistemi davranışlarından sorumlu ana geri besleme döngüsü süreçlerini belirlemektir (Arda, 2012).

Bu bağlamda sistem dinamikleri;

- Planlama sürecinde proje tamamlanma tarihinin ertelenmesi ve daha fazla iş gücü temin arasındaki ödünleşim ile,
- İnsan kaynakları yönetimi süresinde daha fazla iş gücü teminini etkileyen, çalışan eğitimi, işgücü tecrübe seviyesi, çalışanların benimseme süresi ve iletişim giderleri faktörleriyle,
- Uygulama sürecinde, müşterinin gerekli bilgi ve ekipmanı zamanında sağlamamasından ve/veya müşteri tarafından sonradan yapılan tasarım ve süreç değişikliklerinden kaynaklanan ve öngörülemeyen problemler nedeniyle ortaya çıkan yeniden çalışma konseptiyle,
- Kontrol sürecinde, proje durumunun takibi ile ilgili %90 sendromu olarak adlandırılan, algılanan ile gerçek iş tamamlanma durumu arasındaki farkın ortaya çıkarılmasıyla ilgilenmekte ve bu konulara odaklanmaktadır.

### 3. ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Birçok sektör ve uygulamada sistem dinamikleri modelleri kullanılsa da genelde sistem dinamikleri modelleri 4 adımda oluşturulmaktadır. Bu adımlar ve adımların önemli bölümleri aşağıdaki gibidir (Albin, 1997).

#### 1) KAVRAMSALLAŞTIRMA

- a. Modelin amacının tanımlanması
- b. Model sınırlarının belirlenmesi ve anahtar değişkenlerin tanımlanması
- c. Anahtar değişkenlerinin davranışlarının tanımlanması
- d. Ana işleyişin diyagramlar olarak oluşturulması, modelin geri bildirim döngülerinin belirlenmesi, dinamik hipotezin oluşturulması

#### 2) POLİTİKA OLUŞTURMA

- a. Diyagramların ve döngülerin stok-akış eşitliklerine dönüştürülmesi
- b. Parametre ve değişken değerlerinin tahmin edilmesi ve seçilmesi

#### 3) MODELİN TEST EDİLMESİ

- a. Modelin simülasyonu ve hipotezin test edilmesi
- b. Model varsayımlarının test edilmesi
- c. Model davranışının test edilmesi ve duyarlılık testleri

#### 4) POLİTİKA TASARIMI VE DEĞERLENDİRME

- a. Senaryoların belirlenmesi
- b. Farklı senaryoların test edilmesi
- c. Çalışmada ortaya çıkan sonuçların anlaşılabilir bir formata dönüştürülmesi

#### 3.1. Kavramsallaştırma

Kavramsallaştırma aşamasında modelin amacına, modelin sınırlarına, referans modellerin şekline karar verilmektedir. Bu bölümde belirtilen kısımlarla ilgili detaylara yer verilmelidir.

### 3.1.1. Modelin Amacının Belirlenmesi

Sistem dinamiklerinde modellemenin ilk aşaması olan modelin amacının belirlenmesi iki adımdan oluşan bir süreçtir. İlk adımda bir problem üzerine yoğunlaşılması ve modeli kullanacağı düşünülen hedef kitlenin daraltılması gerekmektedir. Probleme karar verilmesiyle ikinci adımda model bileşenleri ve model yapısıyla ilgili karar verme bölümüne geçilmelidir.

Anlamalı bir modelin oluşturulabilmesi için mutlaka bir problemin altı çizilmelidir. Kavramsallaştırma aşamasının amacı ilgili problemin adreslenebildiği yaklaşık bir kavramsal model ortaya çıkarmaktır. Hangi probleme odaklanılacağı seçildikten sonra ilgili veriler ve detaylı tanımlar oluşturularak modele daha da odaklanmak gereklidir. Burada bahsedilen ilgili veriler sadece ölçülen istatistiksel verileri değil analiz edilen sistem ile ilgilenen insanlardan alınan bilgi ve tecrübeleri de kapsamaktadır.

Model oluşturulduktan sonra modeli kullanacak hedef kitlenin veya model sahiplerinin de modeli anlaması ve akıllarında kalması modelin anlamlı olması için önemli bir etkidir. Eğer model yapısı ve davranışlar model sahipleri tarafından anlaşılmaz ise veya model sahiplerinin sorularına cevap vermez ise model kullanırsız hale gelmiş olur (Albin, 1997).

### 3.1.2. Model Sınırlarının Belirlenmesi

Sistem dinamikleri modelleri genel olarak gerçeği taklit eden fakat gerçeklere göre daha basit olan ve gerektiği yerlerde varsayımlara dayanan matematiksel fonksiyonlar bütünüdür. Gerçeği tam olarak yansıtan bir model kurmak imkansız olduğundan, model kurarken önceden belirlenen varsayımlara ve tahminlere dayalı kurulmalıdır.

Sistem dinamikleri modeli tasarlanırken model sınırlarının açık olarak belirlenmesi gerekmektedir. Öncelikle model kurmak için beyin fırtınası yapılmalı ve gerekli olup olmadığından emin olunmayanlar da dahil olmak üzere tüm bileşenlerin belirlenmesi gerekmektedir. İlgili tüm bileşenler belirlendikten sonra bir başlangıç listesi oluşturulması gerekmektedir. Bu liste oluştururken temel olarak aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir. (Albin, 1997)



- Model sınırlarını belirleyen hiçbir bileşen liste dışında bırakılmamalıdır. Fakat modelin davranış biçimin ve amacına hizmet etmeyen bir bileşen de listeye dahil edilmemelidir.
- Problemin doğasını veya modelin amacını etkilemeyecekse benzer bileşenler birleştirilebilir. Az bileşen sayısı gereksiz karmaşıklığı önleyecektir.
- Bileşen isimleri yön gösterici olmalı, net olarak belirlenmelidir.

Başlangıç listesi oluşturulduktan sonra liste iki önemli gruba ayrılmalıdır. Bu gruplar;

- **İçsel:** Geri besleme döngüleri ile sisteme dahil olan dinamik değişkenler.
- **Dışsal:** Değerleri sistem tarafından direkt etkilenmeyen bileşenler.

Başlangıç listesindeki her bileşenin incelenerek iki gruba ayrılması, daha sonraki incelemelerde gereksiz gelebilecek bileşenlerin belirlenmesi için yardımcı olmaktadır. Bu kategorileştirme aynı zamanda model tasarımcısının modelin yapısını daha iyi anlayabilmesini de sağlamaktadır. Böylece model tasarımcısı istediğinde çok çaba sarf etmeden geriye dönüp değişkenlerle ilgili yapmış olduğu ilk varsayımları yeniden inceleyebilecek hatta alternatif bir model yapısı kurmayı deneyebilecektir.

Son olarak başlangıç listesindeki bileşenlerin iki gruba ayrılması, içsel ve dışsal bileşenlerin yeniden incelenmesine ve hangilerinin stok hangilerinin akış olduğunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Modellerde dışsal bileşenler genel olarak sabit veya zamana bağlı sabit olarak kullanılırlar, stok veya akış olmazlar.

### 3.1.3. Anahtar Değişkenlerin Davranışlarının Tanımlanması

Anahtar değişkenlerin davranışlarının tanımlanması bir başka deyişle başvuru şekilleri (reference modes) veya davranış şekli anlamına da gelmektedir. Başvuru şeklinin grafiğinin yatay ekseninde zaman, dikey ekseninde de ilgili değişkenin birimi bulunmaktadır. Sistemin mental modelini içeren başvuru şekline uygun model yapısı ile ilgili ipuçları vermektedir. Genelde başvuru şekli, model ile ilgili bilgi eksikliği dolayısıyla oluşturulmaz veya zaman kaybı olarak görülebildiğinde çizilmez fakat bu süreç bir rehber olması ve model kurulumu sırasında bir test gibi düşünülüğünde faydalı olmaktadır.

Yazılı tanımlar veya istatistiksel değerler başvuru şekli olarak aynı amaca hizmet etse de grafik olarak verilmesi anlaşılma ve akılda kalma açısından daha sağlıklı bir yöntemdir.

Yukardaki bölümde belirtildiği gibi başvuru şekli sistemin mental modelini yansıtsa da her zaman doğru olmayabilir. Modelleme süreci geçtikçe ve model tasarımcısı modeli daha iyi anladıkça model başvuru şeklinden farklı hale dönüşebilir. Bu durumda model tasarımcısı başvuru şeklini de güncellemelidir.

Başvuru veya davranış şekilleri geçmiş veriye dönük ve hipoteze dayalı olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulabilir.

Geçmiş veriye dönük başvuru şekilleri genelde model tasarımcısına bir problem verilen ve bu problem ile ilgili çözümü veya sebepleriyle ilgili bilgilerin istendiği zamanlarda kullanılmaktadır. Geçmiş veriye dönük başvuru şekilleri modelin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması açısından faydalıdır. Eğer model sonuçları ile davranış şekli arasında bir uyumsuzluk varsa bu modelin güncellenmesi gerektiği anlamına gelebilmektedir.

Geçmiş veriye ulaşımın olmadığı durumlarda hipoteze dayalı bir başvuru şekli oluşturulabilir. Bu şekil genelde modelin ana bileşenlerin davranışlarını gösteren sadeleştirilmiş eğrilerden oluşmaktadır.

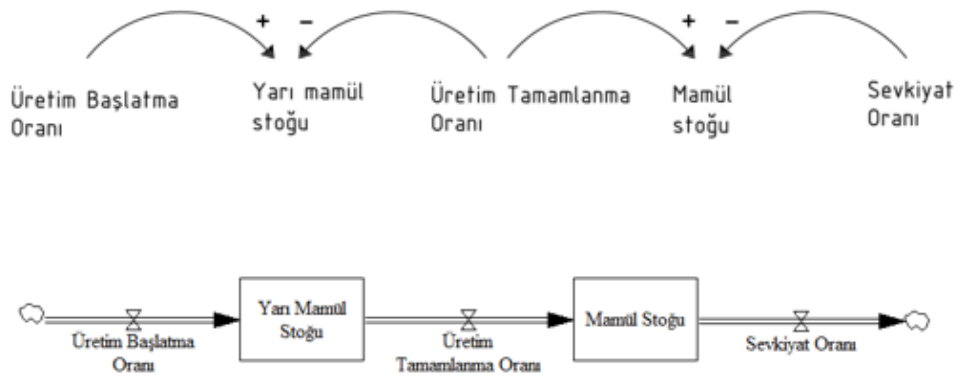
Başvuru şekilleri grafik ile oluşturulacaksa yatay ekseninde yer alacak olan zamanın birimi ve ölçeğini belirlemek önemlidir. Zaman ölçeğinin gereğinden büyük ya da küçük olması durumunda grafikteki davranışlar net olarak anlaşılabilir.

### 3.1.4. Ana İşleyişin Diyagramlar Olarak Oluşturulması, Geri Besleme Döngülerinin Belirlenmesi

Kavramsallaştırma bölümünün en son adımı olan bu bölümde modelin ana işleyişi diyagramlara dönüştürülür. Bu diyagramlar temel olarak modelin amacını ve davranış şeklini anlatan en küçük diyagramlar olarak tanımlanabilir. Bu diyagramlara geri besleme döngüleri de diyebiliriz.

Ana diyagramlar oluşturulurken model tasarımcısı öncelikle sistemle ilgili kafasında dinamik hipotez oluşturur. Bu hipotez başvuru şekli ve model amacına uyumlu olmalıdır. Geri besleme döngüleri net olarak anlaşılmadıkça uygun bir model oluşturmak mümkün değildir. Bunun yanında ana işleyiş diyagramlarında bileşenler içinde herhangi bir formulasyon olmasına gerek yoktur. Bu diyagramlar sadece mental olarak başvuru şeklini yansıtan diyagramlardır.

Sistem dinamiklerinde ana işleyişi belirten diyagramlar iki farklı şekilde gösterilebilir. Bunlardan biri, stok-akış diyagramları, diğeri de nedensel döngü diyagramlarıdır. Stok-akış diyagramları nedensel döngü diyagramlarına göre daha detaylı olup, modelde hata yapma oranını daha az indirecektir. Çünkü stok-akış diyagramlarında bileşenler arasındaki ilişkiler nedensel döngü diyagramlarına göre daha net olarak belirlenmektedir. Aşağıdaki şekilde iki gösterim şekli için örnekler verilmiştir.



Şekil 3.1 Nedensel Döngü Diyagramları ve Stok-Akış Diyagramları Gösterimi

### 3.2. **Politika Oluşturma**

Kavramsallaştırma b3l3m3nde dinamik hipoteze karar verildikten ve başvuru Şekilleri oluşturulduktan sonra modelin kurulum aşamasına gelinmektedir. Bu aşamada politikayı etkileyen fakt3rler arasındaki ilişkiler ve d3ng3ler stok-akış diyagramlarına ve neden sonuē diyagramlarına d3n3řt3r3l3r.

Sistem modeli oluşturulduktan sonra gerekli veriler ve matematiksel formulasyonlar ilgili değişkenlere girilerek politika oluşturulur.

#### 3.2.1. **D3ng3lerin ve diyagramların stok-akış eşitliklerine d3n3řt3r3lmesi**

3nceki b3l3mlerde belirlenen diyagram ve d3ng3lerin stok-akış eşitliklerine d3n3řt3r3lmesi, disiplinli bir yaklaşım, ęalıřma ve tecr3be gerektirdiğinden tasarımcının modeli kendi kurmasından daha ęok uzman desteğini alması ęok daha mantıklıdır. Ayrıca problemin tanımının iyi bilinmesi de gerektiğinden, problemi birebir yaşayan organizasyonların iēinden oluşacak ekiplerle modelin kurulması daha sağlıklı bir ę3z3m sağlayacaktır.

Modeller kurulurken problemin nedenlerine ilişkin teoriler, model tasarımcıları ile problem sahipleri arasında tartışmalara sebep olabilir. Her kişinin kendine 3zg3 fikirleri olduğundan bu tip tartışmaların yaşanması gayet doğaldır. Ayrıca her bir grubun problemi kendi aēısından değerlendireceği d3ř3n3ld3ę3nde model tasarımcısı bu aşamada grupları iyi dinleyerek, t3m g3r3şleri not almalıdır. Model tasarımcısının asıl amacı probleme ilişkin iēsel bir aēıklama bulabilmektir.

Sistem dinamikleri yaklaşımında bir problemin sebeplerini iēsel değişkenlere bağlı olarak incelenir. Sistemi oluşturan bileşenler ve bu bileşenleri etkileşimleri oluşturulduktan sonra yapıda veya etkileşimlerde değişiklik olduğunda sistemin bundan dolayı nasıl değişeceği anlamaya ęalıřılır.

Dışsal değişkenlere bağlı olarak yapılan problem incelemelerinde ise dışa bağlı değişkenlere bakılarak problem aēıklaması yapılmaktadır. Fakat bu teori aslında sistem dinamikleri yaklaşımına uymaz. ę3nk3 dışsal değişkenleri neyin etkilediği aslında sistem sınırları dışındadır. Bu durumda dışsal değişkenleri de iēsel değişken gibi alıp modeli genişleterek bunları etkileyen nedenleri de incelemek gereklidir.

### 3.2.2. **Parametre ve değişken değerlerinin tahmin edilmesi ve seçilmesi**

Model tasarımcıları ve problem sahipleri ile yapılan grup çalışmalarını ile birlikte belirlenen model artık veri girişine hazır hale gelmiştir.

Veri girişleri yapılırken test aşamaları göz önünde bulundurulmalı ve zaman kaybı olmaması adına genel olarak dışsal değişkenlerden başlanarak ve her bir değişkenin matematiksel karşılığı ve birimi girildikten sonra yazılım üzerinde kontrol edilerek yapılabilir. Sistem dinamikleri modelleri matematiksel olarak karmaşık modellerdir. Dolayısıyla değişkenlerin birimlerinin her girişte kontrol edilmesi tasarımcıya hatanın anında görülmesini ve zamandan tasarruf etmesini sağlamaktadır.

### 3.3. **Modelin Test Edilmesi**

Model kurulumu yapılmaya başlanmasından itibaren test süreci aslında başlamaktadır. Bu süreçte temel olarak üç amaç vardır.

- Model simülasyonu ve hipotezin test edilmesi
- Model varsayımlarının test edilmesi
- Model davranışının test edilmesi ve duyarlılık testleri

#### 3.3.1. **Modelin simülasyonu ve hipotezin test edilmesi**

Modelin test edilmesi aslında modeldeki ilk matematiksel eşitliği yazmaya başladıktan itibaren başlar. Bu sürecin bir kısmı yukarıda da belirtildiği gibi modelin simülasyon sonucu elde edilen çıktısının gerçek sistem davranışı veya başvuru şekliyle ne ölçüde benzediğini belirlemeyi içermektedir. Dinamik hipotez testi olarak da adlandırılan bu süreçte test gerçek veriler veya deney/gözlem sonuçları kullanılabilir. Yapılan test sonucunda model başvuru şekliyle uygun olması halinde test sürecinin diğer aşamasına geçilebilir.

#### 3.3.2. **Model varsayımlarının test edilmesi**

Modelin uç şartlar altında verdiği tepkilerin test edilmesi

Model içinde tanımlanan tüm değişkenlerin gerçekte bir anlamı olduğundan aslında bölüm 3.2.2'de de belirtildiği şekilde her parametre ve değişken girişlerinde sistem boyut tutarlılığı bakımından test edilmelidir. Genellikle

kullanılan yazılımlarda bu fonksiyon mevcut olup her girilen değişkinden sonra bu fonksiyon kullanılabilir.

Değişkenlerin boyutsal tutarlılığı dışında sistemin uç şartlar altında verdiği tepkiler de modelin kararlılığı açısından çok önemlidir. Modelin sınırlarını zorlayacak koşullarda mantıklı çıktı verip vermediğı test edilmelidir.

### 3.3.3. Model davranışının test edilmesi ve duyarlılık testleri

Model tasarlanırken süreç içerisinde belirlenen değişkenlerin bir kısmı amaçlar ve gereklilikler doğrultusunda birleştirilebilir veya daha farklı parçalara da ayrılabilir. Bu durumda sistemin tutarlılığının aynı şekilde korunması gerekmektedir. Ayrıca başlangıç koşullarındaki ve model sınırlarındaki belirsizliklere karşı da modelin testi bu sürecin bir parçasıdır.

Testlerinden tamamlanmasından sonra sistem dinamikleri model kurulumunun son aşaması olan politika tasarımı ve değerlendirme bölümüne geçilebilir.

### 3.4. Politika Tasarımı ve Değerlendirme

Sistem modelleme aşamaları olarak tanımlanan kavramsallaştırma, politika oluşturma ve modelin test edilmesi aşamalarından sonra en son aşama politika tasarımı ve değerlendirme bölümüdür.

Model test edildikten ve model üzerinde bir güven oluştuktan sonra bizi model kurmaya iten problemin çözüm veya iyileştirme için politika tasarımları yapmaya ve çıkan sonuçları değerlendirmeye başlamak gereklidir.

Politika tasarlama tamamen yeni stratejiler, yapılar ve karar kuralları oluşturmayı içermektedir. Bir sistemdeki geri besleme yapıları o sistemin davranışlarını oluşturduğu için, çoğu zaman yüksek kaldıraca sahip politika tasarımı, sistemde ağırlığı olan geri besleme yapılarının değiştirilmesini gerektirmektedir. (Çelik, ve diğerleri, 2011)

Başka bir deyişle, politika tasarımı sadece parametrelerin veya değişkenlerin değerlerinin değiştirerek değil, sistemdeki geri besleme döngülerini veya diğer döngülerin değiştirilmesi ile yapılmaktadır. Sistemdeki geri besleme döngülerinin değiştirilmesi, dolaylı olarak stok-akış diyagramlarının yeniden düzenlenmesini veya sisteme yeni değişken, gecikme gibi bileşenler eklenmesi

gerekliliğine ortaya çıkarabilir. Gerekli olacak değişimler yeniden tasarlandıktan sonra sistemin duyarlılığı tekrar test edilmelidir. Parametreler ve değişkenlerdeki belirsizliklere karşı sistemin kararlılığı sağlanmalıdır.

Politika tasarımları oluşturulup simule edildikten sonra değerlendirmeler dikkatli bir şekilde yapılmaktadır. Eđer birden fazla politikanın aynı anda uygulandığı bir senaryo var ise buradaki sinerjinin etkisi de dūřunūlmelidir. Politikaların tek başına yapacağı etki birden fazla politikanın uygulandığı andaki ortaya çıkacak etkiden daha fazla veya daha az olabilir.



## **4. TRİJENERASYON SİSTEMİ ÖRNEĞİ**

### **4.1. Trijenerasyon Modelinin Kavramsallaştırılması**

#### **4.1.1. Trijenerasyon Modelinin Amacı**

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi trijenerasyon sistemleri elektromekanik olarak kompleks yapılar olup kurulumu ve devreye alımı için disiplinler arası ve koordineli bir çalışma gerektirir.

Türkiye’de enerji sektöründe kojenerasyon, trijenerasyon sistemlerini anahtar teslim olarak kuran ve devreye alan firmalar oldukça az sayıdadır. GENSET ithal edip veya kendi üreterek bu tip santralleri kuran firma sayısı sadece 4 adettir. Elbette bu firmalardan makine temin edip tesis kuran firmalar mevcut fakat Pazar payının çoğunluğunu 4 adet firma paylaşmaktadır. Bu sistemleri tasarlamak ve montajını yapmak uzmanlık gerektirdiğinden firmanın iyi bir planlama yapısına da sahip olması gerekmektedir.

Pazardaki firma sayısı az olmasına rağmen hem müşteri portföyünden kaynaklı hem de bu tip yatırımların her dakikası kurulacak olan tesisler için tasarruf olduğundan, firmalar arasındaki maliyet ve takvim baskısı oldukça yüksektir. Bu da pazarda ciddi bir rekabet oluşmasına neden olmaktadır. Planlamayı iyi yapan firmalar fark yaratarak karlılıklarını arttırmaktadırlar. Teorik olarak bu bilgiler bilinse de her anahtar teslim işte olduğu gibi işlerin planlandığı gibi gitmeme olasılığı da fazladır.

Anahtar teslim kompleks yapı projelerinde kullanılan geleneksel proje yönetim metodlarında planlananlardan farklı gerçekleşen karlılıklarının nedenlerini irdelemek zor olduğundan bu nedenleri diğer projelere aktarmak da daha farklı ve yorucu bir süreç gerektirebilmektedir. Bu çalışmada örnek alınacak trijenerasyon projesi için geliştirilen sistem dinamikleri modeliyle,

- Proje sonundaki karlılık tahmin edilecek
- Proje sonundaki takvim süreleri tahmin edilecek
- Karlılık ve takvim sürelerinin değiştirebilecek değişkenler belirlenecek
- Projeye daha bütünsel bakılarak projenin gidişatı ile ilgili bilgi sahibi olunabilecektir.



#### 4.1.2. Trijenerasyon Modelinin Sınırlarının Belirlenmesi

Trijenerasyon modelinde hazırlanacak olan model temel olarak öngörülemez işlerin belirlenmesi ve bu işlerin maliyete etkisi incelenerek ortaya çıkacak takvim süresi ve karlılık değerleri incelenecektir. Modelin sınırlarını ve anahtar değişkenlerini belirlemek için bu sistemleri daha önce dizayn etmiş ve kurmuş kendi alanlarında uzman kişiler ile bir oturum gerçekleştirilmiştir. Oturuma katılan kişilerin görevleri ve çalıştığı kurum Tablo 4-1’de verilmiştir. Firma gizliliği sebebiyle firma adı yerine trijenerasyon işlerini yapan firma EPC firma olarak adlandırılmıştır.

Tablo 4-1 Oturum Katılım Listesi

Görev	Çalıştığı Kurum
Projeler ve Şantiyeler Müdürü	EPC Firma
Elektrik & Otomasyon Mühendislik Müdürü	EPC Firma
Mekanik Mühendislik Müdürü	EPC Firma
Proje Yöneticisi	EPC Firma
Proje Yöneticisi	EPC Firma
Elektrik Dizayn Mühendisi	EPC Firma
Mekanik Dizayn Mühendisi	EPC Firma
Otomasyon Mühendisi	EPC Firma
Devreye Alma Mühendisi	EPC Firma
Teknik Satın Alma Mühendisi	EPC Firma
Planlama Mühendisi	EPC Firma
Saha Mühendisi	EPC Firma

Faktörler belirlenmeden önce projenin sınırlarını belirlemek amacıyla belirlenen varsayımlar oturum katılımcılarıyla paylaşılmış ve buna göre faktörler belirlenmiştir. Buna göre proje sınırları ve varsayımlar aşağıdaki gibidir.

- Proje çalışanlarında mesai veya mesai sonucu ortaya çıkabilecek yorgunluklar ve verim düşüklükleri ihmal edilmiştir.
- Projede değişen iş gücü miktarına göre temin edilecek iş gücü oranının firmanın mevcut tecrübeli iş gücü oranını bozmayacak şekilde temin edileceği varsayılmıştır.

- Proje yöneticisinin liderlik vasıfları, karakteri gibi özellikleri ve bu özelliklerinin proje üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.
- Sözleşmenin getirdiği maliyetler olan damga vergisi ve gelir vergisi gibi giderler karlılık ve maliyetler bölümüne yansıtılmamıştır.

Bu çalışmada temel olarak yeniden yapılan işler döngüsünün etkileri ele alınacaktır. Yapılan oturum sonucunda takvim aşımalarını ve maliyetleri etkileyen faktörler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Üretkenlik
- Tecrübeli İş Gücü Oranı
- İş gücü miktarı
- İş gücü temin süresi
- Genset Maliyeti
- Chiller Maliyeti
- Çalışan Maliyetleri
- Sözleşme Bedeli
- Mühendislik Hata Oranı
- Devreye Alma Hata Oranı
- Alt Yüklenici Hata Oranı
- Alt Yüklenici Tecrübesi
- Sözleşme Ceza Bedeli Oranı
- Baskı
- Planlanan Tamamlanma Zamanı
- Tespit Edilememiş İşler
- Proje Adam/Gün Maliyeti
- Proje Adam/Gün Oranı
- Çalışan Morali
- Planlanan İşler
- Tamamlanan İşler
- Gerçekleşen Tamamlanma Zamanı

Oturumda ortaya çıkan bu değişkenler kendi aralarında içsel ve dışsal olarak ayrıştırılarak Tablo 4-2'deki gibi bir durum ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4-2 İçsel ve Dışsal Değişkenler

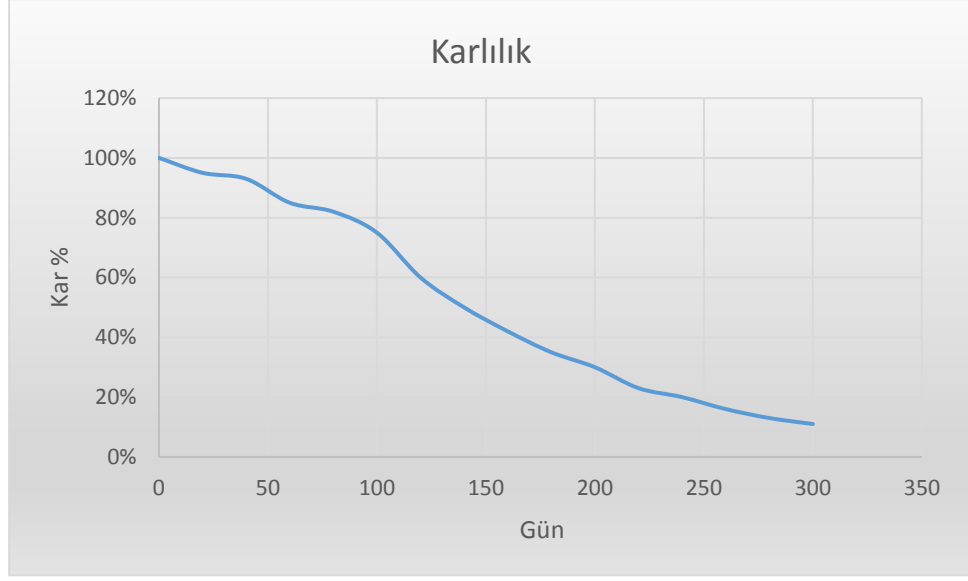
<b>İçsel Değişkenler</b>	<b>Dışsal Değişkenler</b>
Çalışan Maliyetleri	Sözleşme Bedeli
İş Gücü Miktarı	Sözleşme Ceza Bedeli Oranı
Hata Oranı	Genset Maliyeti
Üretkenlik	Chiller Maliyeti
Tespit Edilememiş İşler	Tecrübeli İş Gücü Oranı
İş Gücü Miktarı	Proje Adam/Gün Maliyeti
Tamamlanan İşler	Proje Adam/Gün Oranı
Mühendislik Hata Oranı	İş Gücü Temin Süresi
Devreye Alma Hata Oranı	Alt Yüklenici Tecrübesi
Alt Yüklenici Hata Oranı	Planlanan İşler
Gerçekleşen Tamamlanma Zamanı	
Baskı	
Çalışan Morali	

Ortaya çıkan bu değişkenler daha sonra birleştirilecek veya daha da detaylandırılacaktır.

#### 4.1.3. Trijenerasyon Modelinin Anahtar Değişkenlerinin Davranışlarının Belirlenmesi

Bölüm 4.2 de belirlenen değişkenlerden hangilerinin anahtar değişken olduğunu belirlemek için modelin amacına tekrar dönmek gerekmektedir. Modelin amacına baktığımızda karlılık ve takvim aşımalarının bizim için anahtar olduğunu görebiliriz. Kurulacak olan modelde analiz edilecek bu iki değişkenin nasıl davranması gerektiğini belirlemek için çeşitli yöntemlerin mevcut olduğu önceki bölümlerde belirtilmişti.

Literatürde “reference modes” olarak da bilinen bu grafikler geçmiş verilere bakılarak veya hipotez olarak sunulabilir. Bu çalışmada hipotez olarak sunulan davranış grafikleri karlılık için Şekil 4.1’de, takvim aşımaları için ise şekil 4.2’de verilmiştir. Bu hipotezler verilirken daha önce trijenerasyon tesisi yapmış olan firmanın da geçmiş verilerine bakılmıştır.



Şekil 4.1 Karlılık Değişimi Davranışı



Şekil 4.2 Takvim Aşımaları Davranışı

Karlılık için verilen hipotezde, proje başlangıcındaki maliyetler sıfır olduğundan karlılık %100 den başlayıp proje sonuna kadar azalmaktadır. Proje tamamlandığında ise beklenen karlılık seviyesine ulaşmış olacağı varsayılmıştır.

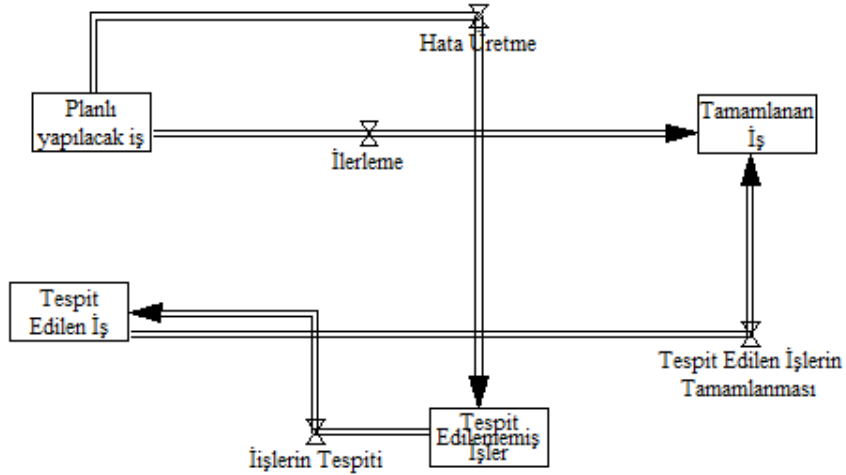
Takvim aşımaları hipotezinde, proje başlangıcında ilerleme yavaş olsa da günler geçtikçe ilerleme artacak ve proje bitimine yakın iş oranı %90lar seviyesine

gelecektir. Bu grafik sadece trijenerasyon sistemleri için değil genel olarak tüm projelerde bu şekilde gerçekleştirilmektedir.

#### 4.1.4. Trijenerasyon Modelinin Ana İşleyiş Diyagramının Belirlenmesi

Trijenerasyon sistemi ve diğer bu tip sistemlerin anahtar teslim projelerindeki en büyük sorunlardan biri yeniden yapılan işlerin maliyet ve takvim aşımına etkileriydi. Dolayısıyla bu çalışmada bu döngü ele alınarak ana işleyiş modeli belirlenmiştir.

Bu döngü belirlenirken daha önce başka bir sektör için benzer çalışmayı yapmış (Arda, 2012) çalışmasından farklı olarak Dr. James Lyneis'in çalışmaları incelenmiş ve tespit edilen işler stoğu tamamlanan iş stoğuna yönlendirilmiştir (Lyneis, 2012). Böylece iki farklı akış yaratılarak tespit edilen işler ile ilgili daha detaylı analiz yapılması amaçlanmıştır.



Şekil 4.3 Yeniden Yapılan İşler ile Ana İşleyiş Stok-Akış Diyagramı

Bu diyagramdaki tespit edilememiş işlerin yarattığı maliyetler temin edilen iş gücü vasıtasıyla değişken maliyetlere aktarılarak, bu işlerin karlılığa etkisi de göz önünde bulundurulmuştur.

#### 4.2. Trijenerasyon Modelinin Politikasının Oluşturulması

Uzman personelle yapılan oturumda ortaya çıkan değişkenler daha sonrasında Şekil 4.3'te belirtilen ana işleyiş stok-akış diyagramına ve bu aşamadan sonra da kalan diğer değişkenler belirlenen döngüler eklenerek modelin tam haline ulaşılmış ve bu proje için bir politika oluşturulmuştur.

Belirlenen ana işleyiş diyagramıyla birlikte döngülerin oluşturularak ana işleyiş diyagramına entegrasyonu sağlanmıştır.

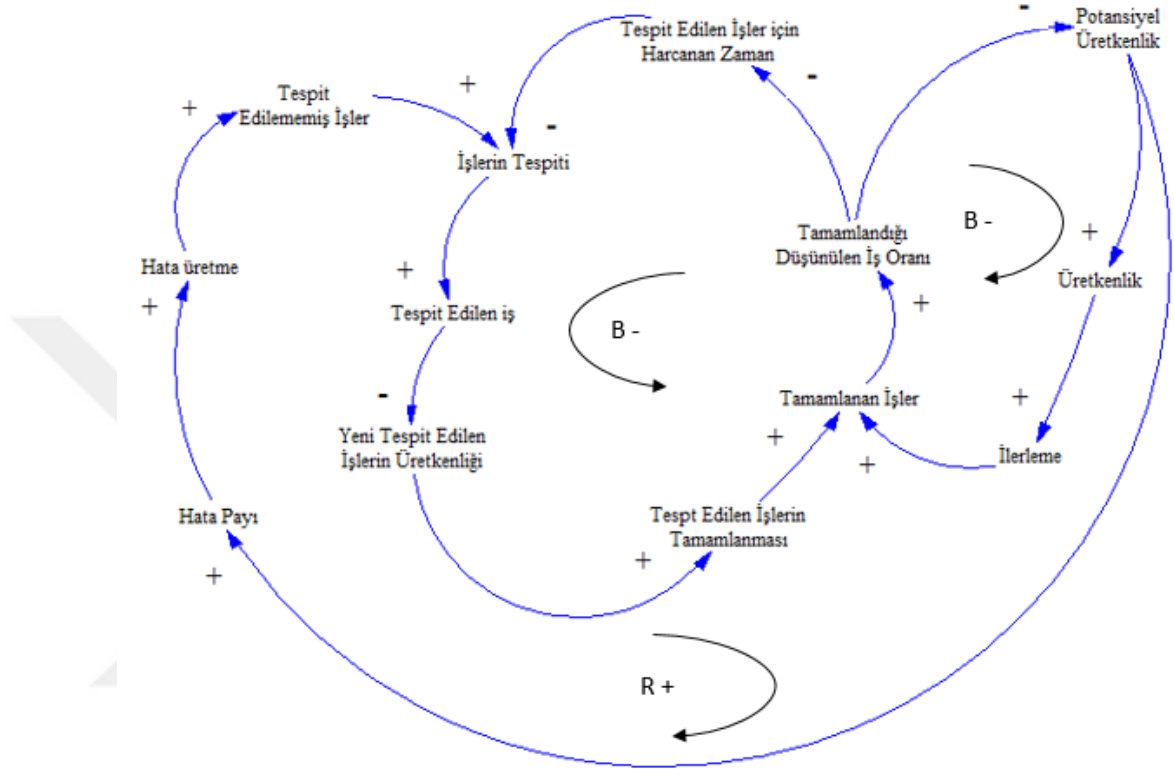
Bu çalışmadaki döngüler ve birbirleriyle entegrasyonu, referans alınan literatür çalışmaları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4-3 Model Döngülerinin Referansları

Döngü Tanımı	Albine,S.	Arda,K.	Nasirzadeh, F.& Nojedehi,P.	Love, P.E.D. , Holt, G.D., Shen, L.Y.	Çakır, V. , Elçi,F.
İlerleme	X				
Tespit Edilemeyen İşlerin Tamamlanması		X			X
Projenin Tamamlanması					
Maliyet			X		X
İşgücü		X		X	
Tamamlanma Zamanı	X				

#### 4.2.1. Yeniden Yapılan İşler Döngüsü

Planlanan işlerin dışında hatalar sonucu ortaya çıkan yeniden yapılan işlerin de kaynak tüketmesi sonucu projenin ilk başta planlanan zamanda bitirilmesi amacıyla oluşturulan döngülerdir.



Şekil 4.4 Yeniden Yapılan İşler Döngüsü

Yeniden yapılan işler döngüsü kendi içinde 3 adet alt döngüden oluşmaktadır.

İlerleme döngüsü tamamlandığı düşünülen iş oranı ile potansiyel üretkenlik arasındaki ilişki sebebiyle dengeleyici döngü olarak tanımlanmıştır. Üretkenlik kontrol edilebilen ve edilemeyen çeşitli faktörlerin fonksiyonudur. Bu faktörlerin tanımlanması ayrıntılı bir literatür araştırması ve çeşitli uzmanlarla yapılacak görüşmelerle belirlenebilir (Nasirzadeh & Nojedehi, 2013). Ayrıca bu faktörler işi yapan firmalara ve bu firmaların iş yaptığı sektörlere göre de değişmektedir. Projenin risk faktörleri de üretkenliği etkilemektedir (Khanzadi, Kaveh, Alipour, & Mohammadi, 2017).

Her projeye ve sektöre göre üretkenlik fonksiyonu değişeceğinden bu çalışmada üretkenlik fonksiyonu projenin tamamlanma oranına göre azalacak şekilde varsayılmıştır. İlerleme döngüsünün dengeleyici olması aslında modeldeki

planlanan işlerin sabit bir hızda değil hızı azalan bir şekilde tamamlandığını göstermektedir.

İkinci alt döngü ise tespit edilen işlerin tamamlanması döngüsüdür. Bu döngü de ilerleme döngüsü gibi dengeleyici döngü olup, yeni tespit edilen işlerin tamamlanma zaman hızının azalarak devam ettiğini göstermektedir. Bunun ana sebebi olarak da yeni tespit edilen işlerin üretkenliği değişkeninin davranışı gösterilebilir. Oluşturulan modelde yeni tespit edilen işlerle planlanan işleri gerçekleştiren iş gücü ayrılmıştır (Albin, 1997). Buna göre sadece yeni tespit edilen işleri gerçekleştiren personelin iş yoğunluğu arttıkça üretkenliğinin düşeceği varsayılmıştır.

Son alt döngü ise bu iki döngünün geri besleme döngüsü olarak düşünülebilir. Bu döngü pekiştirici olup planlanan işler tamamlanıp kalan işler azaldıkça sistemin hata yapma olasılığını azaltarak projenin tamamlanmasını sağlamaktadır.

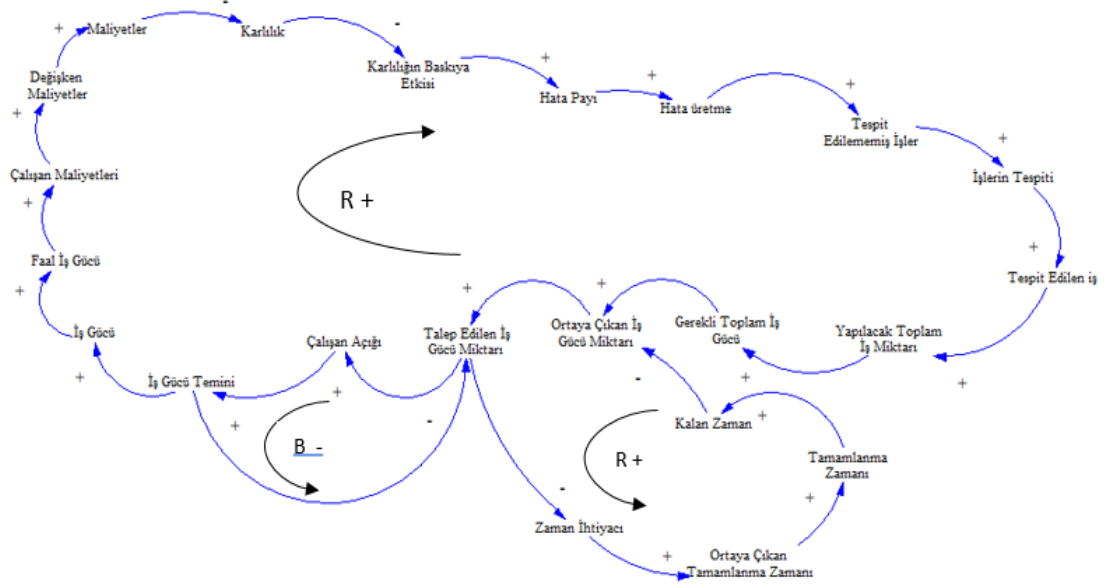
#### **4.2.2. Karlılık Döngüsü**

Çalışmanın yapılma amaçlarından en önemlisi proje karlılığının analiz edilmesidir. Karlılık döngüsündeki faktörlerden en önemlisi maliyetlerdir. Maliyet stoğu sabit ve değişken maliyetlerin zamana bağlı akışı ile oluşmaktadır.

Sabit maliyetler için ekipman maliyetleri alınırken değişken maliyetler için çalışan maliyetleri alınmıştır. (Nasirzadeh & Nojedehi, 2013)

Nasirzadeh ve Nojedehi'nin çalışmasında hazırladığı maliyet modelindeki fazla mesai maliyetleri çalışmanın önceki bölümünde belirtildiği gibi göz önünde bulundurulmamıştır. Buna göre oluşan karlılık döngüsü Şekil 4.5'te gösterilmiştir.





Şekil 4.5 Karlılık Döngüsü

Karlılık döngüsü 3 alt döngüden oluşmaktadır. Bu döngüler maliyet döngüsü, iş gücü döngüsü ve tamamlanma zamanı döngüsü olarak adlandırılabilir.

Maliyet döngüsü model içindeki en uzun döngü olup pekiştirici bir döngüdür. Bu döngüye göre maliyetler giderek artmakta ve karlılık ise giderek düşmektedir. Bu döngüde karlılık azaldıkça çalışan üzerindeki baskı ve hata payının arttığı gözükmemektedir.

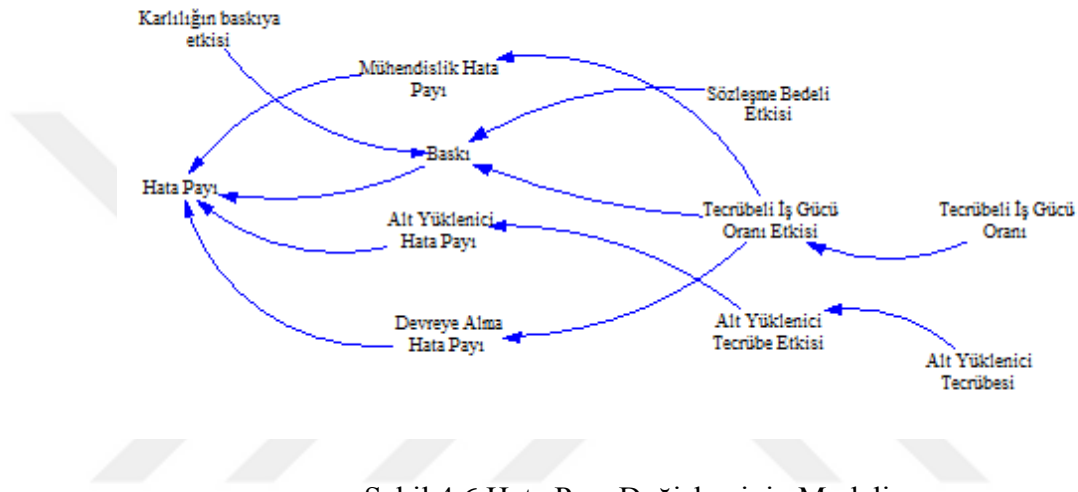
Takvim baskısının aslında üretkenlik üzerine hem pozitif hem de negatif etkileri vardır. İstenilen performans arttıkça gerçekleşen performans ile istenen performans arasındaki fark açılacak bu da takvim baskısına sebep olacaktır. Bu baskı personel motivasyonunu etkileyerek daha fazla çalışmaya itecek ama fark açıldıkça bu motivasyon düşecek ve gerçekleşen performans değerine gerileyecektir (Kermanshachi, Thakur, & Govan, 2018). Bu çalışmada çalışan motivasyonu ihmal edildiğinden bu değişken hata payına sebep olacak şekilde modellenmiş ve karlılık düştükçe çalışan üzerinde oluşacak baskı ile beraber hata payının artacağı düşünülmüştür.

Maliyetleri ve karlılığı etkileyen en önemli değişkenlerden biri projenin tamamlanma zamanıdır. Bu zamanı kısaltmak için tamamlanma zamanı döngüsü oluşturulmuştur. Bu döngüde maliyeti azaltmak için iş gücü arttırılmaktadır.

Fakat iş gücünün de artması maliyetlere sebep olacağından ikisi arasındaki dengeyi sağlamak için iş gücü döngüsü yaratılarak denge sağlanmaya çalışılmıştır.

#### 4.2.3. Hata Payı Değişkeninin Oluşturulması

Önceki bölümlerde belirlenen döngülerdeki değişkenleri etkileyen diğer parametrelerden en önemlilerinden biri hata payı değişkenidir. Bu değişken ile ilgili oluşturulan model aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 4.6 Hata Payı Değişkeninin Modeli

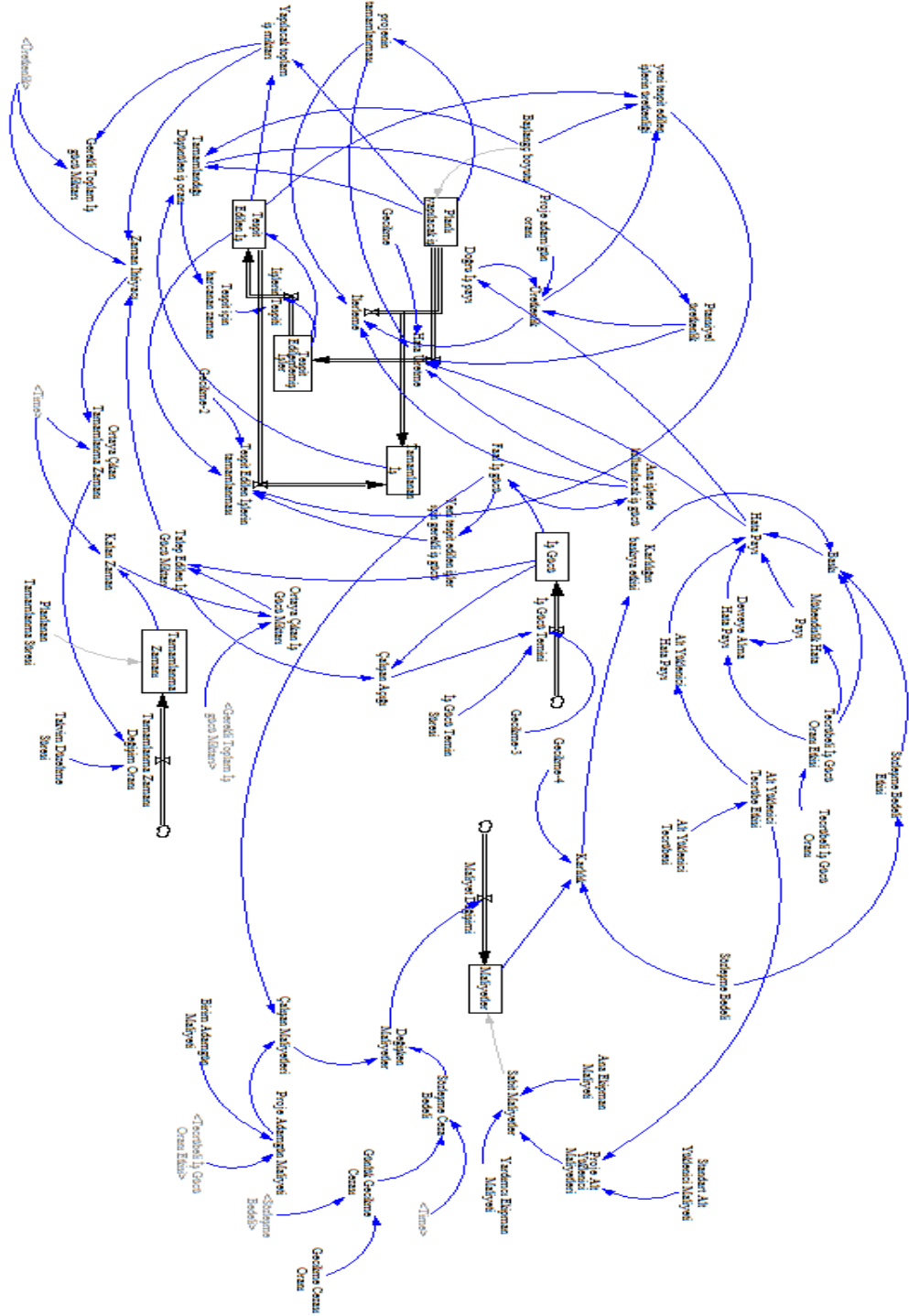
Sistemdeki hata payı temel olarak personelden kaynaklı hatalardan kaynaklı oluşan bir değişkendir. Bu çalışmada projenin yapısı gereği çalışanlardan kaynaklanan hatalar üç bölüme ayrılmıştır;

- Mühendislik Hata Payı
- Devreye Alma Hata Payı
- Alt Yüklenici Hata Payı

Diğer önemli faktör ise tecrübeli iş gücü oranıdır. Yapılacak işler arttıkça talep edilen iş gücü de artmaktadır. Yeni işe alınanlar genellikle daha fazla hata üretip daha fazla yeniden yapılan işe sebep olmaktadır (Jiang, 2013). Bu sebeple hata payını firmanın tecrübeli iş gücü oranı da etkileyecektir. Alt yüklenici hata payı da aynı şekilde iş için kullanılacak alt yüklenicinin tecrübesinden etkilenerek hata payına yansıtılmıştır.

#### 4.2.4. Tam Modelin Oluşturulması

Belirlenen bu döngülerin birbirleriyle entegrasyonu ve diğer parametrelerin de eklenmesiyle ortaya çıkan model Şekil 4.7'deki gibidir.



Şekil 4.7 Sistem Dinamikleri Modelin Tam Hali

### **4.3. Trijenerasyon Sistemi Modelinin Parametre ve Değişken Değerlerinin Tahmin Edilmesi ve Seçilmesi**

Bölüm 4.2’de oluşturulan politika sonucunda oluşturulan modeldeki değişkenlerin ve parametrelerin değerleri girilecektir. Modeldeki parametre değerleri örnek olarak yapılan trijenerasyon projesini daha önce gerçekleştirmiş bir firmanın verilerinden alınacaktır. Modelde kullanılan parametre ve değişkenlerden önemli olanlarından bir kısmı aşağıda belirtilmiştir.

Örnek olarak yapılan trijenerasyon sisteminde projenin başlangıç boyutu 500 görev olarak belirlenmiştir. Projenin 35 çalışanla 70 günde bitirileceği öngörülmüştür

Sözleşme bedeli 4 milyon Euro olarak belirlenmiş olup sözleşme günlük gecikme cezası oranı sözleşme bedelinin binde 1’ idir. Birim adam/gün maliyeti 120 euro’dur. Modeldeki çalışan maliyetleri bu rakam üzerinden hesaplanacaktır.

Bunun dışındaki modeldeki diğer değişkenlerin ve parametrelerin formülasyonları ve değerleri EK-1’de verilmiştir.

#### 4.4. Trijenerasyon Sistemi Modelinin Test Edilmesi

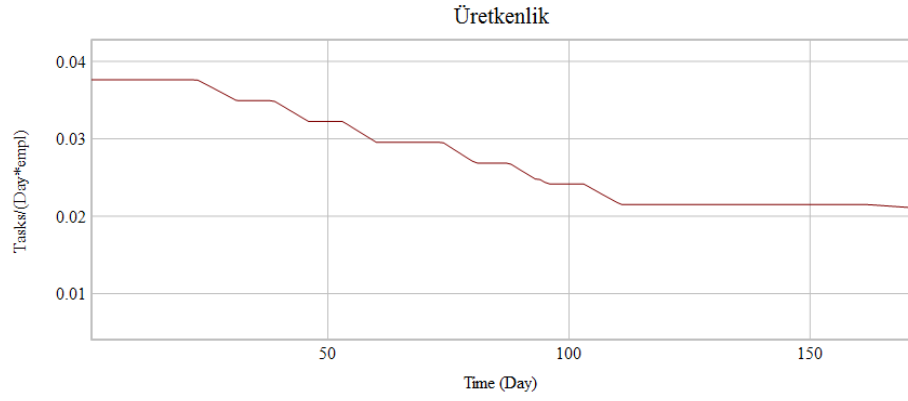
Model oluşturulması düzenli yapılmadığından model testleri sırasında ortaya çıkabilecek hataları bertaraf etmek modelin en baştan kurulmasından daha fazla zamana neden olabilmektedir. Bu tip karmaşık simülasyonlarda değişken ve parametrelerin boyutlandırılmaları, değerleri ve formülasyonları en dıştan başlanarak girilmelidir. Bir başka deyişle dışsal değişkenlerden başlanıp içeri doğru gidilmelidir. Bu yöntemle yapılan girişlerde hata olma olasılığı daha düşük olacaktır.

Model oluşturulmaya başlandığı ve parametre ve değişken boyutlarıyla değerleri VENSIM programına girilmeye başlandığından beri aslında modelin test işlemine başlanmıştır. Her bir değer boyutları belirlenip girildikten sonra programın menülerinden birim kontrolü fonksiyonu kullanılarak boyutlar kontrol edilmiştir. İlk aşamada sorunlar ortaya çıkmış fakat daha sonra bu hatalar giderilerek boyutsal düzeltmeler tamamlanmıştır.

Daha sonra modelin içinde kullanılmayan herhangi bir değişken veya parametre olup olmadığını kontrol etmek için yine program menülerinden model kontrol fonksiyonu kullanılarak modeldeki eksik olmadığından emin olunmuştur.

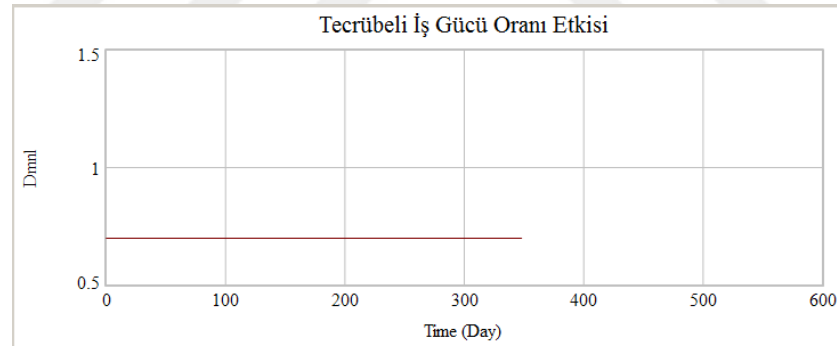
Tamamlanan model boyutsal ve fonksiyonel olarak test edildikten sonra modelin uç şartlar altında nasıl tepki vereceği test edilmiştir. Bu test için modelin sonuçları için önemli olduğu düşünülen parametrelerden rastgele iki parametre seçilerek gerçekleşmesi mümkün olmayan değerler girilip sonuçlara bakılmıştır. Proje adam/gün oranı parametresinin normal şartlarda 1'i geçmesi mümkün değildir. Çünkü bu çalışmada fazla mesai öngörülmediğinden proje süresince çalışanlar ancak gününün yüzde 100'ünü projeye adayabilirler. Uç test şartı için proje adam/gün oranı 5 girilerek üretkenlik değişkeninin grafiğine bakılmıştır.

Aşağıdaki şekilde de görüleceği üzere girilen değere karşı üretkenlik değişkeninin davranışında bir anormallik gözükmemektedir.



Şekil 4.8 Üretkenlik Değişkeninin Uç Şartlar Altındaki Davranışı

İkinci olarak tecrübeli iş gücü oranı değişkeni için uç değer olarak 8 değeri tanımlanmış ve bu girilen değere göre tecrübeli iş gücü oranının etkisi değişkeninin davranışı incelenmiştir. Kurumsal firmalarda bu değer 8 olması maliyet ve yönetilebilirlik açısından çok mümkün değildir. Girilen uç değere göre tecrübeli iş gücü oranının etkisi değişkeninin grafiği Şekil 4.9'daki gibidir. Girilen yüksek değere göre bu değişkenin hata payına etkisinin sıfıra yakın olması beklenirken 0.7 gibi bir değeri olabilecek maksimum değer gibi düşünülebilir.



Şekil 4.9 Tecrübeli İş Gücü Oranının Etkisi Değişkeninin Uç Şartlar Altındaki Davranışı

#### 4.5. Trijenerasyon Sistemi Modelinin Politika Tasarımı

Trijenerasyon sisteminin test aşamalarından sonra çalışmanın amacı olan takvim aşımalarını ve karlılığı incelemek amacıyla senaryolar belirlenerek bu sorunlara neden olan en önemli faktörler belirlenmeye çalışılacaktır. Bu faktörleri belirlemek için öncelikle bir baz senaryoya ihtiyaç vardır. Baz senaryoda göz önünde bulundurulacak değişkenlerin değerleri tablo 4.4’de verilmiştir.

Baz senaryo belirlendikten sonra çeşitli senaryolar belirlenerek sistem çıktılarının değişkenlere göre nasıl tepki verdiği gözlenecektir. Diğer senaryolarla ilgili değişkenlerin verildiği özet tablo aşağıdadır.

Tablo 4-4 Senaryo Değişkenleri Özeti

Değişkenler	Baz Senaryo	1. Altern.	2. Altern.	3. Altern.
Proje Adam/Gün Oranı	1	0.84	0.71	0.71
Tecrübeli İş Gücü Oran	1.5	0.75	0.65	0.65
Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi	Std	Std	Std	2.altr x 1.15
İşgücü Temin Süresi	3 gün	10 gün	10 gün	20 gün
İşgücü Temin Süresi Gecikmesi	Std	Std	Std	10 gün
Mühendislik Hata Payı	Std	Std	Std	2.altr. x 1.2
Altyüklenici Hata Payı	Std	Std	1.altr x 1.15	2.altr x 1.2
Devreye Alma Hata Payı	Std	Std	Std	2.altr x 1.2
Alt Yüklenici Tecrübesi	Std	Std	Std	1.altr x 1.15

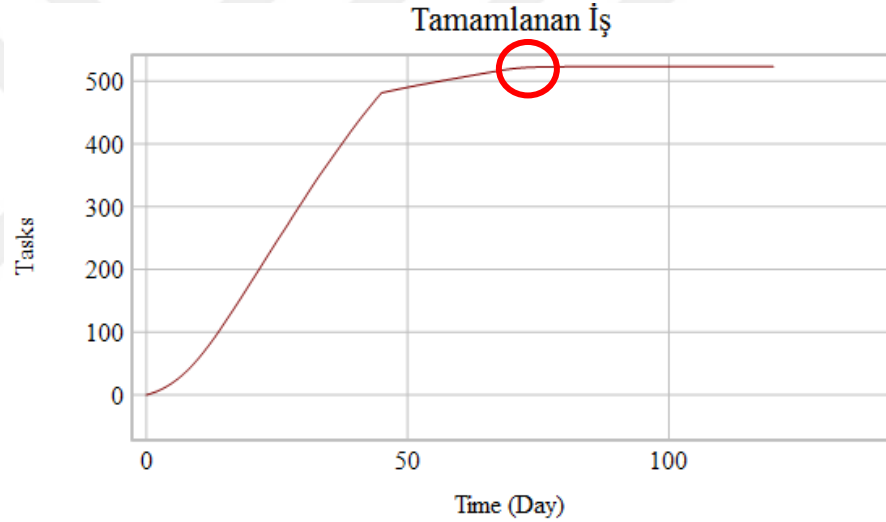
##### 4.5.1. Baz Senaryo Tasarımı

Baz senaryoda projenin ideale en yakın olarak nasıl tamamlandığı incelenecektir. Sözleşme bedeli ve proje başlangıç boyutu da baz senaryo değişkenlerinde belirtilmiştir. Bu değişkenler diğer senaryolarda değiştirilerek karlılık üzerine etkileri incelenecektir. Senaryoya ait değişkenler aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 4-5 Baz Senaryo Değişkenleri

Baz Senaryo Değişkenleri	
Değişken	Değer
Proje Adam/Gün Oranı	1
Tecrübeli İş Gücü Oranı	1,5
İş Gücü Temin Süresi	3 gün
Sözleşme Bedeli	4M Euro
Proje Başlangıç Boyutu	500 Tasks

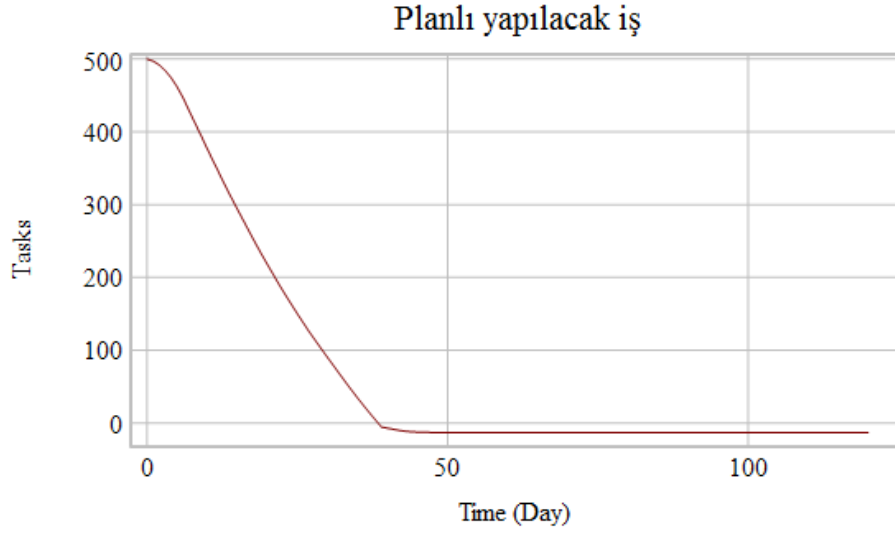
Baz senaryonun simülasyonu sonucu karlılık ve projenin değişimi Şekil 4.10'da belirtilmiştir.



Şekil 4.10 Baz Senaryoda Proje Tamamlanma Eğrisi

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, belirtilen günden itibaren tamamlanan işler sabit duruma gelmiş ve projenin yaklaşık olarak 75 günde tamamlandığı görülmüştür. Yine 500 görev olarak belirlenen proje başlangıç boyutunda tespit edilememiş işler sebebiyle çok ufak bir artış olarak proje sonunda tamamlanan iş sayısı yaklaşık 522 görev olmuştur. Sadece planlı yapılacak 500 görevli planlanmış işlere incelersek aslında projenin başında düşünülen tamamlanma zamanı Şekil 4.11'de verilmiştir.



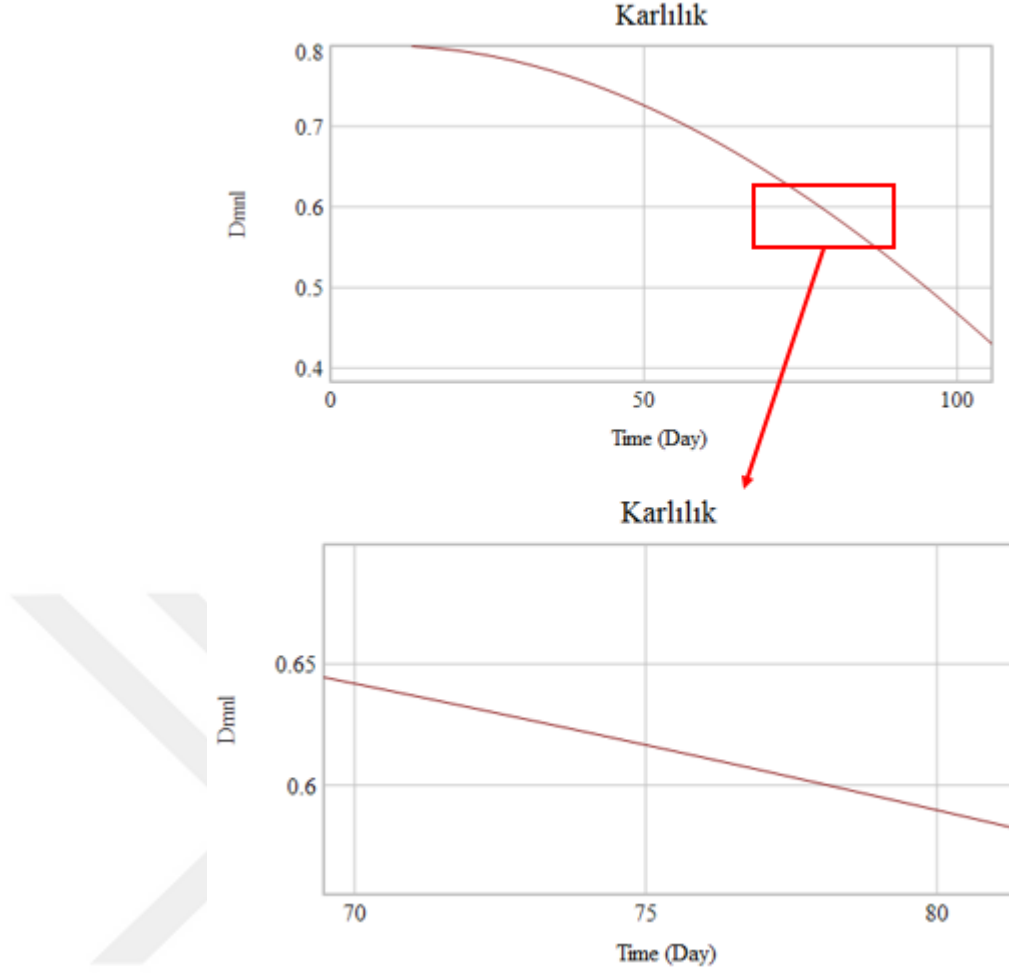


Şekil 4.11 Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Süresi

Görüldüğü gibi tespit edilmemiş işler diyagramı olmadan işlerin yaklaşık 40 günde biteceği düşünülebilir fakat ideale yakın baz senaryoda bile takvimde 35 günlük bir sarkma meydana gelmiştir.

Baz senaryodaki koşullara göre ortaya çıkan karlılık değişimi ise Şekil 4.12’de verilmiştir.

Baz senaryodaki karlılık değişimi grafiği bölüm 4.1.3’te verilen anahtar değişkenlerin davranışları ile tutarlı olup önceki şekilde belirtilen tamamlanma zamanı olan 75 gün için yaklaşık 0.6 civarındadır.



Şekil 4.12 Baz Senaryoda Karlılık Değişimi

#### 4.5.2. Birinci Alternatif Senaryonun Tasarımı

Birinci alternatif senaryoda baz senaryoda verilen değişkenlerin bir kısmı değiştirilecektir. Değiştirilecek olan değişkenlerin sırasıyla;

- Proje Adam/Gün Oranı
- Tecrübeli İş Gücü Oranı
- İş Gücü Temin Süresi

olmasına karar verilmiştir. Diğer değişkenler sabit bırakılarak bu değişkenlerin etkileri incelenecektir.

Proje adam/gün oranı ideal 1 olsa bile aslında hiçbir zaman bu değeri alamayacak bir değişkendir. Bu değer daha önce trijenerasyon tesisi yapan bir

firmanın kendi personeli için kayıt altına aldığı günlük adamsaat değerlerinden 0.84 olarak alınacaktır.

Anahtar teslim enerji tesisleri çözümü sunan firmalarda tecrübeli iş gücü oranı genelde 1'in altındadır. Firmalar tecrübeli insan sayısını çok tutmak yerine az sayıda tecrübeli personelle daha az tecrübeli personeli eğitmeyi tercih etmektedir. Özellikle de sektördeki rekabetin üst düzey olmasından dolayı ekonomik olarak da ikinci seçenek firmalara daha mantıklı gelmektedir. Buna göre birinci alternatif senaryoda alınacak tecrübeli iş gücü oranı değerinin 0.75 olmasına karar verilmiştir.

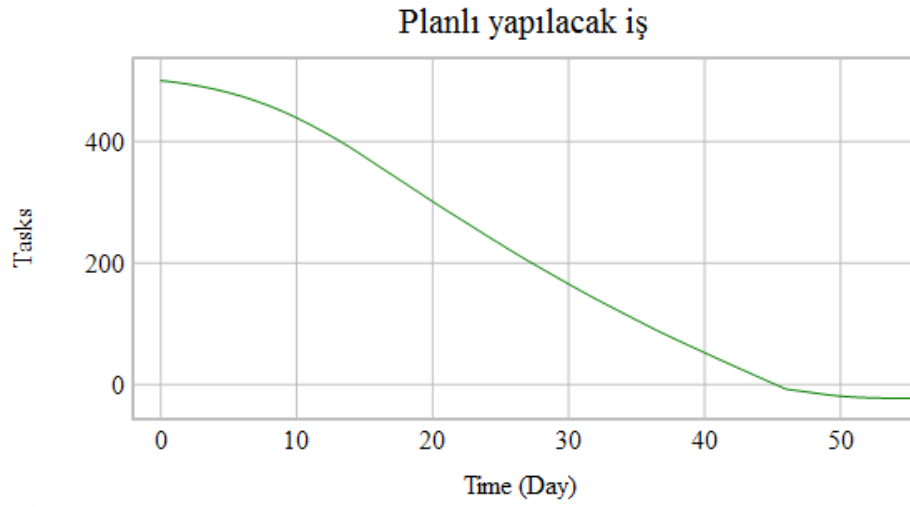
Kurumsal firmalarda iş gücü temin süresi prosedürlerin uzun ve detaylı olmasından dolayı uzun sürebilmektedir. Bu süre mavi yaka alımları için daha kısa sürmektedir. Bu çalışmada iş gücü temin süresi için tek bir değişken tanımlandığından bu değer ortalama olarak girilecektir. Baz senaryoda girilen değer ideal olmakla birlikte çok da gerçekçi değildir. Birinci alternatif senaryoda bu değer yine benzer işi yapan firmanın verilerine bakılarak 10 gün olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki açıklamalara göre birinci alternatif senaryo için ortaya çıkan değişken tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 4-6 Birinci Alternatif Senaryo Değişkenleri

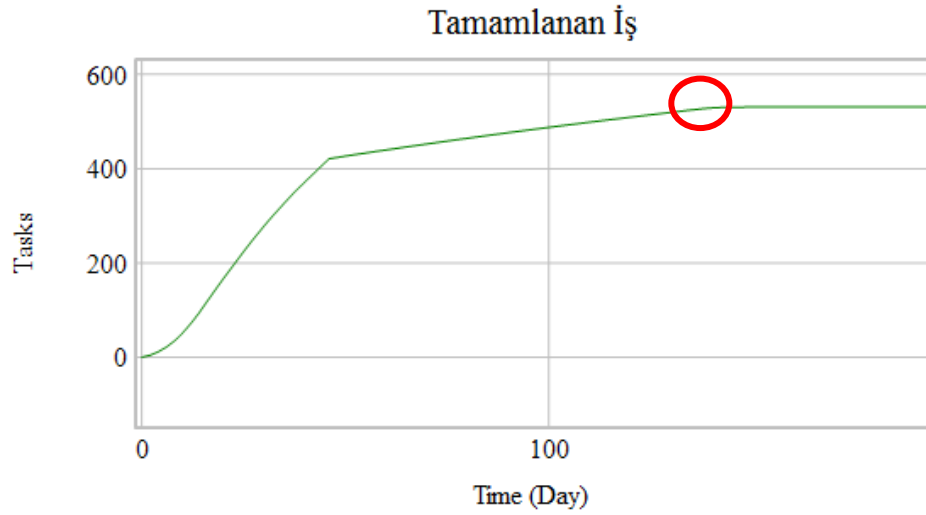
<b>Birinci Alternatif Senaryo Değişkenleri</b>	
<b>Değişken</b>	<b>Değer</b>
Proje Adam/Gün Oranı	0.84
Tecrübeli İş Gücü Oranı	0.75
İş Gücü Temin Süresi	10 gün
Sözleşme Bedeli	4M Euro
Proje Başlangıç Boyutu	500 Tasks

Bu tabloya göre planlı yapılacak işlerin tamamlanma süresi Şekil 4.13'deki gibidir.



Şekil 4.13 Birinci Alternatif Senaryo Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Süresi

Görüldüğü üzere planlı yapılacak işlerin tamamlanma süresi yaklaşık 45 gündür. Grafiğin bundan sonraki kısmı tespit edilememiş işleri göstermektedir. Tespit edilememiş işler ile birlikte ortaya çıkan genel tamamlanma zamanı Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

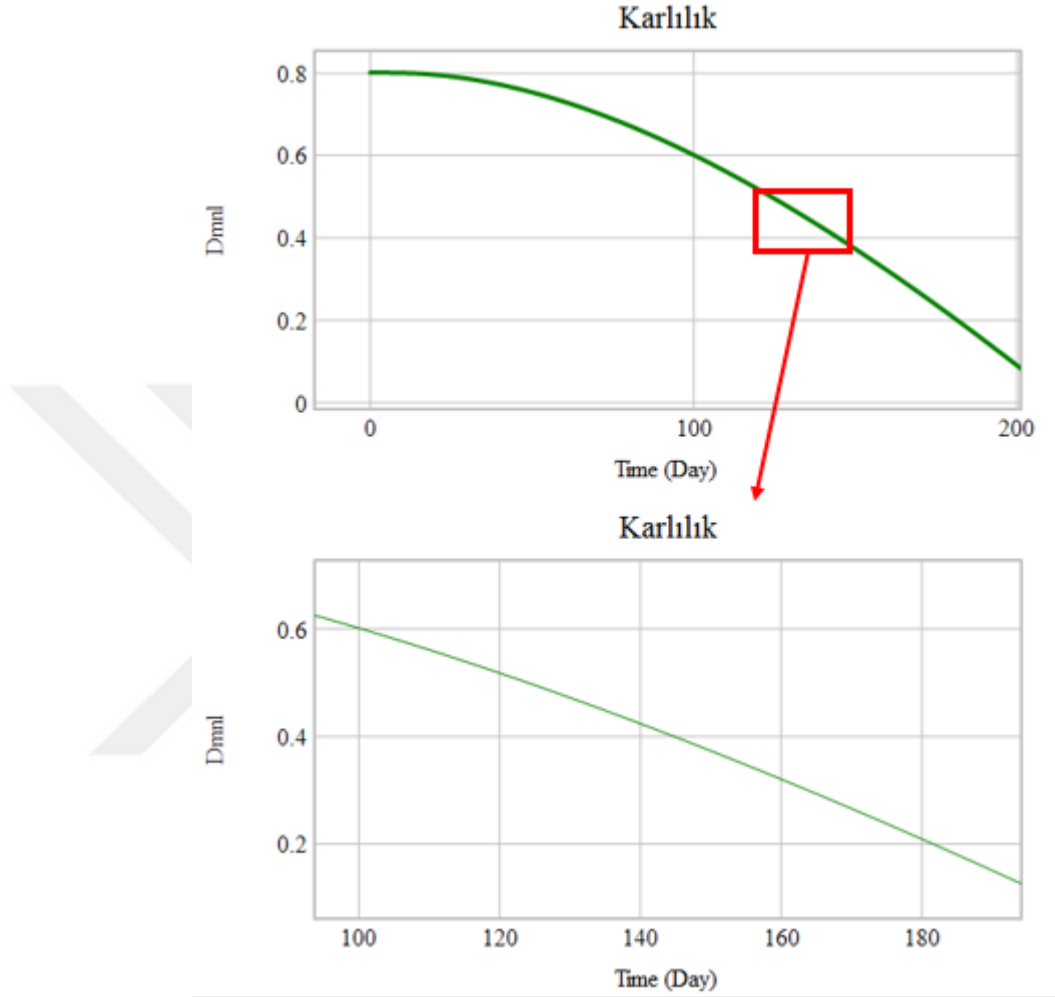


Şekil 4.14 Birinci Alternatif Senaryo Tamamlanan İşler Grafiği

Birinci alternatif senaryodaki değişkenlere göre tespit edilememiş işlerle birlikte tamamlanan işlerin süresi Şekil 4.14'de gösterildiği gibi yaklaşık 140 gün

sürmektedir. Proje başlangıç boyutu ise ilk başta 500 görev olarak belirlense de tekrar edilen işler sebebiyle proje sonunda 531 görev tamamlanmıştır.

Karlılık değişimi ile ilgili grafik ise Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Birinci Alternatif Senaryo Karlılık Değişimi

Proje tamamlanma süresinin 140 gün olduğu düşünüldüğünde buna göre proje sonundaki karlılık da yaklaşık 0.4 olmaktadır.

#### 4.5.3. İkinci Alternatif Senaryonun Tasarımı

Çalışmada örnek olarak alınan sektördeki yoğunlukları önceden tahmin etmek kolay değildir. Firmalar kaynak planlaması yapmakta zorlanmaktadırlar. Ekonomik baskılar ve pazar payı stratejileri sebebiyle de gerçekleşmesi muhtemel potansiyel işlerin koşulları şirket hedefleri ile uyumlu ise kaynak

planlamasına bakılmaksızın işler kabul edilmektedir. Fakat bu kabuller arttıkça proje süresince de sıkıntılar daha fazla olacaktır.

Firmalar kendi iç kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda kendi zaman kayıplarını kapatmak için proje süresince dışarıdan hizmet aldığı işlerde daha tecrübeli alt yükleniciler seçerek kendi risklerini azaltmayı hedefleyebilirler. Bu seçim karlılık da düşmeye sebep olsa da bu seçim yapılırken gerekli risk analizlerinin yapılmış olması gerekmektedir.

İkinci alternatif senaryoda bu durum ele alınacaktır. Bu senaryoda firmanın çok yoğun olduğu ve bu projeye ayıracak kaynağın miktarında ve kalitesinde sorun yaşadığı varsayılacaktır. Fakat önceki senaryonun dışında saha uygulamasını yapacak olan alt yüklenici birinci alternatif senaryoya göre daha tecrübeli seçilmiştir.

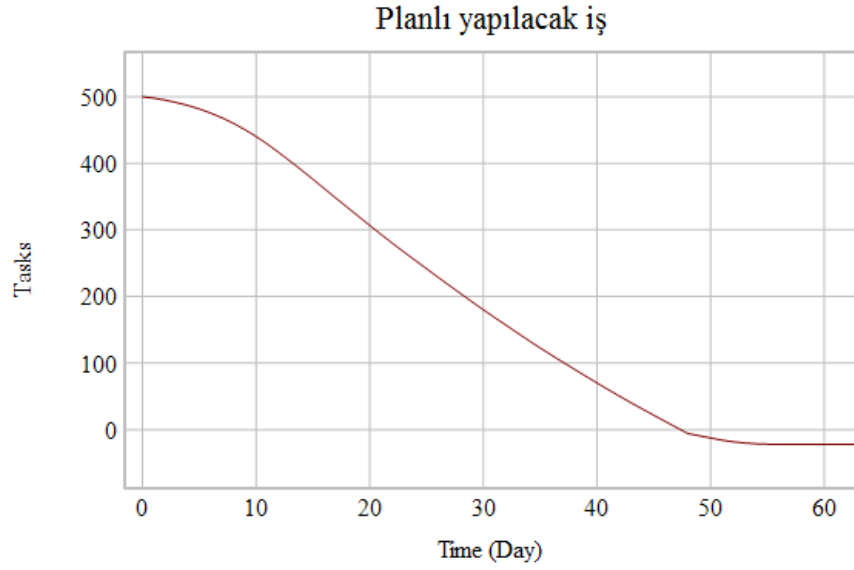
Buna göre bu senaryoda farklılık gösterecek değişkenler ve değerleri tablo 4-6'da verilmiştir.

Tablo 4-7 İkinci Alternatif Senaryo Değişkenleri

<b>İkinci Alternatif Senaryo Değişkenleri</b>	
<b>Değişken</b>	<b>Değer</b>
Proje Adam/Gün Oranı	0.71
Tecrübeli İş Gücü Oranı	0.65
İş Gücü Temin Süresi	10 gün
Alt Yüklenici Tecrübesi	Birinci Alt. Senaryo x 1.15
Sözleşme Bedeli	4M Euro
Proje Başlangıç Boyutu	500 Tasks

Birinci alternatif senaryoda 0.84 olarak verilen proje adam/gün oranı bu senaryoda firmanın projeye ayıracığı zamanın yüzde 15 daha az olacağı varsayılarak 0.71 olarak belirlenmiştir. Tecrübeli iş gücü oranı da 0.65 olarak varsayılmıştır. Bu projede seçilecek alt yüklenici ise birinci alternatif senaryoya göre yüzde 15 daha tecrübeli olacağı düşünülmüştür.

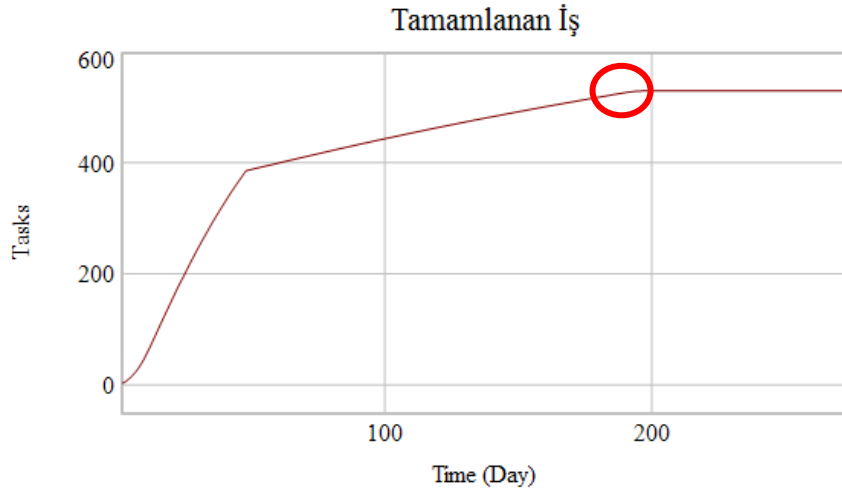
Belirlenen değişkenlere göre ikinci alternatif senaryo için planlı yapılacak işlerin tamamlanma süresi Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 İkinci Alternatif Senaryo Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Grafiği

Belirtilen grafiğe göre planlı yapılacak işlerin tamamlanma zamanı yaklaşık olarak 47 gün olarak gözükmektedir.

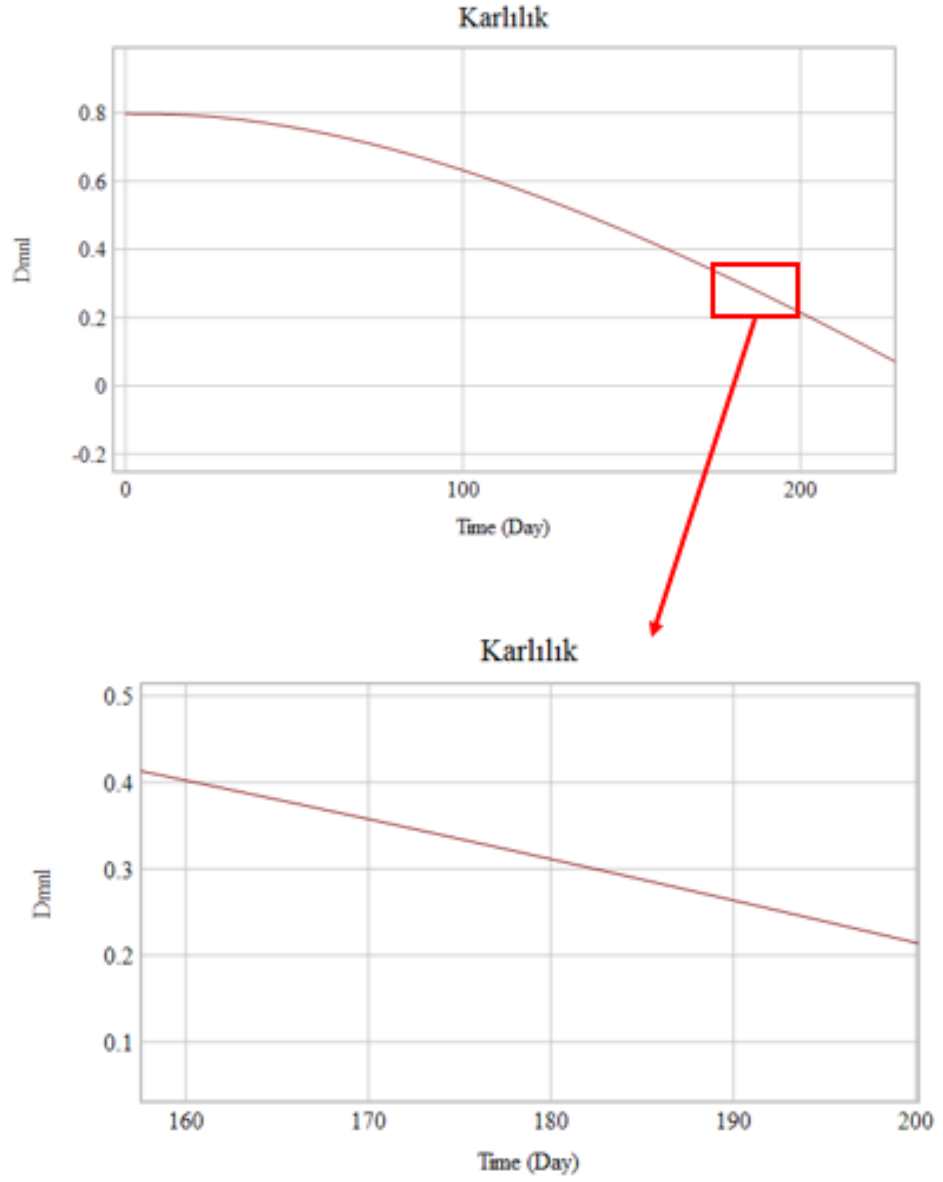
Tespit edilememiş işler ile birlikte ortaya çıkan toplam tamamlanma zamanı da Şekil 4.17'deki gibidir.



Şekil 4.17 İkinci Alternatif Senaryo Tamamlanan İşler Grafiği

Görüldüğü gibi bu senaryodaki işlerin tamamlanması yaklaşık 190 gün sürmüştür. Yine proje bitimindeki tamamlanan iş sayısı yaklaşık olarak 528 görev olarak gözükmektedir.

İkinci alternatif senaryodaki karlılık ise proje sonunda yaklaşık 0.265 olarak ortaya çıkmaktadır. Karlılık değişimine ilişkin grafik Şekil 4.18'deki gibidir.



Şekil 4.18 İkinci Alternatif Senaryo Karlılık Değişimi



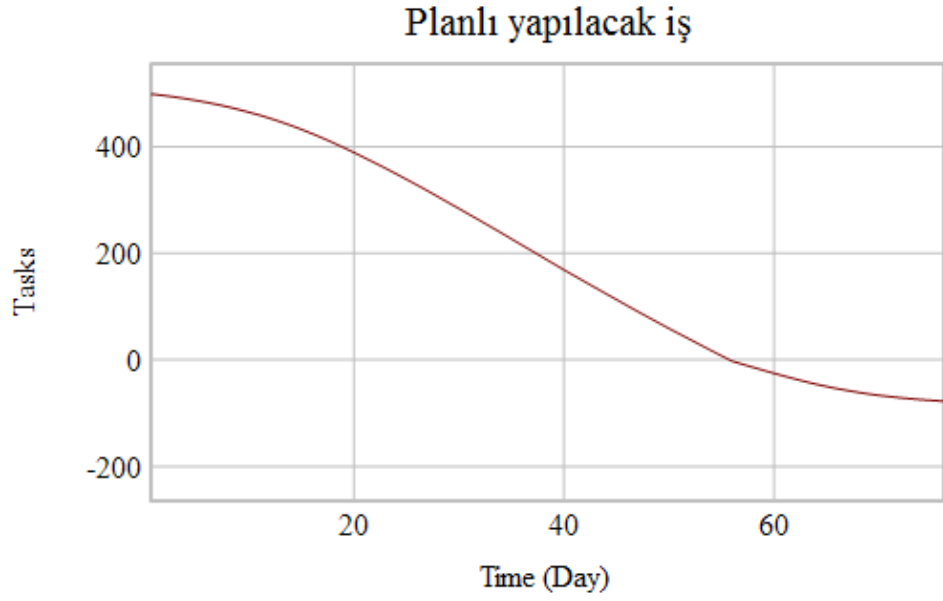
#### 4.5.4. Üçüncü Alternatif Senaryonun Tasarımı

Üçüncü alternatif senaryo diğer senaryolara en kötü senaryo olarak düşünülmüştür. Bu senaryodaki hata üretme oranları artırılmış ve çalışanların daha az tecrübeli olduğu varsayılmıştır. Ayrıca diğer senaryolara ek olarak hata üretme gecikmesi arttırılarak hatanın hemen değil belli bir zaman sonra üretileceği öngörülmüştür. Bu da proje süresini uzatarak karlılığın düşmesine sebep olacaktır. Zamanı kısaltmak için yapılacak en önemli adım iş gücü teminini hızlandırıp projeyi erken bitirmektir. Fakat bu senaryoda işe alım sürecinde de sıkıntı olduğu varsayılmış ve işe alım süreci ile buradaki gecikme de arttırılmıştır. Buna göre oluşan değişken tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 4-8 Üçüncü Alternatif Senaryo Değişkenleri

Üçüncü Alternatif Senaryo Değişkenleri	
Değişken	Değer
Proje Adam/Gün Oranı	0.71
Tecrübeli İş Gücü Oranı	0.65
Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi	İkinci alt. Senaryo x 1.15
İş Gücü Temin Süresi	20 gün
İş Gücü Temini Gecikmesi	10 gün
Mühendislik Hata Payı	İkinci alt. Senaryo x 1.20
Alt Yüklenici Hata Payı	İkinci alt. Senaryo x 1.20
Devreye Alma Hata Payı	İkinci alt. Senaryo x 1.20
Alt Yüklenici Tecrübesi	Birinci Alt. Senaryo x 1.15
Sözleşme Bedeli	4M Euro
Proje Başlangıç Boyutu	500 Tasks

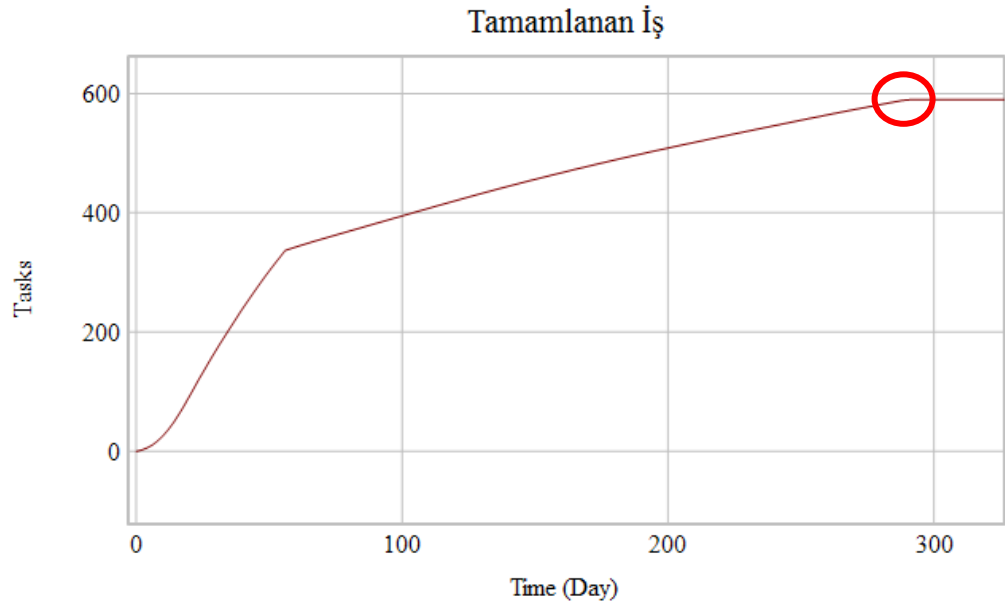
Tablo 4-7’de belirtilen değişkenlerin modele girilip koşturulması sonucu ortaya çıkan planlanan işlerin tamamlanma süresi Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 Üçüncü Alternatif Senaryo Planlı Yapılacak İşlerin Tamamlanma Grafiği

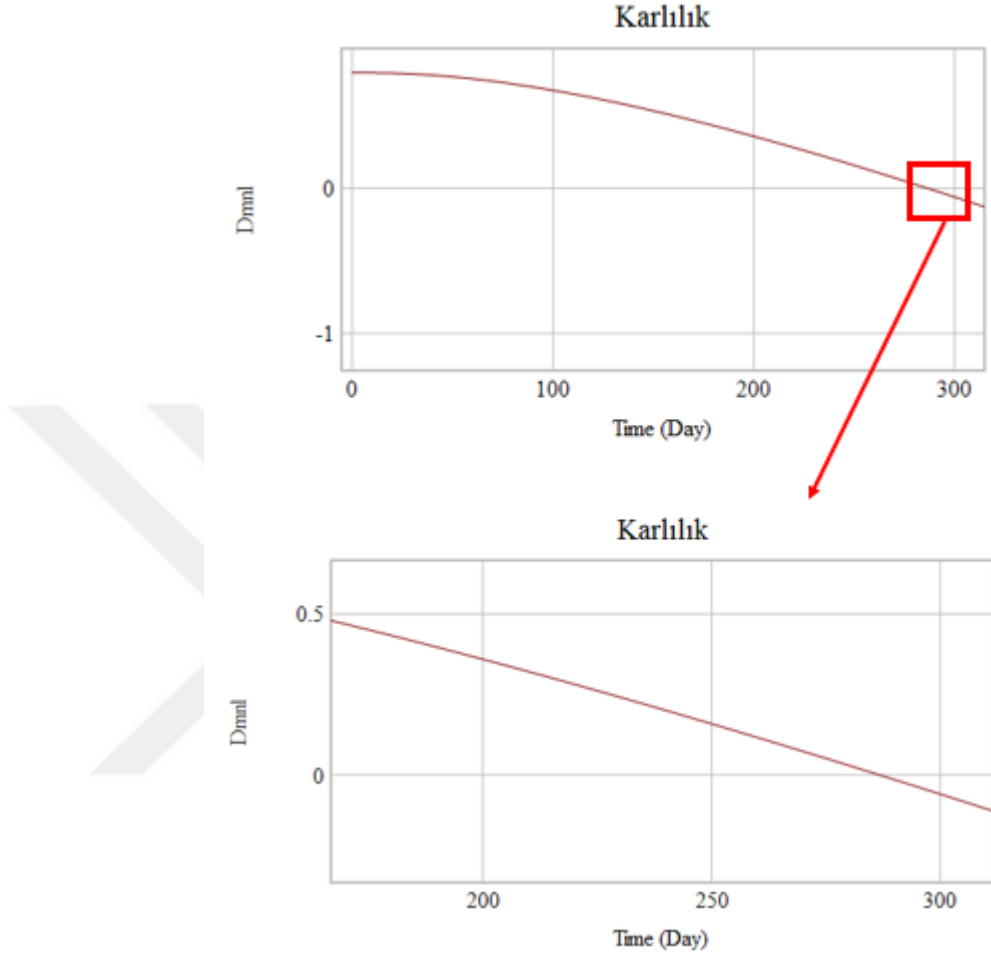
Üçüncü alternatif senaryoda planlı yapılacak işlerin yaklaşık olarak 56 günde bitirildiği gözükmemektedir.

Hatalardan ortaya çıkan yeni tespit edilen işlerin tamamlanmasıyla ortaya çıkan toplam tamamlanma süresi ise Şekil 4.20'de belirtildiği gibi yaklaşık 290 gündür. 290 gün sonunda toplam tamamlanan iş miktarı ise başlangıçta belirtilen proje büyüklüğüne göre 90 görev daha fazla olup 590 görev olmuştur.



Şekil 4.20 Üçüncü Alternatif Senaryo Tamamlanan İşler Grafiği

Diğer senaryolara göre sürenin uzun olması karlılığı da negatif olarak etkileyecektir. Üçünü alternatif senaryonun karlılık değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir.

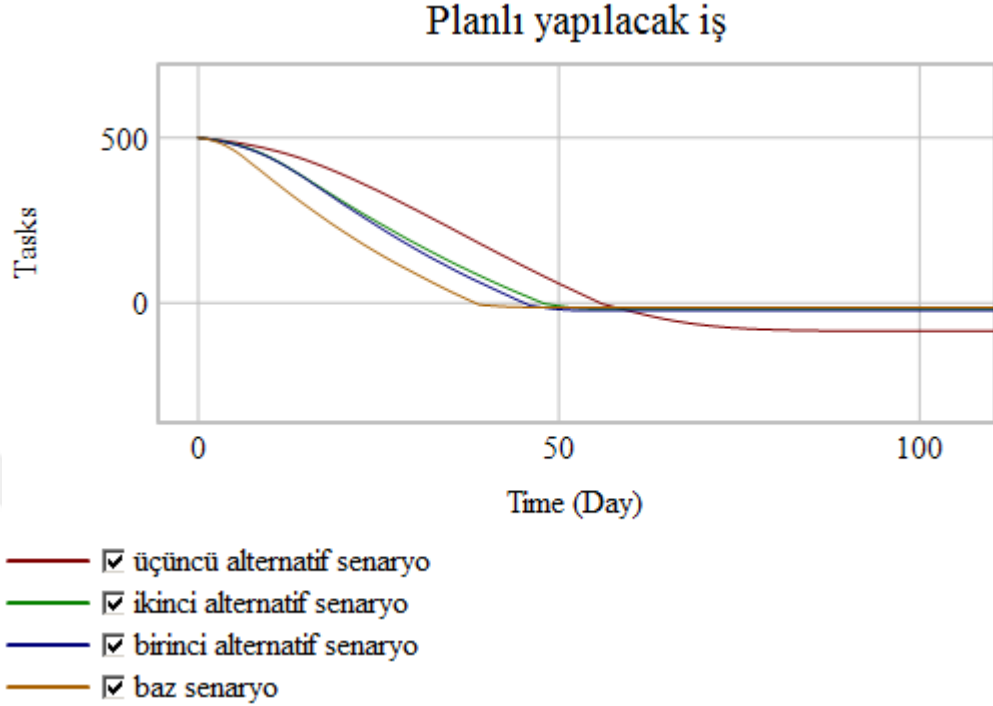


Şekil 4.21 Üçüncü Alternatif Senaryo Karlılık Değişimi

Üçüncü alternatif senaryodaki tecrübeli iş gücü oranı ve hata payının olumsuz etkileri ve hata üretme ile iş gücü teminindeki akışların gecikmeli olması projeyi yüzde 2’ lik bir zarara uğratmıştır.

#### 4.6. Trijenerasyon Sistem Modelinin Politikalarının Değerlendirilmesi

Önceki bölümde tasarlanan senaryolara göre planlı yapılacak işlerin tamamlanma sürelerinin kıyaslama grafiği aşağıdaki gibidir.

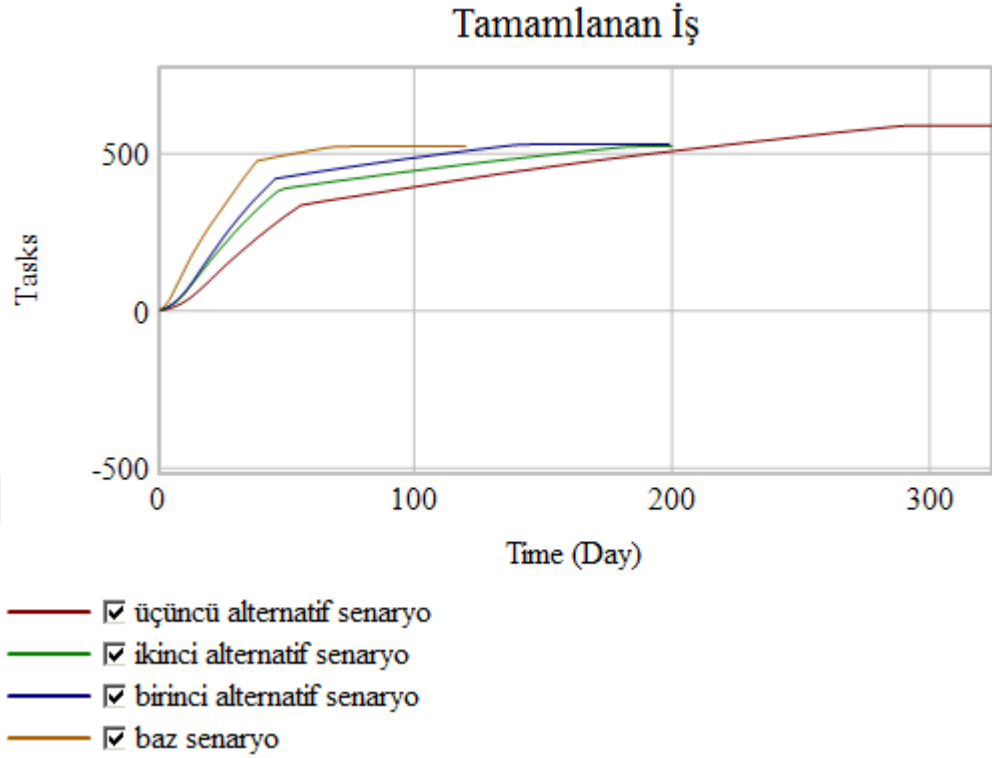


Şekil 4.22 Planlı Yapılacak İşler Grafiğinin Senaryolar Arası Kıyaslaması

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere ideale yakın baz senaryoda planlı işler ilk olarak tamamlanmaktadır. Birinci alternatif ve ikinci alternatif senaryo arasında kayda değer bir fark olmasa da ikinci alternatif senaryo birinci alternatif senaryoya göre biraz daha geç tamamlanmaktadır. Üçüncü alternatif senaryo ise diğer iki alternatif senaryoya göre yaklaşık yüzde 20-25 oranında daha fazla sürede tamamlanmıştır.

Oluşturulan trijenerasyon sistemi modelinde planlı yapılacak işlerin süresine direkt etki eden ilerleme akışıdır. Bu akışı etkileyen üretkenlik değişkeninde ise proje adam/gün oranı ikinci alternatif senaryoda yüzde 15 azalmasına rağmen planlı işlerin tamamlanmasında çok fark olmamaktadır. Üçüncü alternatif senaryoda ise ilerlemeye direkt etki eden iş gücü değişkeninin temin süresi ve gecikmesi arttığından süre olarak daha uzun sürede tamamlanmasına neden olmuştur.

Projedeki tespit edilememiş işler ile birlikte tamamlanan toplam işlerin grafiğine baktığımızda ise baz senaryo ile diğer senaryolar arasında çok ciddi bir gecikme göze çarpmaktadır.

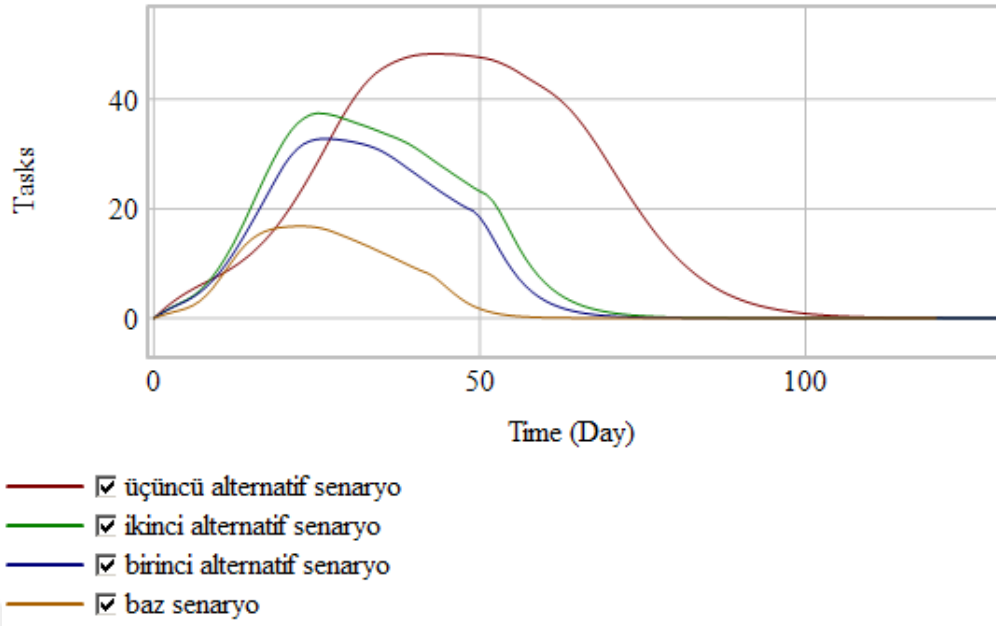


Şekil 4.23 Tamamlanan İşler Grafiğinin Senaryolar Arası Kıyaslaması

Baz senaryonun ideale çok yakın bir senaryo olduğunu düşünürsek, alternatif senaryoların baz senaryodan bu kadar farklılaşmasına sebep olan asıl değişken hata payıdır.

Birinci alternatif senaryo ile ikinci alternatif senaryo arasında da planlı yapılan işlerde çok ufak bir fark olmasına rağmen tamamlanan işlerde bu fark açılmıştır. Üçüncü alternatif senaryoda ise hem hata payının diğer iki alternatif senaryoya göre daha fazla olması hem de tecrübeli iş gücü oranının az olması tespit edilememiş işlerin, dolayısıyla da yeni tespit edilen işlerin miktarını arttırmıştır. Burada tespit edilememiş işlerin miktarı önem kazanmaktadır. Üç alternatif için de tespit edilememiş işlerin miktarları ile grafik Şekil 4.24'de verilmiştir. Görüldüğü üzere ikinci alternatifteki tespit edilememiş işler birinci alternatife göre yaklaşık olarak %6,7 oranında fazladır. Bu da sonuç olarak tamamlanan iş miktarını da arttıracığından ikinci alternatifin tamamlanma süresinin daha geç olmasına neden olmaktadır.

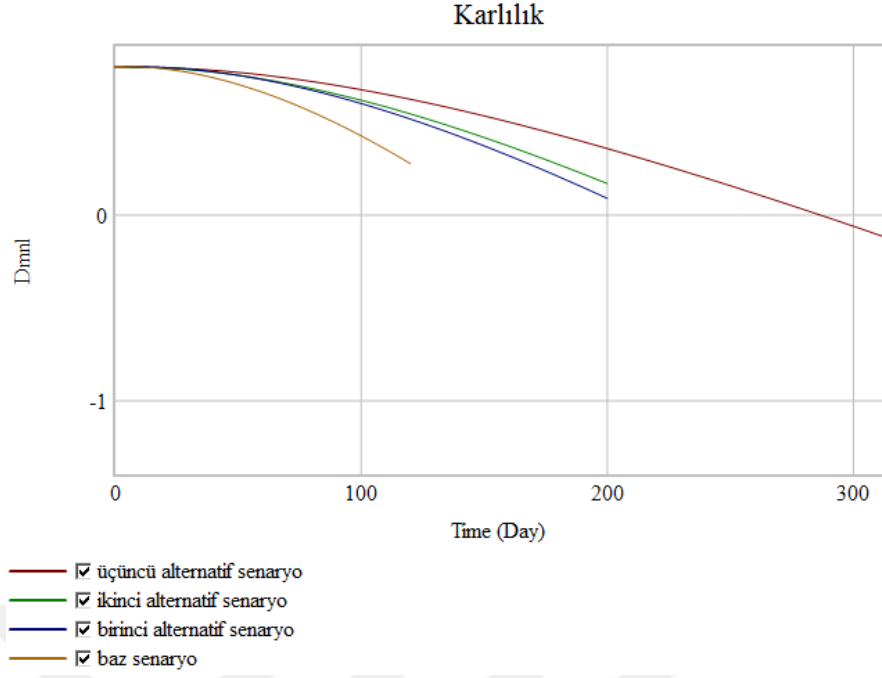
## Tespit Edilememiş İşler



Şekil 4.24 Alternatif Senaryoların Tespit Edilememiş İşler Grafiği

İkinci alternatif senaryo gereği proje adam/gün oranı ve tecrübeli iş gücü oranı azaltılmış fakat bu kayıpları karşılamak amacıyla alt yüklenici tecrübesi arttırılmıştır. Şekil 4.24’ de görüldüğü üzere alt yükleniciyi tecrübesinin arttırılması bu alternatif senaryonun birinci alternatif senaryoyu yakalamasına yardımcı olamamıştır. Bu da proje/adam gün oranı ve tecrübeli iş gücü oranının proje süresindeki etkisini ortaya koymaktadır. Üçüncü alternatif senaryoda ise her şeyin kötü gitmesi durumunda proje süresinin ne kadar uzayabileceği gözükmektedir.

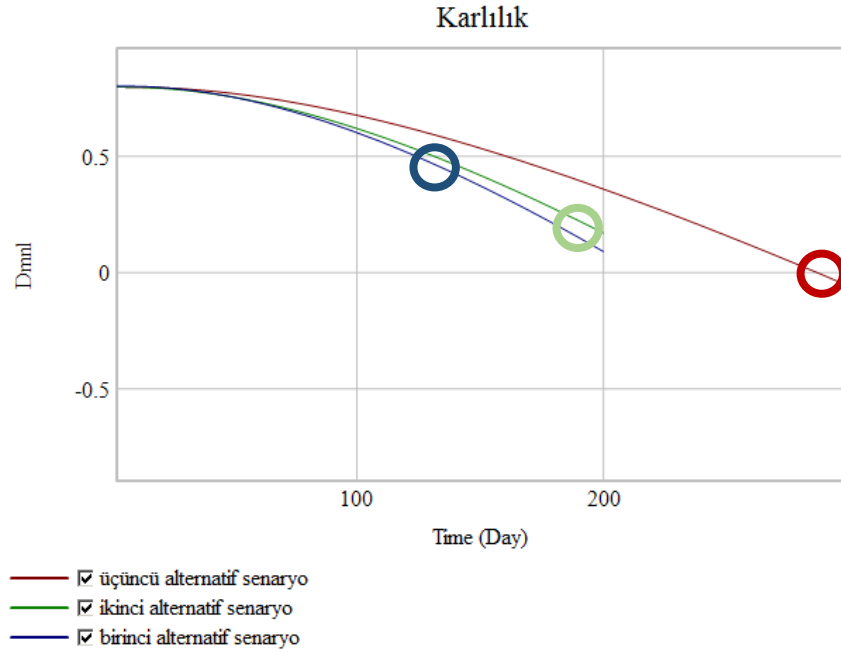
Tasarlanan senaryolar arası karlılık karşılaştırması ise Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25 Karlılık Değişiminin Senaryolar Arası Karşılaştırılması

Baz senaryodaki karlılık ideale yakın bir model olduğundan birinci ve ikinci alternatiflere göre çok yüksektir. Bunun en büyük sebebi projede yapılan tüm işlerin diğer alternatiflere göre çok daha kısa sürmesidir.

Birinci alternatifle, ikinci alternatifin karlılık eğrilerinin trendleri birbirine çok yakın gibi gözükse de aslında iki alternatif arasındaki proje sürelerinde farklılıklar olduğundan gerçek karşılaştırmayı aşağıdaki şekilde görebiliriz.



Şekil 4.26 Alternatif Senaryolar Karlılık Değişimleri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada belli şartlar ve kısıtlar altında örnek bir anahtar teslim trijenerasyon projesinin sistem dinamikleri modeli oluşturularak proje başlangıcında, ilerleyen dönemlerde ortaya çıkabilecek takvim ve bütçe aşımalarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda bir baz senaryo belirlenmiştir. Bu baz senaryonun VENSİM programındaki simülasyonu sonucu ortaya çıkan bütçe ve takvim eğrileri bölüm 4.1.3'te verilen anahtar değişkenlerin davranışları ile tutarlıdır. Bu baz senaryoya göre iki adet alternatif senaryo oluşturulmuş ve ikisi arasındaki farklılıklar analiz edilmiştir.

Genel olarak projelerde görev alacak personelin o projeye odaklanması ve personelin bu işteki tecrübesinin önemi bu aşımaları etkileyen en önemli faktörler olarak ortaya çıkmıştır. İkinci alternatif senaryoda personelin projeye ayırdığı vakit ve tecrübe oranı az olsa da alt yüklenici tecrübesi artırılarak aşımaların azaltılması düşünülmüş fakat bu hamle birincinin sonuçlarına ulaşacak kadar etki etmemiştir.

Trijenerasyon projelerindeki senaryoların simülasyon sonuçlarında görüldüğü üzere özellikle tecrübeli iş gücünün ve buna bağlı olarak hata paylarının proje takvimindeki etkisi oldukça fazladır. Ayrıca proje çalışanlarının projeye odaklanma oranı olarak tanımlanan proje adam/gün oranı da takvim aşımına direkt olarak etki etmektedir. Karlılık oranları da takvim aşımalarından direkt olarak etkilenmektedir. Senaryo sonuçlarına baktığımızda en uzun sürede tamamlanan senaryodaki karlılık değeri diğer senaryolara göre en düşüktür.

Sonuç olarak bu çalışmayla sistem dinamikleri yaklaşımı ile trijenerasyon sistemleri gibi karmaşık ve riskli projelerde, daha ilk aşamalardan projenin bütününe bakılarak ilerisi için öngörülerin yapılabileceği ve çıkan sonuçlara göre gerekli tedbirlerin en başından alınarak daha sonradan ortaya çıkabilecek maliyetlerin önüne geçilebileceği gösterilmiştir.

Trijenerasyon veya bu tesislere benzer anahtar teslim projelerin performanslarını etkileyen değişkenlerin hepsi bu modelde simule edilememiştir. İlerleyen projelerde çalışanların morali, fazla mesai gereklilikleri ve bunun mali sonuçları,



proje yöneticisinin yetenekleri gibi değişkenler de modele dahil edilerek daha geniş bir model oluşturulabilir. Dolayısıyla İleride çalışılacak benzer projelerde bu model genişletilerek daha efektif ve ayrıntılı sonuçlar alınabilir.



## KAYNAKLAR

- Albin, S. (1997, June 30). [https://ocw.mit.edu: https://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/readings/building.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/readings/building.pdf) adresinden alındı
- Arda, K. (2012). Sistem Dinamikleri Yaklaşımlı Proje Yönetimi İçin Karar Destek Sistemi: Savunma Sanayi Örneği. *Doktora Tezi*. Ankara: Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji Yönetimi Ana Bilim Dalı.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A Definition of System Thinking: A System Approach. *Procedia Computer Science 44*, 669-678.
- Çelik, B., Erkenekli, M., Şeşen, H., Yılmaz, C., Polat, M., Sığı, Ü., & Tabak, A. (2011). Sistem Dinamikleri. B. Çelik, M. Erkenekli, H. Şeşen, C. Yılmaz, M. Polat, Ü. Sığı, & A. Tabak içinde, *Sistem Dinamikleri* (s. 279). Ankara: Detay Yayıncılık.
- Eren Şenaras, A., & Sezen, K. (2017). System Thinking. *Journal of Life Economics*, 39-58.
- Gül, Ö., & Beltir, V. (2014). EMO. Elektrik Mühendisleri Odası Resmi Web Sayfası: [http://www.emo.org.tr/ekler/d0a908a45fb9df6\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/d0a908a45fb9df6_ek.pdf) adresinden alındı
- Jiang, H. (2013). A System Dynamics Model for Manpower and Technology Implementation Trade-Off and Cost Estimation. *Doctoral Dissertation*.
- Kermanshachi, S., Thakur, R., & Govan, P. (2018). Discovering the Impact of Late Change Orders and Rework on Labor Productivity: A Water Treatment Case Study Analysis Using System Dynamic Modeling. *Construction Research Congress*, (s. 691-701).
- Khaznadi, M., Kaveh, A., Alipour, M., & Mohammadi, R. K. (2017). Assessment of Labor Productivity in Construction Projects using System Dynamics Approach. *Scientia Iranica 24*, 2684-2695.
- Lyneis, J. (2012). [ocw.mit.edu/. ocw.mit.edu/: https://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-36-system-project-management-fall-2012/lecture-notes/MITESD\\_36F12\\_Lec07.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-36-system-project-management-fall-2012/lecture-notes/MITESD_36F12_Lec07.pdf) adresinden alındı
- Lyneis, J. M., Cooper, K. G., & Els, S. A. (2001). Strategic Management of Complex Projects: A Case Study of System Dynamics. *System Dynamics Review Vol.17 No.3*, 237-260.
- Meadows, D. H. (2009). *Thinking in A Systems: A Primer*. London: Earthscan.
- Nasirzadeh, F., & Nojedehi, P. (2013). Dynamic Modeling of Labor Productivity in Construction Projects. *International Journal of Project Management 31*, 903-911.
- Özel, A. (2013, October 19). [https://www.slideshare.net/: https://www.slideshare.net/Aytekinzel/proje-yonetimi-notlar](https://www.slideshare.net/Aytekinzel/proje-yonetimi-notlar) adresinden alındı

Reichelt, K., & Lyneis, J. (1999). The dynamics of project performance: benchmarking the drivers of cost and schedule overrun. *European Management Journal*, 135-150.

Rodrigues, A., & Bowers, J. (1996). The Role of System Dynamics in Project Management. *International Journal of Project Management Vol.14*, 213-220.

Rumeser, D., & Margaret, E. (2016). Key Challenges of System Dynamics Implementation in Project Management. *3rd International Conference on New Challenges in Management and Organization: Organization and Leadership* (s. 22-30). Dubai: Procedia-Social and Behavioral Sciences.



## EK-1 SİMULASYON MODELİNDEKİ DEĞİŞKEN VE PARAMETRELERİN FONKSİYON VE DEĞERLERİ

(01) Alt Yüklenici Hata Payı= $0.25 * \text{Alt Yüklenici Tecrübe Etkisi}$

Units: Dmnl

(02) Alt Yüklenici Tecrübe Etkisi=IF THEN ELSE(Alt Yüklenici Tecrübesi $\leq$ 5, 1.4, 0.6)

Units: Dmnl

(03) Alt Yüklenici Tecrübesi=8

Units: Year

(04) Ana Ekipman Maliyeti=500000

Units: Euro

(05) Ana işlerde kullanılacak iş gücü=Faal İş gücü\*0.8

Units: empl

(06) Baskı= $0.3 * \text{Sözleşme Bedeli Etkisi} * \text{Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi} * \text{Karlılığın üretkenliğe etkisi}$

Units: Dmnl

(07) Başlangıç boyutu=500

Units: Tasks

(08) Birim Adamgün Maliyeti=120

Units: Euro/(Day\*empl)

(09) Çalışan Açığı=Talep Edilen İş Gücü Miktarı-İş Gücü

Units: empl

(10) Çalışan Maliyetleri=Faal İş gücü\*Proje Adamgün Maliyeti

Units: Euro/Day

(11) Değişken Maliyetler=Çalışan Maliyetleri+Sözleşme Ceza Bedeli

Units: Euro/Day

(12) Devreye Alma Hata Payı=0.25\*IF THEN ELSE(Mühendislik Hata Payı>=0.25, 1.2, 0.85)\*Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi

Units: Dmnl

(13) Doğru İş payı=1-Hata Payı

Units: Dmnl

(14) Faal İş gücü=IF THEN ELSE( İş Gücü<=350, İş Gücü, 350)

Units: empl

(15) FINAL TIME = 200

Units: Day

The final time for the simulation.

(16) Gecikme=5

Units: Day

(17) Gecikme Cezası Oranı=1/1000

Units: 1/Day

(18) "Gecikme-2"=7

Units: Day

(19) "Gecikme-3"=7

Units: Day

(20) "Gecikme-4"=60

Units: Day

(21) Gerekli Toplam İş gücü Miktarı=Yapılacak toplam iş miktarı/Üretkenlik

Units: Day\*empl

(22) Günlük Gecikme Cezası=Sözleşme Bedeli\*Gecikme Cezası Oranı

Units: Euro/Day

(23) Hata Payı=(0.3\*Mühendislik Hata Payı)+(0.3\*Alt Yüklenici Hata Payı)+(0.15\*Baskı)+(0.25\*Devreye Alma Hata Payı)

Units: Dmnl

(24) Hata Üretme=DELAY3( IF THEN ELSE(projenin tamamlanması=1, 0, Hata Payı\*Ana işlerde kullanılacak iş gücü\*Ptansiyel üretkenlik), Gecikme)

Units: Tasks/Day

(25) INITIAL TIME = 0

Units: Day

The initial time for the simulation.

(26) İşlerin Tespiti=IF THEN ELSE(Tespit için harcanan zaman<=0, 0, Tespit Edilememiş İşler/Tespit için harcanan zaman)

Units: Tasks/Day

(27) İlerleme=IF THEN ELSE(projenin tamamlanması, 0, Ana işlerde kullanılacak iş gücü\*Üretkenlik)

Units: Tasks/Day

(28) İş Gücü= INTEG (İş Gücü Temini,50)

Units: empl

(29) İş Gücü Temin Süresi=10

Units: Day

(30) İş Gücü Temini=DELAY3( Çalışan Açığı/İş Gücü Temin Süresi, "Gecikme-3")

Units: empl/Day

(31) Kalan Zaman=Tamamlanma Zamanı-Time

Units: Day

(32) Karlılığın üretkenliğe etkisi=IF THEN ELSE(Karlılık<=0.1, 1.25, 0.9)

Units: Dmnl

(33) Karlılık=DELAY1( (Sözleşme Bedeli-Maliyetler)/Sözleşme Bedeli, "Gecikme-4")

Units: Dmnl

(34) Maliyet Değişimi=Değişken Maliyetler

Units: Euro/Day

(35) Maliyetler= INTEG (Maliyet Değişimi,Sabit Maliyetler)

Units: Euro

(36) Mühendislik Hata Payı=0.25\*Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi

Units: Dmnl

(37) Ortaya Çıkan İş Gücü Miktarı=Gerekli Toplam İş gücü Miktarı/Kalan Zaman

Units: empl

(38) Ortaya Çıkan Tamamlanma Zamanı=Time+Zaman İhtiyacı

Units: Day

(39) Planlanan Tamamlanma Süresi=55

Units: Day

(40) Planlı yapılacak iş= INTEG (-Hata Üretme-İlerleme,Başlangç boyutu)

Units: Tasks

(41) "Proje adam/gün oranı "=1

Units: Dmnl

(42) Proje Adamgün Maliyeti=Birim Adamgün Maliyeti\*(2-Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi)

Units: Euro/(Day\*empl)

(43) Proje Alt Yüklenici Maliyetleri=Standart Alt Yüklenici Maliyeti\*(2-Alt Yüklenici Tecrübe Etkisi)

Units: Euro

(44) projenin tamamlanması=IF THEN ELSE(Planlı yapılacak iş<=0, 1, 0)

Units: Dmnl

(45) Ptansiyel üretkenlik = WITH LOOKUP (Tamamlandığı Düşünülen iş oranı,[(0,0)-

(1.5,0.1)],(0,0.07),(0.1,0.07),(0.15,0.065),(0.2,0.065),(0.25,0.06),(0.3,0.06),(0.35,0.055),(0.4,0.055),(0.45,0.055),(0.5,0.05),(0.55,0.05),(0.6,0.045),(0.65,0.045),(0.7,0.04),(0.8,0.04),(0.9,0.035),(1,0.03),(1.5,0.02

)))

Units: Tasks/(Day\*empl)

\!Tamalandığı Düşünülen İş oranı

(46) Sabit Maliyetler=Proje Alt Yüklenici Maliyetleri+Ana Ekipman Maliyeti+Yardımcı Ekipman Maliyeti

Units: Euro

(47) SAVEPER = TIME STEP

Units: Day [0,?]

The frequency with which output is stored.

(48) Sözleşme Bedeli=4e+006

Units: Euro

(49) Sözleşme Bedeli Etkisi=IF THEN ELSE(Sözleşme Bedeli<=5e+006, 0.8, 0.5)

Units: Dmnl

(50) Sözleşme Ceza Bedeli=IF THEN ELSE(Time>150, Günlük Gecikme Cezası, 0)

Units: Euro/Day

(51) Standart Alt Yüklenici Maliyeti=150000

Units: Euro



(52) Takvim Düzeltme Süresi=40

Units: Day

(53) Talep Edilen İş Gücü Miktarı=Ortaya Çıkan İş Gücü Miktarı+İş Gücü

Units: empl

(54) Tamamlanan İş= INTEG (İlerleme+Tespit Edilen İşlerin tamamlanması,0)

Units: Tasks

(55) Tamamlandığı Düşünülen iş oranı=(Tamamlanan İş/Başlangıç boyutu)\*IF THEN ELSE(Planlı yapılacak iş<100, 0.99, 0.999)

Units: Dmnl

(56) Tamamlanma Zamanı= INTEG (Tamamlanma Zamanı Değişim Oranı,Planlanan Tamamlanma Süresi)

Units: Day

(57) Tamamlanma Zamanı Değişim Oranı=Ortaya Çıkan Tamamlanma Zamanı/Takvim Düzeltme Süresi

Units: Dmnl

(58) Tecrübeli İş Gücü Oranı=1.5

Units: Dmnl

(59) Tecrübeli İş Gücü Oranı Etkisi=IF THEN ELSE(Tecrübeli İş Gücü Oranı>=1, 0.6, 1.4)

Units: Dmnl

(60) Tespit Edilememiş İşler= INTEG (Hata Üretme-İşlerin Tespiti,0)

Units: Tasks

(61) Tespit Edilen İş= INTEG (IF THEN ELSE(Tespit Edilememiş İşler<=0, 0, İşlerin Tespiti-Tespit Edilen İşlerin tamamlanması),0)

Units: Tasks

(62) Tespit Edilen İşlerin tamamlanması=DELAY3( IF THEN ELSE(Tespit Edilen İş<=0, 0, yeni tespit edilen işlerin üretkenliği\*Yeni tespit edilen işler için gerekli iş gücü), "Gecikme-2")

Units: Tasks/Day

(63) Tespit için harcanan zaman = WITH LOOKUP (Tamamlandığı Düşünülen iş oranı, ((0,0) (1.5,10)],(0,10),(0.1,10),(0.2,10),(0.3,10),(0.4,8),(0.5,7.5),(0.6,7.5),(0.7,6.5),(0.8,6),(0.9,5),(1,4),(1.2,3)))

Units: Day

(64) TIME STEP = 1

Units: Day [0,?]

The time step for the simulation.

(65) Üretkenlik=IF THEN ELSE("Proje adam/gün oranı">1, Ptansiyel üretkenlik\*Doğru İş payı, Ptansiyel üretkenlik\*Doğru İş payı\*"Proje adam/gün oranı")

Units: Tasks/(Day\*empl)

(66) Yapılacak toplam iş miktarı=ABS( Planlı yapılacak iş+Tespit Edilen İş)

Units: Tasks

(67) Yardımcı Ekipman Maliyeti=100000

Units: Euro

(68) Yeni tespit edilen işler için gerekli iş gücü=Faal İş gücü\*0.2

Units: empl

(69) yeni tespit edilen işlerin üretkenliği=IF THEN ELSE(Tespit Edilen İş>Başlangç boyutu, Üretkenlik\*0.5, Üretkenlik\*0.8)

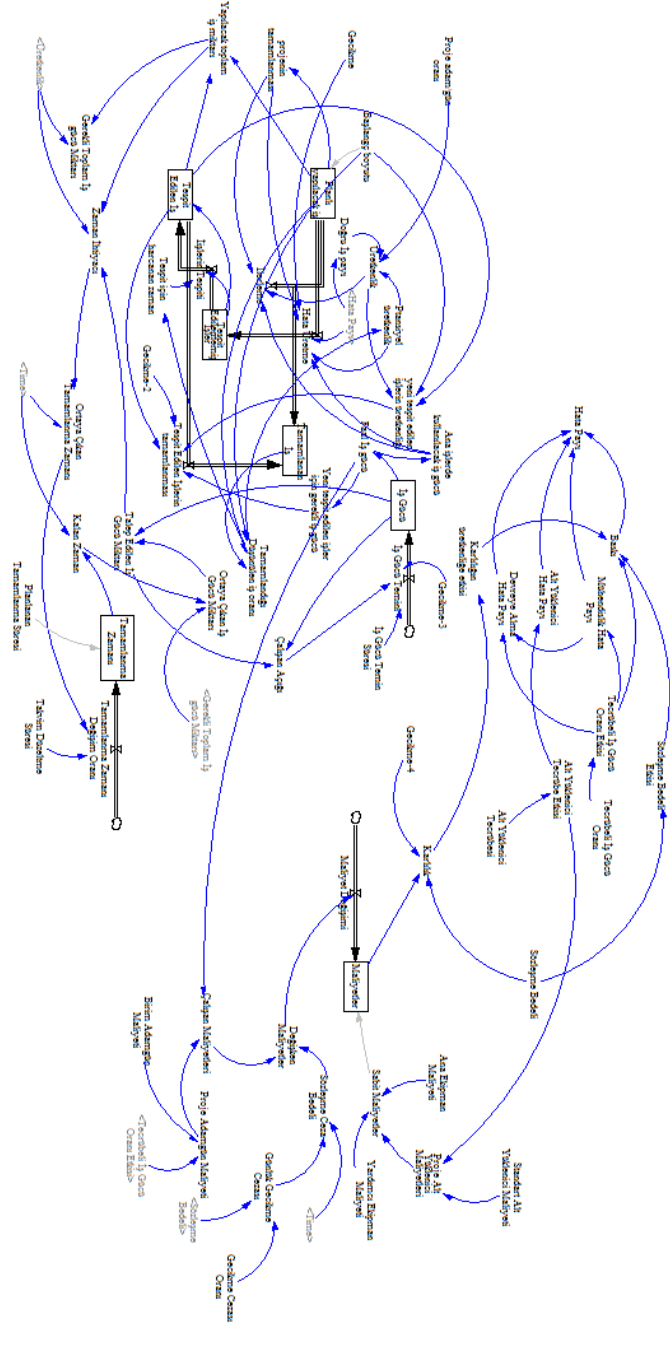
Units: Tasks/(Day\*empl)

(70) Zaman İhtiyacı=Yapılacak toplam iş miktarı/(Üretkenlik\*Talep Edilen İş Gücü Miktarı)

Units: Day



## EK-2 ÖRNEK TRİJENERASYON PROJESİ SİSTEM DİNAMİKLERİ MODELİNİN TAM HALİ



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı / Adı : ELCI / Ali Firat  
Doğum Yeri / Tarihi : 01.01.1989 / Erzurum

### İLETİŞİM BİLGİLERİ

E - Mail : [fratelci@gmail.com](mailto:fratelci@gmail.com)  
Telefon : +905072907002

### EĞİTİM BİLGİLERİ

Öğrenim : 2017-2018: İstanbul AREL Üniversitesi  
Mühendislik Yönetimi, M.Sc  
2015 – 2017: İstanbul Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik Yönetimi, M.Sc  
2006 - 2011: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik  
Mühendisliği B.Sc.  
2002 – 2006: Pertevniyal Anadolu Lisesi

Yabancı Diller : İngilizce (İleri)

### İŞ DENEYİMLERİ

**Aralık 2016-  
SİSTEMLERİ.** : **BORUSAN MAKİNE VE GÜÇ**  
Pozisyon: Elektrik Dizayn Mühendisi

**Aralık 2015-Aralık 2016** : **EXACONS PROJE VE TAAHHÜT A.Ş.**  
Pozisyon: Elektrik, Enstruman ve Otomasyon  
Mühendisi

**Şubat 2013 – Aralık 2015** : **VERWATER EMEA B.V. TÜRKİYE OFİSİ**

Pozisyon: Elektrik & Enstruman Mühendisi

**Ocak 2012 - Şubat 2013**

**: ÇAÜLA GRUP ELEKTRİK A.Ş.**

Pozisyon: Elektrik Saha Mühendisi

**March 2011 - Oct 2011**

**: E+M ELEKTRİK SERVİS HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.**

Pozisyon: Proje Dizayn Mühendisi

**Sertifikalar**

**Nisan 2011** Orta Gerilim Trafo Merkezi Projelendirme- Yıldız Teknik Üniversitesi

**Mays 2016** Yenilenebilir Enerji Teknolojileri- İstanbul Teknik Üniversitesi

**Ekim 2017** 6 Sigma Yeşil Kuşak Sertifikasyonu- Borusan Akademi

**Mayıs 2017** Proje Yönetimi- İstanbul Kurumsal Gelişim