

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÇOK AMAÇLI KAYNAK KISITLI ÇOKLU PROJE ÇİZELGELEME
PROBLEMİ VE BİR TRAKTÖR FİRMASINDA UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemre Nur DİNÇKURT BİÇER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÇOK AMAÇLI KAYNAK KISITLI ÇOKLU PROJE ÇİZELGELEME
PROBLEMİ VE BİR TRAKTÖR FİRMASINDA UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cemre Nur DİNÇKURT BİÇER
(507211106)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özgür KABAK

TEMMUZ 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**MULTI-OBJECTIVE RESOURCE CONSTRAINED MULTIPLE PROJECT
SCHEDULING PROBLEM AND ITS APPLICATION IN A TRACTOR
COMPANY**

M.Sc. THESIS

**Cemre Nur DİNÇKURT BİÇER
(507211106)**

Department of Industrial Engineering

Industrial Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Özgür KABAK

JULY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507211106 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Cemre Nur DİNÇKURT BİÇER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇOK AMAÇLI KAYNAK KISITLI ÇOKLU PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ VE BİR TRAKTÖR FİRMASINDA UYGULAMA” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Özgür KABAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Yusuf İlker TOPÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sait GÜL
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 23 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 2 Temmuz 2024



ÖNSÖZ

Yüksek lisans sürecim ve tez çalışmam boyunca bana rehberlik eden ve her zaman destek olan danışmanım Prof. Dr. Özgür KABAK'a; bugünlere gelmemi sağlayan, sevgisini ve desteğini asla esirgemeyen, bana her zaman inanıp yanımda olan annem Şebnem DİNÇKURT, babam Mehmet Emin DİNÇKURT ve kardeşim Teoman DİNÇKURT'a; bana sağladıkları fırsatlar, gösterdikleri sabır ve anlayış için sayın Güven DAŞTAN, Taşkın BAĞCI ve Gürkan GÜVEN'e; bu süreç boyunca bana en büyük desteği sağlayan yol arkadaşım, sevgi dolu desteği, anlayışı ve teşviki ile bana güç veren eşim Utku BİÇER'e; en derin teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2024

Cemre Nur DİNÇKURT BİÇER
(Endüstri Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ.....	5
2.1 Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	8
2.2 Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	8
2.3 Düzensiz Amaç Fonksiyonlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	9
2.4 Stokastik Yapılı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	10
2.5 Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	10
2.6 Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	12
3. ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL.....	15
3.1 Problemin Tanımı.....	18
3.2 Ağırlıklı Hedef Programlama Matematiksel Modeli	19
3.3 Önerilen Matematiksel Model.....	20
3.4 Örnek Problem	23
3.5 Örnek Problemin Parametreleri.....	23
3.6 Örnek Problemin Çözümü.....	25
4. MATEMATİKSEL MODELİN GERÇEK HAYAT PROBLEMİNE UYGULANMASI	31
4.1 Şirket Hakkında Genel Bilgi	31
4.2 Gerçek Hayat Problemi	32
4.2.1 Problemin tanımı & çalışmanın hedefi	32
4.2.2 Proje	33
4.2.3 Planlama süreci & validasyon testi	34
4.2.4 Kaynak türleri	35
4.2.5 Öncül-Ardıl test ilişkisi	36
4.3 Gerçek Hayat Probleminin Çözümü	36
4.3.1 Gerçek hayat problemi için varsayımlar	36
4.3.2 Uygulama verileri	37
4.3.3 Çözüm yöntemi	38
4.3.4 Duyarlılık analizi.....	39
4.3.5 Problemin çözümü	39
4.3.6 Modelin analizi ve çeşitli senaryolar	40
4.3.6.1 Saha testi & güvenilirlik ekibi kaynak kapasitesi artışı	41
4.3.6.2 Paralel aktivitelerin eş zamanlı yürütülmesi	43

4.3.6.3 Farklı ağırlık katsayıları ile kaynak kapasitesi analizi	43
5. SONUÇ.....	47
KAYNAKLAR.....	51
EKLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	81



KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşı Prosesi
ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
CPM	: Critical Path Method
GA	: Genetik Algoritma
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
KKPÇP	: Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi
MOPSO	: Multiple Objective Particle Swarm Optimization
NBD	: Net Bugünkü Değer
NGSA-II	: Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II
NP	: Non-Polynomial
NVH	: Noise, Vibration and Harshness
OPL	: Optimization Programming Language
PERT	: Program Evaluation and Review Technique
PSPLIB	: Project Scheduling Problem Library
R&D	: Research and Development
RCPSP	: Resource Constrained Project Scheduling Problem
WGP	: Weighted Goal Programming



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Amaç fonksiyonları ve matematiksel formülasyonları.	17
Çizelge 3.2 : Matematiksel modelde kullanılan notasyon.	21
Çizelge 3.3 : Örnek Proje-1 verileri.....	24
Çizelge 3.4 : Örnek Proje-2 verileri.....	24
Çizelge 3.5 : Örnek Proje-3 verileri.....	24
Çizelge 3.6 : Örnek problemin proje termin süreleri.	24
Çizelge 3.7 : Elde edilen <i>xipt</i> çözüm değerleri.....	26
Çizelge 3.8 : Örnek problem kaynak tipi ve fazla mesai ihtiyacı.	26
Çizelge 3.9 : Matematiksel modelin örnek problem için doğrulaması.	28
Çizelge 4.1 : Projelerin termin süresi.	37
Çizelge 4.2 : Kaynak kapasiteleri.	38
Çizelge 4.3 : Amaç fonksiyonu ve model çözümleri.....	38
Çizelge 4.4 : Duyarlılık analizi.	39
Çizelge 4.5 : Kaynak tipleri ve fazla mesai ihtiyacı.	40
Çizelge 4.6 : 6. Kaynak kapasitesi 5 kişi iken fazla mesai ihtiyacı.	42
Çizelge 4.7 : 6. Kaynak kapasitesi 6 kişi iken fazla mesai ihtiyacı.	43
Çizelge 4.8 : Kapasite artışına göre toplam fazla mesai ihtiyacı.	43
Çizelge 4.9 : Kaynak kapasitesine göre toplam gecikme süresi ve fazla mesai ihtiyacı.	44
Çizelge 4.10 : Ağırlık katsayıları ve kaynak kapasitesi değişimi.	44
Çizelge B.1 : Proje-1 parametreleri.	61
Çizelge B.2 : Proje-2 parametreleri.	61
Çizelge B.3 : Proje-3 parametreleri.	61
Çizelge B.4 : Proje-4 parametreleri.	61
Çizelge B.5 : Proje-5 parametreleri.	62
Çizelge B.6 : Proje-6 parametreleri.	62
Çizelge B.7 : Proje-7 parametreleri.	62
Çizelge B.8 : Proje-8 parametreleri.	62
Çizelge B.9 : Proje-9 parametreleri.	62
Çizelge B.10 : Proje-10 parametreleri.	63
Çizelge B.11 : Proje-11 parametreleri.	63
Çizelge B.12 : Proje-12 parametreleri.	63
Çizelge B.13 : Proje-13 parametreleri.	63
Çizelge B.14 : Proje-14 parametreleri.	63
Çizelge B.15 : Proje-15 parametreleri.	64
Çizelge B.16 : Proje-16 parametreleri.	64
Çizelge B.17 : Proje-17 parametreleri.	64
Çizelge B.18 : Proje-18 parametreleri.	64
Çizelge B.19 : Proje-19 parametreleri.	65
Çizelge B.20 : Proje-20 parametreleri.	65
Çizelge B.21 : Proje-21 parametreleri.	65

Çizelge B.22 : Proje-22 parametreleri.	65
Çizelge B.23 : Proje-23 parametreleri.	66
Çizelge B.24 : Proje-24 parametreleri.	66
Çizelge B.25 : Proje-25 parametreleri.	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : KKPÇP sınıflandırması.	7
Şekil 3.1 : Örnek problemin Gannt şeması.	27
Şekil A.1 : Proje-1 ağ diyagramı.	56
Şekil A.2 : Proje-2 ağ diyagramı.	56
Şekil A.3 : Proje-3 ağ diyagramı.	56
Şekil A.4 : Proje-4 ağ diyagramı.	56
Şekil A.5 : Proje-5 ağ diyagramı.	56
Şekil A.6 : Proje-6 ağ diyagramı.	56
Şekil A.7 : Proje-7 ağ diyagramı.	57
Şekil A.8 : Proje-8 ağ diyagramı.	57
Şekil A.9 : Proje-9 ağ diyagramı.	57
Şekil A.10 : Proje-10 ağ diyagramı.	57
Şekil A.11 : Proje-11 ağ diyagramı.	57
Şekil A.12 : Proje-12 ağ diyagramı.	57
Şekil A.13 : Proje-13 ağ diyagramı.	57
Şekil A.14 : Proje-14 ağ diyagramı.	58
Şekil A.15 : Proje-15 ağ diyagramı.	58
Şekil A.16 : Proje-16 ağ diyagramı.	58
Şekil A.17 : Proje-17 ağ diyagramı.	58
Şekil A.18 : Proje-18 ağ diyagramı.	59
Şekil A.19 : Proje-19 ağ diyagramı.	59
Şekil A.20 : Proje-20 ağ diyagramı.	59
Şekil A.21 : Proje-21 ağ diyagramı.	59
Şekil A.22 : Proje-22 ağ diyagramı.	59
Şekil A.23 : Proje-23 ağ diyagramı.	59
Şekil A.24 : Proje-24 ağ diyagramı.	60
Şekil A.25 : Proje-25 ağ diyagramı.	60
Şekil C.1 : Proje-1 ve proje-2 Gannt şeması.	67
Şekil C.2 : Proje-3 ve proje-4 Gannt şeması.	68
Şekil C.3 : Proje-5 ve proje-6 Gannt şeması.	69
Şekil C.4 : Proje-7 ve proje-8 Gannt şeması.	70
Şekil C.5 : Proje-9 ve proje-10 Gannt şeması.	71
Şekil C.6 : Proje-11 ve proje-12 Gannt şeması.	72
Şekil C.7 : Proje-13 ve proje-14 Gannt şeması.	73
Şekil C.8 : Proje-15 ve proje-16 Gannt şeması.	74
Şekil C.9 : Proje-17 ve proje-18 Gannt şeması.	75
Şekil C.10 : Proje-19 ve proje-20 Gannt şeması.	76
Şekil C.11 : Proje-21 ve proje-22 Gannt şeması.	77
Şekil C.12 : Proje-23 ve proje-24 Gannt şeması.	78
Şekil C.13 : Proje-25 Gannt şeması.	79



ÇOK AMAÇLI KAYNAK KISITLI ÇOKLU PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ VE BİR TRAKTÖR FİRMASINDA UYGULAMA

ÖZET

Proje yönetiminde, projelerin zamanında ve önceden belirlenen bütçe dahilinde tamamlanması büyük önem taşımaktadır. Proje çizelgeleme sürecini karmaşıklaştıran nokta, genellikle sınırlı kaynaklarla birlikte birden fazla projenin aynı anda yürütülmesidir. Gerçek hayat proje çizelgeleme süreçlerinde; projeleri en kısa sürede, gecikme olmadan ve bütçeyi aşmadan kaynakları en verimli şekilde kullanarak tamamlamak gibi birden fazla amaç aynı anda gerçekleştirilmek istendiğinden durum daha da karmaşık bir hale gelmektedir. Bu tür problemler Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP) çatısı altında toplanmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışması, birden fazla amacı aynı anda gerçekleştirmeyi ve birden fazla projenin çizelgelenmesini amaçlayan Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi üzerine odaklanmaktadır. Bu tür problemler, genellikle birbiriyle çelişen hedeflere sahip olurlar; proje süresinin minimize edilmesi, maliyetlerin düşürülmesi veya kaynak kullanımının dengelenmesi gibi çeşitli amaçlar örnek olarak gösterilebilir. Çok amaçlı KKPÇP çözümü için çeşitli matematiksel modelleme ve optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, belirli bir zaman dilimi içinde tamamlanması gereken birden fazla projenin, sınırlı kaynaklar göz önünde bulundurularak en iyi şekilde planlanması ve çizelgelenmesi amaçlanmıştır. Ağırlıklı hedef programlama, farklı hedeflerin önem derecelerine göre ağırlıklandırıldığı ve bu hedeflerin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı bir teknik olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, problemin çözümü için önerilen matematiksel model, OPL dilinde kodlanmış ve ağırlıklı hedef programlama yöntemi kullanılarak ve IBM ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanılarak çözülmüştür. CPLEX, özellikle doğrusal programlama problemlerinin ve karmaşık matematiksel modellerin çözümünde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Matematiksel modelin amaç fonksiyonunda bulunan ağırlıklar duyarlılık analizi yapılarak ve son karar verici tarafından şirketlerin hedefleri doğrultusunda belirlenmiştir. Modelin doğruluğunu ve etkinliğini test etmek amacıyla başta daha küçük bir örnek üzerinde çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, bir traktör firmasının geliştirdiği traktör projelerinin AR-GE test süreçlerinin çizelgelemesi üzerine çalışılmıştır. Odaklanılan amaçlar; belirli kaynak sayısı ve testlerin öncüllük ilişkileri dikkate alınarak, projelerin toplam gecikme sürelerinin ve toplam fazla mesainin minimize edilmesidir. Her bir projenin birbirinden farklı sayıda ve tipte validasyon test ihtiyacı olduğu, 6 farklı kaynağı kullanan 25 projenin çizelgelenmesi için ağırlıklı hedef programlama matematiksel modeli geliştirilmiştir. Dikkate alınan AR-GE validasyon test süreci kaynak tipleri: Motor & HVAC, Hidrolik & Güç Aktarma Organları, NVH & Araç Doğrulama, Atölye, Saha Testi & Güvenilirlik, Elektrik & Elektronik test mühendislerinden oluşmaktadır. Her proje için, uygulanacak validasyon testlerinin öncüllük-ardıllık

ilişkisi, testlerin gerçekleştirileceği süreler ve projelerin tamamlanması gereken gün sayısı gibi parametreler model içerisinde tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda; gerçekte toplam 45 gün gecikerek ve toplam 126 adam*gün fazla mesai yapılarak tamamlanan projeler, hiç gecikme yaşanmadan toplam 110 adam*gün fazla mesai yapılarak tamamlanmıştır. Ayrıca kaynak kapasitesinin yeterliliği ile ilgili çeşitli senaryolar denenmiş ve analiz sonuçları paylaşılmıştır.



MULTI-OBJECTIVE RESOURCE CONSTRAINED MULTIPLE PROJECT SCHEDULING PROBLEM AND ITS APPLICATION IN A TRACTOR COMPANY

SUMMARY

In today's highly competitive business environment, effective project scheduling has become more critical than ever. As organizations strive to deliver projects on time, within budget and to the desired quality standards, the need for planning and scheduling is essential. Here are a several reasons why project planning is important in project management.

Effective project scheduling allows for optimal allocation of resources, including human resources, materials, and equipment. By identifying what resources are needed and when they are needed, project managers can ensure that resources are not over-allocated or underutilized. This helps in avoiding bottlenecks and minimizing idle time, ultimately leading to cost savings and increased efficiency. Time is a critical factor in any project. Scheduling helps in breaking down the project into manageable tasks with specific deadlines. This detailed planning enables project managers to track progress, identify delays early, and implement corrective measures promptly. Timely completion of tasks is essential to meet the overall project deadline, which can have significant implications for client satisfaction and competitive advantage. A well-thought-out schedule is essential for maintaining control over the project budget. By mapping out the timeline and understanding the sequence of activities, project managers can estimate costs more accurately and monitor spending against the budget. By planning each step of the project and anticipating potential obstacles, project managers can develop contingency plans and risk mitigation strategies. This proactive approach helps in addressing issues before they escalate, ensuring the project stays on track. A clear and detailed project schedule serves as a communication tool that aligns the entire project team. It provides a common understanding of the project timeline, responsibilities, and deliverables. Project schedules provide a baseline against which performance can be measured. By comparing actual progress to the planned schedule, project managers can assess how well the project is adhering to the plan. Any deviations from the schedule can be quickly identified and addressed. Clients and stakeholders are often more satisfied when they see a clear and structured plan for project delivery. Meeting deadlines and delivering on commitments are key to building and maintaining strong client relationships.

By optimizing resources, managing time and budget, mitigating risks, enhancing communication, and ensuring accountability, effective scheduling helps organizations achieve their project goals and maintain a competitive edge in the market. As the complexity of projects continues to grow, the importance of precise and strategic scheduling will only increase.

In project management, it is crucial that projects are completed on time and within the predetermined budget. Complicating the project scheduling process is the

simultaneous execution of multiple projects, often with limited resources. In real-life project scheduling processes, the situation becomes even more complex as multiple objectives need to be achieved simultaneously, such as completing projects in the shortest time, without delays and within budget, using resources in the most efficient way. This type of problem is categorized as of Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP).

RCPSP is a complex and critical challenge in project management, especially when resources such as manpower, equipment or materials are limited. This problem involves scheduling project activities within a given time frame while respecting resource constraints and predefined priority relationships between tasks. The objective is usually to minimize the total project duration (makespan) while ensuring that no resource is over-allocated at any time. This involves balancing the trade-offs between starting activities as soon as possible and the availability of resources.

There are several variants of the RCPSP, each introducing additional complexities and considerations such as; Single Mode RCPSP, Multi-Mode RCPSP, RCPSP with Irregular Objective Function, Stochastic RCPSP, Multi-Project RCPSP, Multi-Objective RCPSP.

Various objective functions are employed in Multi-Objective RCPSP to address the multiple goals. Some of the common objectives include: minimizing makespan, minimizing total costs, maximizing resource utilization, minimizing delays, maximizing quality, enhancing customer satisfaction.

This master's thesis focuses on the Multi-Objective RCPSP, which aims to achieve multiple objectives simultaneously and schedule multiple projects. Such problems often have conflicting objectives, such as minimizing project duration, reducing costs or balancing resource utilization. Various mathematical modeling and optimization techniques have been used for solving Multi-Objective RCPSP.

In this study, we aim to optimize the planning and scheduling of multiple projects that need to be completed within a given time frame, taking into account limited resources. Weighted goal programming is used as a technique in which different goals are weighted according to their importance and these goals are optimized simultaneously.

Weighted Goal Programming (WGP) is a multi-objective optimization method that seeks to find the best solution by satisfying a set of goals to varying degrees, each with an assigned weight indicating its relative importance. Unlike traditional linear programming, which optimizes a single objective function, WGP deals with multiple objectives by converting them into goals that need to be achieved.

In this study, the mathematical model proposed for the solution of the problem is coded in optimization programming language (OPL) and solved using weighted goal programming method and IBM ILOG CPLEX solver. CPLEX is used as an effective tool especially for solving linear programming problems and complex mathematical models. The weights in the objective function of the mathematical model were determined by sensitivity analysis and by the final decision maker in line with the objectives of the companies. In order to test the accuracy and efficiency of the model, a smaller example was initially studied.

In this thesis, the scheduling of R&D testing processes of tractor projects developed by a tractor company was studied. The focused objective functions are to minimize the total delay time and total overtime of the projects. In this model, after determining parameters such as the total number of projects, total resource capacity and deadlines

of the projects, which validation tests are needed in which project and how many people are needed in total from which resource type are determined. After all these, the antecedence-precedence relationships of the tests were determined and the objective function was created. The developed mathematical model is supported by the weighted goal programming method. Since it is aimed to achieve more than one objective at the same time, total delay time and total overtime amounts are modeled by weighting.

The weight coefficients in the objective function are determined by sensitivity analysis method, which is used to show the effect of changing the coefficient values in the linear programming problem on the solution of the problem. By changing the weight coefficients, the effect on the optimal result was examined. The results obtained were evaluated by the decision maker and weight coefficients of 0.8 for total project delay time and 0.2 for total overtime time were added to the model in line with the company's objectives.

Mathematical model is developed for scheduling 25 projects using 6 different resources, where each project requires a different number and type of validation tests. The R&D validation test process resource types considered are: Engine & HVAC, Hydraulics & Powertrain, NVH & Vehicle Validation, Workshop, Field Test & Reliability, Electrical & Electronics test engineers. The capacity of the resources types are 5, 6, 6, 3, 4 and 4 respectively.

For each project, parameters such as the antecedent-successor relationship of the validation tests to be performed, the duration of the tests to be performed and the number of days to complete the projects were defined in the model. As a result of this study; projects that were actually completed with a total of 45 days delay and 126 man/day overtime were completed with a total of 110 man/day overtime without any delay. In addition, various scenarios regarding the adequacy of resource capacity were tested and the results of the analysis were shared.



1. GİRİŞ

Proje; kapsam, zaman ve maliyet çerçevesinde, belli bir başlangıç ve bitiş noktasına sahip, belirlenen hedeflerin amacına ulaşmasını sağlayacak faaliyetler topluluğudur. Proje yönetimi ise, üzerinde çalışılan bu faaliyetler dahilinde projeyi hedeflerine ulaştırmak için süreçlerin, deneyimlerin, yöntemlerin, bilgi ve becerilerin uygulanmasıdır. Proje yönetiminin kökenleri Mısır Piramit'lerinin inşasına kadar uzanmaktadır. Piramitlerin nasıl yapıldığına dair net bir bilgi olmamasına karşın, kayıtlar piramitlerin dört yüzünün her birinden sorumlu bir yöneticinin olduğunu göstermektedir (The History of Project Management, 2018).

Modern zamanda ise proje yönetimi 1900'lü yıllarda şekillenmeye başlamıştır. Zamanla endüstrileşen projeler, yeni yöntemlerin bulunmasına zemin hazırlamıştır. 1911 yılında Frederick Taylor ve 1917 yılında Henry Gantt proje çizelgelemenin temelini oluşturan çalışmalar meydana getirmiştir. Taylor, işçilerin yeni ve karmaşık projelere geçişini basit öğrenme teknikleriyle sağlamayı amaçlayan “Bilimsel Yönetimin İlkeleri” adlı kitabını yayınlamıştır. Gantt ise, görevleri sürelerle birlikte bağlantılı olarak göstermek için görsel bir zaman çizelgesi kullanarak Gantt şemasını ortaya çıkarmıştır. 1957 yılında Dupont firması çalışanları Morgan R. Walker ve Remington Rand'dan James E. Kelley Jr. tarafından, kimyasal tesislerin rutin bakımı için kapatılmasının karmaşıklıklarını çözmeye yardımcı olmak amacıyla bir projenin ne kadar süreceğini tahmin etmek için kullanılan Kritik Yol Metodunu (CPM) geliştirmişlerdir. 1958 yılında ise, Amerika Birleşik Devletleri Donanması tarafından binlerce yüklenici ve tedarikçinin koordine edilmesini içeren Polaris füze projesinin planlanması ve kontrol edilmesini kolaylaştıran Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniğini (PERT) geliştirmişlerdir. Kısa bir süre sonra, bir projeyi yürütmek için hem görev bağımlılıklarını hem de kaynakların sınırlı kullanılabilirliğini hesaba katan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP) ortaya çıkmıştır (A Brief History of Project Scheduling, 2023).

KKPÇP, proje yönetiminde önemli bir akademik problemdir. Mühendislik, ormancılık, madencilik operasyonları, inşaat, yazılım ve diğer birçok alandaki gerçek

hayat uygulamaları, bu matematiksel modellemeyi gün geçtikçe daha fazla kullanmaktadır. Son yirmi yıl boyunca, KKPÇP büyük ölçüde Yöneylem Araştırması literatüründe incelenmiştir. KKPÇP'nin çözümünde, proje süresinin minimize edilmesi genel amaçtır (Kolisch ve Hartmann, 2006). Bu amaç, projenin başlangıç zamanı ile bitiş zamanı arasındaki süre olarak tanımlanır. Bazı durumlarda amaç; projenin net bugünkü değerinin maksimizasyonu, proje maliyetinin minimizasyonu veya proje gecikme süresinin minimizasyonu olabilir. Bu hedeflerin her biri için, literatürde verimli sürede çözüm arayan yöntemler vardır. (Aouni ve diğ, 2015)

Proje yönetimi, günümüzde giderek karmaşıklaşan ve rekabetçi bir ortamda başarı için kritik önem arz eden bir disiplindir. Özellikle kısıtlı kaynaklar altında, projelerin etkin ve verimli bir şekilde çizelgelenmesi ve yönetilmesi, başarılı sonuçlar elde etmenin temel taşıdır. Bu bağlamda, KKPÇP projeler ve faaliyetlerin kaynak kullanımlarını etkin bir şekilde yönetmek ve çakışan hedefleri dengelemek amacıyla stratejik bir yaklaşım sunar. Birden fazla proje için kaynakların çizelgelenmesi ve ataması polinomsal olmayan (NP) zor bir problemdir ve tek bir projeye göre daha zordur (Garey ve Johnson, 1979).

KKPÇP konusunda birçok geçmiş araştırma mevcuttur. Ancak, bu araştırmalar genellikle tek bir amaç fonksiyonunu optimize etmeye odaklanmış ve birden fazla proje senaryosunu kapsamamıştır. Geleneksel çizelgeleme teknikleri, bu tür karmaşık projelerin çizelgelenmesinde yetersiz kalabilmektedir. Örneğin, klasik çizelgeleme yaklaşımları, genellikle tek bir hedefe (sadece proje tamamlama süresi veya sadece toplam maliyet) odaklanırken, gerçek hayat problemlerinde birçok hedefin aynı anda dengelenmesi gerekmektedir.

Gerçekleştirilmek istenen bu çoklu hedefler arasındaki önem dereceleri farklı olabilir. Ağırlıklı hedef programlama yöntemi, birden fazla amaç fonksiyonuna sahip problemlerin ağırlıklandırılarak önem derecelerinin belirlendiği ve dengelendiği bir optimizasyon yaklaşımıdır. Ağırlıklı hedef programlama yöntemi sayesinde, çeşitli hedefler arasındaki öncelikler belirlenebilir ve proje yöneticileri, karar alma sürecinde daha bilinçli ve stratejik bir yaklaşım ile hareket edebilirler.

Bu çalışma, KKPÇP kapsamında birden fazla amaç fonksiyonuna sahip birden fazla projenin çizelgelenmesi üzerine odaklanmaktadır. Çalışma, pratikte sıkça karşılaşılan ve çözümü gereken bir sorunu ele almaktadır. Birden fazla proje ele alındığında

kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi hem zaman hem de maliyet açısından oldukça önemlidir.

Yapılan bu çalışma, toplam proje gecikme süresi ve toplam fazla mesai amaç fonksiyonlarını dikkate alarak ve ağırlıklandırarak, birden fazla projenin çizelgelenmesini ele alan bir matematiksel model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu model, proje planlama ve çizelgeleme süreçlerinin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamak için farklı amaçları optimize ederek, gerçek hayata uygulanabilir çözümler sunmayı hedeflemektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, bir traktör firmasının geliştirdiği traktör projelerinin AR-GE test süreçlerinin çizelgelemesi üzerine çalışılmıştır. Belirli bir kaynak havuzu ve testler arasındaki öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak, projelerin belirlenen sürede tamamlanması için toplam gecikme süresi ve fazla mesai miktarı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Proje sayısı, kaynak sayısı, her bir proje için gerekli testlerin sayısı ve bu testleri gerçekleştirmesi için gerekli mühendis sayısı gibi parametreler doğrultusunda, testlerin öncüllük-ardıllık ilişkisi belirlenerek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Amaç, birden fazla projenin aynı yenilenebilir kaynak havuzunu kullandığı bu problemde projeleri minimum gecikme ve minimum fazla mesai ile tamamlamaktır. Birden fazla amacın aynı anda gerçekleştirilmesi hedeflendiğinden, önerilen matematiksel model ağırlıklı hedef programlama yönteminden faydalanılarak geliştirilmiştir. Oluşturulan matematiksel modelin çözümlenmesi ile projelerin başlangıç zamanı, testlerin gerçekleşme sırası, süresi, zaman dilimlerine göre ihtiyaç duyulan kaynak miktarı gibi parametreler projeler başlamadan önce belirlenecek, projelerin en az gecikme süresi ve minimum fazla mesai süresi ile tamamlanması sağlanacaktır.

Yapılan bu çalışmanın ikinci bölümünde, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi anlatılacak, konuyla ilgili yapılan literatür çalışmaları incelenecek ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin alt başlıklarından bahsedilecektir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminde kullanılan farklı amaç fonksiyonlarından bahsedilecek ve hedef programlama matematiksel modeline yer verilecektir. Problem tanımlandıktan sonra, çok amaçlı

kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini çözmek için önerilen matematiksel modelden bahsedilecek ve daha küçük kapsamlı bir örnek üzerinde uygulanacaktır.

Dördüncü bölümde, gerçek hayat probleminin ele alındığı şirket hakkında genel bilgi verilerek planlama süreci ve diğer çeşitli kavramlardan bahsedilecektir. Kullanılan uygulama verileri ve parametrelerle birlikte, önerilen modelin gerçek hayat problemine uygulanması ve elde edilen veriler paylaşılacaktır.

Çalışmanın beşinci bölümü olan sonuç bölümünde ise gerçek hayat problemine uygulanan modelin sonuçları tartışılacak ve sonraki çalışmalar için öneriler sunulacaktır.



2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Çalışmanın bu bölümünde, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi ve bu problemin alt sınıfları ve literatür çalışmalarından bazıları incelenmiştir.

Günümüzde işletmeler karmaşık planlama ve yönetim sorunları ile karşı karşıya gelmektedir. Bu problemlerden biri de proje çizelgeleme problemidir. Kaynak kısıtları altında yapılan proje çizelgeleme problemleri KKPCP olarak adlandırılmıştır. Özellikle birden fazla projenin aynı kaynakları paylaşması durumunda ortaya çıkan bu problem, işletmelerin proje yönetimi süreçlerinde karşılaştığı önemli bir zorluktur. Birden fazla proje için kaynakların çizelgelenmesi ve ataması polinomsal olmayan (NP) zor bir problemidir ve tek bir projeye göre daha zordur (Garey ve Johnson, 1979).

Projeler genellikle bir grup alt faaliyet, görev veya aktiviteden oluşur. Pritsker ve diğ. (1969), her bir projenin alt görevlere bölüneceğini göz önüne alarak sıfır-bir doğrusal programlama modelini sunmuştur. Sıfır-bir doğrusal programlama yaklaşımında, her aktivitenin öncelik seviyesini belirleyen ve projeye ait aktivitelerin tamamlanıp tamamlanmayacağını belirleyen karar değişkenleri kullanılır. Bu değişkenler 0 veya 1 değerlerini alır. Burada, i proje sayısını, j iş/görev sayısını ve t zaman periyodunu temsil ederken x_{ijt} , eğer i projesinin j işi/görevi t zaman periyodunda tamamlanırsa 1, tamamlanmazsa 0 değerini alan bir değişkendir. Sıfır-bir programlama modeli, bu karar değişkenlerini ve projelerin süre ve kaynak gereksinimlerini dikkate alarak, belirli kısıtlar altında (örneğin toplam kaynak kısıtlaması) projelerin optimize edilmiş bir sıralamasını ve tamamlanma sürelerini hesaplar.

Projelerin ve faaliyetlerin tamamlanabilmesi için belirli sayıda kaynak kullanılması gerekir. Slowinski (1981) kaynakları; yenilenebilir, yenilenemez ve çift yönden kısıtlı şeklinde tanımlamıştır. Yenilenebilir kaynaklar, belirli bir zaman diliminde sınırlı olan ancak kullanıldıkça tükenmeyen kaynaklardır. Bu kaynaklar, kullanıldıkları aktivite sona erdiğinde yeniden kullanılabilirler. Yenilenemez kaynaklar ise kullanıldıkları anda tükenirler. Farklı etkinliklerde kullanılan tüketim malzemeleri, yenilenemez kaynakların bir örneği olarak gösterilebilir. Yenilenemez kaynakların proje süresi boyunca kullanılabilir toplam miktarı üzerinde bir kısıtlama vardır. Bir kaynağın hem

belirli bir zaman diliminde kullanım miktarı hem de proje süresi boyunca toplam tüketimi üzerinde kısıtlama olduğunda, bu kaynak çift yönlü olarak sınırlı bir kaynak olarak adlandırılır. Örneğin, para çift yönlü sınırlı bir kaynak olabilir; belirli bir zaman diliminde harcama sınırlı olabileceği gibi proje süresi boyunca toplam harcama miktarı da sınırlı olabilir (Ulusoy, 2002) Yapılan bu çalışmada kaynak, yenilenebilir kaynak türünü ifade etmektedir.

Günümüzde birçok firma, ortak bir kaynak havuzunu kullanan yani paylaşılan kaynaklarla ve eş zamanlı yürütülen birden fazla projeye sahiptir. KKPCP'deki en önemli kısıt, kaynakların sınırlı şekilde kullanılabilirliği ve projelerin eş zamanlı kaynak ihtiyacının olmasıdır. Akyl Kurt (2018), kaynak kısıtları altında birden fazla projeyi en kısa sürede tamamlamak için kaynakların nasıl en verimli şekilde kullanılacağını belirlemek adına, aynı anda birden fazla projeyi yöneten bir yazılım firmasının proje çizelgeleme sürecini ele almıştır. Yapılan bu çalışmada, öncelikle küçük boyutlu bir örnek problem ele alınmış, proje sayısı, kaynak sayısı, proje aktivitelerinin öncelik ilişkileri gibi veriler detaylıca belirlenmiştir. Literatürde yer alan proje çizelgeleme problemlerine ilişkin çözüm yaklaşımları incelenmiş ve bu bilgiler doğrultusunda bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model, Optimizasyon Programlama Dili (OPL) kullanılarak kodlanmış ve IBM ILOG CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Gantt şemaları ile görselleştirilerek anlaşılır hale getirilmiştir, faaliyetlerin ne zaman başlatılması gerektiği gibi bilgiler elde edilmiştir. Örnek problem için yapılan bu çalışma doğrultusunda matematiksel model gerçek hayat problemine uyarlanmıştır. Model çözümü sayesinde, projelerin tamamlanması için verilen toplam süre 700 gün iken, toplam proje tamamlanma süresi en küçüklenerek bu süre 425 güne indirilmiştir. Proje çizelgeleme probleminin çözümünü kolaylaştırmak adına firma için JAVA programlama dilinde bir arayüz tasarlanmıştır.

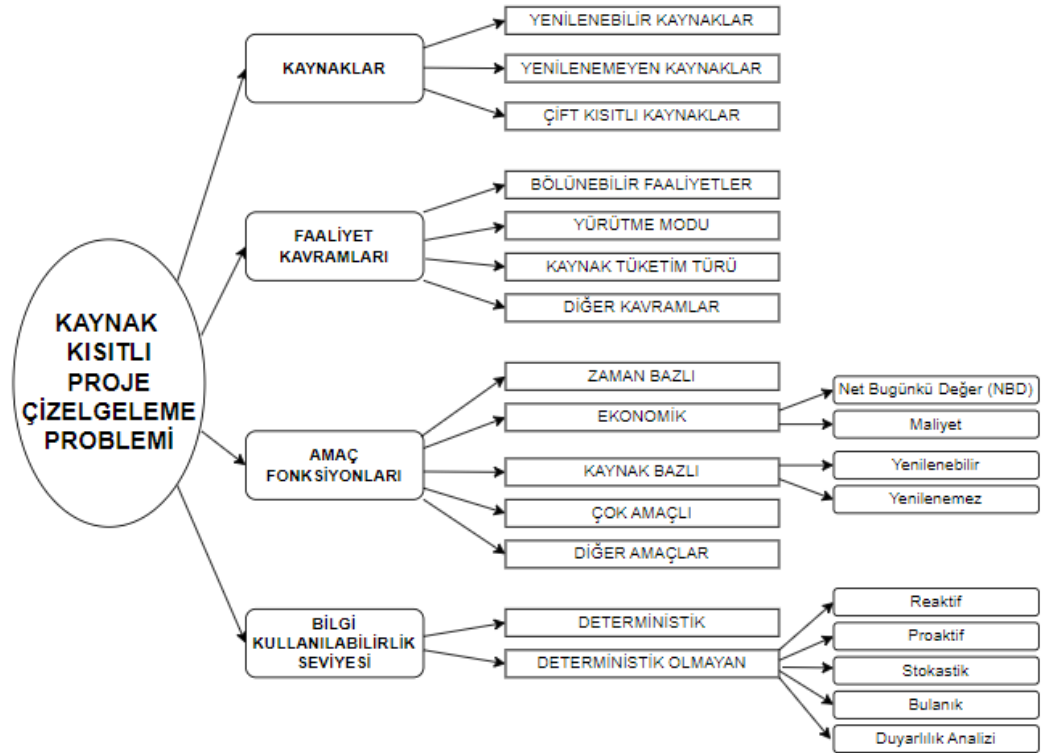
Literatürde KKPCP için farklı amaç fonksiyonlarının kullanımı mevcuttur. KKPCP'nde en yaygın olarak kullanılan amaç işlevi proje süresinin minimize edilmesidir (Özdamar ve Ulusoy, 1995). Projenin termin tarihinin olması durumunda, amaç fonksiyonu olarak gecikmenin (tardiness) minimize edilmesi kullanılır. Diğer bir amaç fonksiyonu ise, tam zamanında üretim anlayışı için kullanılan, erken bitirme ve gecikme toplamalarının minimize edilmesidir (Vanhoucke ve diğ, 2000b). Bu amaç fonksiyonunda, erken bitirme süresinin ve gecikmenin ayrı etkileri varsa ağırlıklı

toplamları minimize edilir. Bir başka yaygın kullanılan fonksiyon ise toplam karın en üst düzeye çıkarılmasıdır. Bu amaçla, nakit akışlarına paranın zaman değeri eklenerek bugünkü değerleri bulunur ve maliyet veya kâr, net bugünkü değer (NBD) olarak isimlendirilir (Ulusoy, 2002).

KKPÇP literatürde 6 başlıkta incelenmektedir. Bunlar;

- i. Tek modlu KKPÇP
- ii. Çok modlu KKPÇP
- iii. Düzensiz amaç fonksiyonuna sahip KKPÇP
- iv. Stokastik yapıli KKPÇP
- v. Çok projeli KKPÇP
- vi. Çok amaçlı KKPÇP (Akyıl Kurt, 2018).

Habibi ve diğ. (2018), ise kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini Şekil 2.'deki gibi kaynak türü, faaliyet türü, amaç fonksiyonu ve bilgi düzeyine göre sınıflandırmıştır.



Şekil 2.1 : KKPÇP sınıflandırması (Habibi ve diğ, 2018).

2.1 Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Tek modlu KKPÇP, her faaliyetin tek bir yürütme moduna sahip olduğu ve faaliyet süresi ile kaynak gereksinimlerinin sabit kabul edildiği bir proje planlama problemidir. Bu problemde kaynak kullanımı tek modludur. Faaliyetler, çeşitli öncelik ilişkileri ile kısıtlanmaktadır. Faaliyetlerin süreleri sabit kabul edilir ve proje planı oluşturularak, faaliyetlerin başlama zamanlarının belirlenmektedir. (Soares Araujo, 2019)

Tek modlu KKPÇP modelinin amacı, proje süresine bağlı oluşan maliyetleri en aza indirmek veya projelerin tamamlanma süresini minimize etmektir. Bu problemi çözmek için genellikle matematiksel programlama modelleri veya sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

2.2 Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Çok modlu KKPÇP modelleri için Elmaghraby 1977 yılında çalışmalara başlamıştır. Tek modlu KKPÇP'den farkı, kaynak kullanımında birden fazla modun kullanılmasıdır (Ulusoy, 2002).

Çok modlu KKPÇP kapsamında her mod, bir faaliyetin tamamlanabilmesi için gerekli olan belirli bir kaynak türü, faaliyetin tamamlanma süresi ve kaynak miktarı ile tanımlanır (Hartmann ve Briskorn, 2010).

Her bir faaliyet farklı bir mod kullanılarak tamamlanabilir. Modlar sayesinde faaliyetlerin farklı şekillerde yürütülmesine olanak sağlanır. Bir faaliyeti, daha fazla kaynak kullanarak daha kısa sürede tamamlamak bir mod olarak tanımlanabilir. Örneğin, bir traktörün üretim sürecinde 3 modlu bir problem ele alındığında; mod-1 ile 3 işçi üretimi 18 günde tamamlarken, mod-2 ile 6 işçi 9 günde ve mod-3 ile 9 işçi üretimi 2 günde tamamlayabilir.

Faaliyetlerin tamamlanabilmesi için kullanılan kaynaklar yenilenebilir ya da yenilenemeyen kaynak tipi olarak sınıflandırılabilir. Yenilenemeyen kaynaklar belirli bir kaynak kullanım miktarı sonrasında tükenirken, yenilenebilir kaynaklar her bir zaman diliminde aynı miktarda kullanılabilirler.

Tek ve çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözüm prosedürlerini değerlendirmek amacıyla bir proje planlama problem kütüphanesi (PSPLIB) oluşturulmuştur. Bu kütüphane, ProGen adlı standart bir proje üretici

tarafından sistematik olarak oluşturulan kıyaslama örneklerini içermektedir. Bu örnekler, ProGen'in giriş parametreleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca, bu kütüphane, bilinen en iyi çözümleri içeren detaylı bir karşılaştırma kümesini kamuya açık bir internet sitesinde sunmaktadır. Araştırmacılar, algoritmalarını değerlendirmek için ihtiyaç duydukları kıyaslama setlerini indirebilir ve yeni sonuçları bu ortam aracılığıyla paylaşabilirler. Bu kütüphane, proje tabanlı çizelgeleme alanındaki ilerlemeler için önemli bir kaynak olarak sürekli olarak güncellenmektedir (Kolisch ve Sprecher, 1997).

Çok modlu problemlerin çözümü için literatürde farklı çözüm yöntemleri önerilmiştir. Hapke ve diğ. (1998), birden fazla mod, yenilenebilir, yenilenemez ve çift kısıtlı kaynaklara sahip çok kriterli bir proje çizelgeleme problemini ele almak için baskın olmayan bir çözüm uzayı üzerinde iki aşamalı etkileşimli bir yöntem önermiştir. Ele alınan bu çalışmada öncelik kısıtları, maliyet ve zaman gibi kısıtlar yer almaktadır. Önerilen yöntemin ilk aşamasında metasezgisel yöntemlerden Pareto Tavlama Benzetimi kullanılmıştır.

Cheng ve diğ. (2014), çalışmalarında KKPCP literatüründe önceliklendirme ve faaliyet bölme arasındaki farkı araştırmış ve yalnızca önceliksiz faaliyetleri bölmeye izin veren yeni bir KKPCP kümesi tanımlamıştır. Bu çalışmada yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar kullanılmıştır ve her bir faaliyet birden fazla modda gerçekleştirilebilir. Faaliyetlerin hazırlık sürelerinin ve bitiş tarihlerinin, proje tamamlanma süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üç farklı problemin optimum proje tamamlanma sürelerini karşılaştırmak adına; faaliyet bölünmesi olmayan KKPCP (P1), önceliksiz faaliyet bölünmesi olan KKPCP (P2) ve öncelikli KKPCP (P3) tanımlanmıştır. Bir dal-sınır algoritması, optimum çözümleri bulmak amacıyla değiştirilmiştir. Kaynak kısıtlamaları genel zaman çerçevesinde dahil edilmiş ve projelerin optimum başlangıç zamanını bulmak amacıyla öncelik kuralı tabanlı basit sezgisel yöntemler önerilmiştir.

2.3 Düzensiz Amaç Fonksiyonlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Bir çizelgeleme probleminde, minimize edilmesi hedeflenen f ve j faaliyetinin bitiş zamanını B_j ile gösterildiğinde $(B_1, \dots, B_J)$, performans ölçütü f 'nin düzgün bağımlı olarak nitelendirilmesi için herhangi iki çizelge için $f(B_1, \dots, B_J) > f(B'_1, \dots, B'_J)$ ilişkisi sağlanmalı ve $B_1 \geq B'_1, \dots, B_J \geq B'_J$ şeklinde ifade edilmelidir. Örnek vermek

gerekirse, proje süresinin minimize edilmesi, düzgün bağımlı bir performans parametresidir. Ancak, yenilenemez kaynakların kullanımlarının minimize edilmesi düzgün bağımlı bir performans parametresi değildir (Ulusoy, 2002).

Düzenli amaç fonksiyonları, herhangi bir faaliyetin tamamlanma süresini arttırmazken; düzensiz amaç fonksiyonlarının ise bu özelliğe uymadığı görülmüştür. Düzensiz amaç fonksiyonları genellikle:

- i. NBD maksimizasyonu,
- ii. İndirgenmiş nakit akışlarının maksimizasyonu,
- iii. Toplam ağırlıklı kaynak tüketiminin minimizasyonu,
- iv. Kaynak kullanımı düzenliliğinin maksimizasyonu gibi içeriklere sahiptir.

Düzenli amaç fonksiyonlarının aksine, düzensiz amaç fonksiyonlarının proje tamamlanma süresini minimize etmek için kullanılmadıkları gözlenmiştir. (Yang ve diğ, 2001) Genellikle projelerin finansal durumunu optimize etmek için kullanılırlar (Balkaya, 2011).

2.4 Stokastik Yapılı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Stokastik bir KKPÇP’de, herhangi bir faaliyetin işlem süresi, bazı olasılık dağılımlarını takip eden rastgele bir değişken olarak tanımlanmıştır. Bu problem türünün, genellikle daha gerçekçi olduğu ancak analizde daha fazla karmaşıklığa yol açtığı görülmüştür. Stokastik KKPÇP’de tamamlanma süresini en aza indirmek yerine, beklenen tamamlanma süresini en aza indirmek gibi hedefler dikkate alınmıştır. Birbirine bağlı birçok faaliyet genellikle bir proje grafiğinde gösterildiğinden ve faaliyet tamamlanma süreleri büyük ölçüde birbirine bağlı olduğundan, toplam sürenin olasılık dağılımını karakterize etmek genellikle son derece zor veya imkansızdır. Bu da genellikle izlenebilir analiz için faaliyet bağımsızlığı varsayımlarına yol açar. Ancak bu tür bağımsızlık varsayımları pratikte son derece yanıltıcı sonuçlar verebilir (Yang ve diğ, 2001).

2.5 Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Proje yönetiminde sıklıkla birden fazla projenin aynı anda ve aynı kaynak havuzunu kullanarak yönetilmesi gerekebilir. Bu problemler, çok projeli çizelgeleme

problemleri şeklinde isimlendirilirler. Kaynak kısıtlı birden çok projenin çizelgelenmesi için amaç fonksiyonları aynı olsa da iki farklı yaklaşım vardır. Bunlardan birincisinde her bir projenin başlangıç ve bitiş süreleri göz önüne alınarak projeler ayrı ayrı ele alınır. Diğer yaklaşımda ise birden çok proje olmasına rağmen projelerin tamamı tek bir proje şeklinde değerlendirilir (Ulusoy, 2002).

Kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi, KKPÇP'nin bir uzantısıdır ve kısıtlı kaynaklarla aynı anda yürütülecek birden fazla projeyi dikkate alır. Çok projeli KKPÇP gerçek hayatta oldukça karşımıza çıkan bir durumdur. Payne (1995)'e göre, şirketler tarafından gerçekleştirilen tüm projelerin %90'ı eş zamanlı olarak yürütülmektedir. Geçmişten günümüze bu problemin çözümü için literatürde oldukça fazla araştırma yapılmıştır.

Tsubakitani ve Deckro (1990), sezgisel algoritmaları kullanarak Çok Projeli KKPÇP çözümü üzerinde çalışmışlardır. Yüzden fazla faaliyet içeren elliden fazla projenin çizelgelenmesi için dinamik bir algoritma önermişlerdir.

Eynde & Vanhoucke (2020), gecikme ve portföy gecikme amaçlarının ortalama yüzdesini ayrı ayrı minimize etmek için öncelik kurallı sezgisel ve genetik algoritma ile KKPÇP ele almışlardır. Yapılan bu çalışma, daha gelişmiş ve daha kaliteli algoritmalar geliştirmek amacıyla, çok projeli bir yaklaşım kullanarak tek projeli programlama şemalarının ayrıntılı versiyonlarını sunmaktadır.

Singh (2014), projelerin kritiklik indeksini faaliyet önceliği ile bütünleştiren bir KKPÇP için kullanılacak yeni bir hibrit algoritma sunmuştur. Singh, yaptığı bu çalışmada literatürü araştırır ve üç sonuca ulaşmıştır:

- i. Faaliyetlerin çizelgelenmesine yönelik yöntemlerin çoğu tek projeli çizelgeleme faaliyetlerine uygulanabilir.
- ii. Birden fazla proje için kaynakların çizelgelenmesi, ayrı projelere göre daha karmaşıktır.
- iii. Literatürün çoğu çoklu bir projede çizelgeyi oluşturmak için tek bir kaynağı dikkate almıştır.

Bu sonuçlara göre Singh, çoklu projelerin çizelgelenmesi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu savunmuştur. Ayrıca, çoklu proje çizelgeleme konusunda çeşitli kaynakları dikkate alan bir araştırma kapsamı olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, beş projeye yer verilmiştir ve bu projeleri önceliklendirmek için aciliyet, risk, büyüme ve net bugünkü değer gibi çeşitli kriterler kullanılmıştır.

Beşikçi ve diğ. (2015), her projenin belirli bir termin tarihinin olduğu çoklu projeler için çok modlu bir çizelgeleme problemi ortaya koymuştur. Bu problemin çözümü için iki yaklaşımı içeren bir meta-sezgisel yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler; iki aşamalı bir Genetik Algoritma (GA) ve monolitik bir GA'dır. Bu çalışmada bazı temel varsayımlar ele alınmıştır; projelerin bitiş tarihleri belirlenmelidir, projeler arasında kaynak paylaşımına izin verilmez ve eldeki toplam bütçe kaynaklara dağıtılmalıdır. Bu nedenle, çalışmaya göre toplam kaynak kapasitesi, toplam bütçeye göre şekillenmeli ve belirlenmelidir. Çalışmanın katkısı, yeni bir matematiksel model ve önerilen çözüm yaklaşımı olmuştur. Yapılan bu çalışmada projeler arasında öncelik ilişkisi yoktur. Problem, ikisi yenilenebilir ve ikisi yenilenemeyen olmak üzere toplamda dört kaynağa sahiptir. Farklı süreler ve kaynak kullanımları ile dört farklı mod kullanılmıştır. Projelerin tamamlanma tarihleri, CPM kullanılarak hesaplanmıştır. Problemin kritik kısmı, genel bütçeden projelerin gereksinimlerine göre genel kaynak kapasitelerinin belirlenmesi olmuştur. İki aşamalı GA modeli, monolitik GA ve kesin çözüm yaklaşımı ile karşılaştırıldığında en iyi sonuçları vermiştir.

2.6 Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Gerçek hayat problemlerinde, proje yöneticisi bir karar verici olarak proje için temel bir programa karar verirken aynı anda birkaç hedefi göz önünde bulundurmak zorundadır. Dolayısıyla, proje çizelgeleme problemleri çok amaçlı karar verme problemleriyle ilişkilendirilebilir. Bu bağlamda, Çok Amaçlı KKPCP ortaya çıkmaktadır.

Bu çok amaçlı problemde, en iyi çizelgenin seçiminde kullanılan çeşitli amaçların veya kriterlerin dikkate alınmasına odaklanılmaktadır. Çoğu proje planlama ve çizelgeleme problemi çok amaçlı karar problemleridir. Genellikle ele alınan proje planlama ve çizelgeleme problemleri üç ana hedefi takip eder:

1. Kaynak kullanımının dengeli olması,
2. Projenin son teslim tarihine uyulması,
3. Projenin yürütülmesi için verilen veya tahsis edilen bütçeye uyulması.

Bunlarla birlikte, proje yöneticisi belirli faaliyetlerin gecikme minimizasyonunu da göz önünde bulundurabilir (Gagnon ve Aouni, 2007).

Çok amaçlı KKPCP kapsamında çeşitli amaç fonksiyonlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Çok amaçlı KKPCP'nin öncülerinden Slowinski (1989), çalışmasında proje süresinin en aza indirilmesi ve maliyetlerin minimuma çekilmesi amacıyla Çok Amaçlı Çok Modlu KKPCP'ni incelemiştir. Yapılan bu çalışmada, aktivitelerin bölünmesine izin verilmiş ve yenilenebilir ile yenilenemez kaynak türleri kullanılmıştır. Slowinski, yeni etkileşimli yaklaşımını sunmuştur ve küme seçimi karar verici ile etkileşimli olarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, amaçlara ağırlıklar atanmış ve bunlar lineer bir amaç fonksiyonunda gruplandırılmıştır. Böylece, karar verici tarafından bir amaca öncelik verilebilecektir. Amaçlara uygun ağırlıkların tanımlanmasındaki zorluk, bu yaklaşım için önemli bir dezavantajdır.

Toplam gecikme süresini ve toplam tamamlanma süresini en aza indirmek amacıyla Utku ve diğ. (2022), bir otomotiv şirketinin iş programlama problemlerini çözmek için bir karma tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Araştırmacılar Ar-Ge departmanında müşteri siparişlerine göre ürünlerde gerekli modifikasyonları gerçekleştirmek için, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle bir paralel makine çizelgeleme modeli geliştirmişlerdir. AHP yöntemi ile yedi kriter göz önünde bulunarak ağırlık değerleri ($\alpha=0,628$ ve $\beta=0,372$) atanmıştır. Bu modelde tanımlanan problemi, GAMS CPLEX yazılımını kullanarak çözmüşlerdir. Gerçek veriler kullanılarak, modelde elde edilen planlama otomotiv firmasına uygulandığında önemli iyileşmeler sağladığı görülmüştür. Toplam tamamlanma süresi %93 oranında azalarak 10149 saatten 622 saate, maksimum gecikme süresi %91 oranında azalarak 104 saatten 9 saate ve toplam geç tamamlanma süresi %98 oranında azalarak 860 saatten 13 saate düşürülmüştür. Toplam tamamlanma süresi ve maksimum gecikme süresi ve toplam geç tamamlanma süresinde kayda değer düşüşler gözlemlenmiştir.

Tüm projelerin toplam kalite puanını maksimize eden, gecikme süresini ve toplam geliştirme maliyetini minimize eden üç hedef ile yola çıkan Badur (2021), ısıtma endüstrisindeki kaynak tahsisi problemleri üzerine bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, ayırık zamanlı karma tam sayılı doğrusal programlama, sürekli zamanlı olay tabanlı karma tam sayılı doğrusal programlama ve kısıt programlama modellerini oluşturup detaylı inceleyerek, kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi için literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemiştir. Modellerin performanslarını

karşılaştırabilmek adına 3 farklı yaklaşımdan oluşan test örnekleri oluşturmuştur. Gerçekleştirdiği testlere göre kısıt programlama modeliyle sonuçlara, ayırık zamanlı karma tam sayılı doğrusal programlamaya göre %83,34 sürekli zamanlı olay tabanlı karma tam sayılı doğrusal programlamaya göre ise %43,95 daha hızlı ulaşmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda kısıt programlama ile oluşturduğu modeli gerçek hayat problemine uyarlamıştır. Kaynak yetenekleri, hedef ağırlıkları ve kaynak sayısı değiştirilerek yönetimsel çıkarımların daha etkin bir şekilde yönlendirilmesi sağlanabilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, şirket toplam proje kalitesinden ödün verilmesine olanak tanıyarak, proje geliştirme maliyetlerini ve proje gecikmelerini azaltabilmektedir.



3. ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL

Proje çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonları düzenli ve düzensiz olmak üzere iki kategoride ele alınmaktadır. Düzenli amaç fonksiyonlarına; proje süresinin, proje maliyetinin ve proje gecikme süresinin en aza indirilmesi örnek olarak verilebilir. Bu amaç fonksiyonları, proje faaliyetlerinin başlangıç veya tamamlanma zamanı değiştirilerek iyileştirilebilir. Buna karşılık, bir faaliyetin başlama veya tamamlanma zamanının değiştirilmesi veya iyileştirilmesi, net bugünkü değerin maksimizasyonu ve kaynak dengeleme problemi gibi düzensiz amaç fonksiyonlarına katkıda bulunmaz (Ding ve diğ., 2023).

Düzenli amaç fonksiyonları; zaman bazlı, maliyet bazlı ve kalite bazlı olmak üzere kendi içerisinde üç kategoriye ayrılmıştır. Düzensiz amaç fonksiyonları; kaynak bazlı, Net Bugünkü Değer problemi ve sağlamlık (robustness) olmak üzere üç kategoride incelenmiştir. Ayrıca kaynak bazlı amaç fonksiyonları kendi içerisinde; kaynak kullanılabilirliği maliyet problemi, kaynak kiralama problemi, kaynak seviyelendirme problemi olmak üzere üç bölümde incelenmiştir. Bunlara ek olarak çok amaçlı fonksiyonlar birden fazla hedefi aynı anda gerçekleştirmek üzere bir arada kullanılırlar (Ding ve diğ., 2023).

Geleneksel proje yönetimi, genellikle tek bir boyutun optimizasyonunu dikkate alırken, gerçek hayatta karar verme sürecinde yöneticiler farklı gereksinimlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle, tek amaçlı optimizasyon günümüzde artık pratik gereksinimleri karşılamamaktadır. Tüm gereksinimleri karşılayabilmek adına, iki amaçlı veya çok amaçlı optimizasyon modellerinin kullanılması gerekmektedir. Proje sürecinde, proje yöneticileri için gerçekleştirilmesi gereken birden fazla amaç vardır. dd_i , i aktivitesinin termin süresi, rd_i , i aktivitesinin başlangıç zamanı ve w_i bir ödül veya maliyetle ilgili i aktivitesine ait ağırlık katsayısı olmak üzere bu amaçlardan bazıları Çizelge 3.1’de ifade edildiği gibidir (Ballest’in ve Blanco, 2011).

KKPÇP’yi açıkça çok amaçlı olarak değerlendiren ilk yazar Slowinski’dir. Çalışmasında; bölünebilir faaliyetler, çoklu modlar, yenilenebilir, yenilenemez ve çift yönden kısıtlı kaynaklara sahip olan çok amaçlı KKPÇP’ni ele almıştır. Kaynak

kısıtlarını dikkate alarak, çok amaçlı ve çok modlu KKPÇP için bir lineer programlama modeli sunmuştur. Bu çalışmada, öncülleri tamamlanan ve kaynak kısıtlarını ihlal etmeyen faaliyetlerin oluşturduğu kümeleri belirlemiştir. Bu kümeler arasından eniyileme için çoklu doğrusal programlama kullanılarak atanacak küme seçimi yapılmıştır. Araştırmasında, proje tamamlama süresi, net bugünkü değer, toplam kaynak tüketimi, geciken faaliyetlerin toplam sayısı ve tüketilen kaynakların ağırlığı gibi farklı amaç fonksiyonlarına odaklanmıştır. Slowinski, çalışmasında hedef programlama ve bulanık doğrusal programlama kullanım durumunu tartışarak ikincil bir proje performans ölçütü olarak da faaliyetlerin önceliklerinin sayısının azaltılmasını önermiştir (Slowinski, 1981).

Slowinski ve diğ. (1994), proje tamamlanma süresi, kaynak profilinin düzgünlüğü, toplam kaynak tüketimi, ağırlıklı kaynak tüketimi, ağırlıklı akış süresi ve net bugünkü değer gibi çeşitli hedefleri optimize etmek amacıyla; öncelik kuralları, benzetimli tavlama, dal ve sınır kullanarak bir karar destek sistemi önermiştir.

Al-Fawzan ve Haouari (2005), yapmış oldukları çalışmada iki amaçlı bir KKPÇP ele almışlardır. Amaç fonksiyonlarından biri proje çizelgesinin stabilitesinin maksimizasyonu iken diğer amaç fonksiyonu ise proje tamamlanma süresinin minimizasyonudur. Yapılan bu çalışmada tabu arama algoritması kullanılmıştır.

Kazemi ve Tavakkoli-Moghaddam (2011), yaptıkları çalışmada pozitif ve negatif nakit akışlarına ve iki amaç fonksiyonuna sahip çok modlu bir KKPÇP ele almışlardır. İlk hedefleri net bugünkü değerin maksimize edilmesi iken ikinci hedefleri ise, proje tamamlanma süresinin minimize edilmesidir. Bu iki amaçlı KKPÇP için, Pareto çözüm kümesini bulmak amacıyla NSGA-II ve MOPSO algoritmaları uygulanmıştır.

Viana ve Sousa (2000), çok amaçlı KKPÇP için çalışmalarında, üç farklı hedefi dikkate almışlardır. Bu hedefler; proje tamamlanma süresinin, faaliyetlerin ortalama ağırlıklı gecikmesinin ve kaynak kullanım ihlalinin toplamını en aza indirmektir. Yapılan çalışmalardan da anlaşıldığı gibi, çok amaçlı optimizasyonun ilkeleri tek amaçlı optimizasyondan farklıdır. Tek amaçlı optimizasyonda temel amaç, tek bir amaç fonksiyonu için optimum çözüm değerini bulmaktır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde ise, birden fazla amaç fonksiyonunun aynı anda optimize edilmesi hedeflenir ve genellikle bu fonksiyonlar birbirinden bağımsız veya birbiriyle çatışan hedeflerdir.

Çizelge 3.1 : Amaç fonksiyonları ve matematiksel formülasyonları.

Amaç	Matematiksel formül	Optimizasyon yönü	Kaynak
Projelerin tamamlanma süresi	ft_n	Minimizasyon	(Al-Fawzan ve Haouari, 2005), (Kazemi ve Tavakkoli-Moghaddam, 2011), (Viana ve Sousa, 2000)
Başlangıç zamanlarının toplamı	$\sum_{i=1}^n s_i$	Minimizasyon	(Jing ve diğ, 2014)
Ağırlıklı başlangıç zamanlarının toplamı	$\sum_{i=1}^n w_i s_i$	Minimizasyon	(Jing ve diğ, 2014)
Maksimum gecikme süresi	$\max \{0, ft_i - dd_i, i = 1, \dots, n\}$	Minimizasyon	(Jing ve diğ, 2014)
Geciken faaliyetlerin toplamı	$ \{ft_i > dd_i, i = 1, \dots, n\} $	Minimizasyon	(Slowinski, 1981)
Toplam ağırlıklı gecikme süresi	$\sum_{i=1}^n w_i \max\{0, ft_i - dd_i\}$	Minimizasyon	(Viana ve Sousa, 2000)
Toplam ağırlıklı akış süresi	$\sum_{i=1}^n w_i (ft_i - rd_i)$	Minimizasyon	(Slowinski ve diğ, 1994)
Net Bugünkü Değer	$\sum_{i=1}^n w_i e^{-\alpha ft_i}$	Maksimizasyon	(Slowinski ve diğ, 1994), (Kazemi ve Tavakkoli-Moghaddam, 2011),
Sağlamlık (Robustness)	$\sum_{i=1}^n slack(i, S)$	Maksimizasyon	(Al-Fawzan ve Haouari, 2005)

3.1 Problemin Tanımı

Çok amaçlı KKPÇP, birden fazla projenin ve bunların alt görevlerinin planlanması sürecinde; öncelik ilişkileri, kaynak kullanım miktarı, proje tamamlanma süresi gibi farklı faktörleri dikkate alarak birden fazla amacı gerçekleştirmeyi hedefler. Bu çalışmada, bir traktör firmasının AR-GE biriminde yürütülen validasyon test süreçleri ele alınmıştır. Her bir traktör projesinin birbirinden farklı sayıda ve türde validasyon test ihtiyacı vardır. Firmada birden fazla proje aynı anda yürütülmekte ve hepsi ortak bir kaynak havuzunu kullanmaktadır.

Bahsedilen bu projelerin validasyon test aktiviteleri arasında öncüllük-ardıllık ilişkisi mevcuttur. Öncelik ilişkisi belirtilen testler için, testin başlangıç koşulu bağlı olduğu testin bitmiş olmasıdır.

Problemin çözümü için belirli kaynak sayısı, projelerin termin süreleri ve testlerin öncüllük ilişkileri gibi parametreler dikkate alınarak, projelerin toplam gecikme süresi ve toplam fazla mesai miktarını en aza indirmek için ağırlıklı hedef programlama modeli geliştirilmiştir.

Modeli geliştirebilmek adına, toplam proje sayısı, kaynak tipleri, kaynak kapasitesi, her bir projenin validasyon test planı, testler arasındaki öncüllük ilişkisi, testlerin süreleri, projelerin tamamlanması gereken gün sayısı bilgileri firmadan alınmıştır.

Bu problemde her bir projenin birbirinden farklı sayıda ve tipte validasyon test ihtiyacı olduğu, 6 farklı kaynak türünü kullanan 25 projenin çizelgelenmesi gerekmektedir. Kullanılan kaynaklar türleri yenilenebilir kaynaklardır; yani bu belirli bir zaman diliminde kullanım miktarlarının sınırlı olduğu ve oluşan yeni bir zaman diliminde yeniden kullanılabildikleri anlamına gelmektedir. Dikkate alınan ARGE validasyon test süreci kaynak tipleri: Motor & HVAC, Hidrolik & Güç Aktarma Organları, NVH & Araç Doğrulama, Atölye, Saha Testi & Güvenilirlik, Elektrik & Elektronik test mühendisleridir. Her birim kendi uzmanlık alanındaki testleri gerçekleştirmektedir, bu doğrultuda testler kaynak tiplerine göre sınıflandırılmıştır. Örneğin, fren ve hidrolik kaldırıcı kapasite testleri Hidrolik & Güç Aktarma Organları birimi tarafından gerçekleştirilirken; gürültü, titreşim, komponent ömür testleri NVH & Araç Doğrulama birimi tarafından gerçekleştirilmektedir.

Projelerin ilk planlama aşamasında komponentlerin daha önceden valide edilip edilmediğine, birbiriyle uyum kriterlerine dikkat edilerek bir validasyon test planı oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu planın içerisinde testler arasındaki öncüllük-ardıllık ilişkileri belirtilmekte olup; testler ilgili ekiplere tanımlanmakta ve projelerin son teslim tarihi ekiplerle paylaşılmaktadır.

Amaç; birden fazla projenin, aynı yenilenebilir kaynak havuzunu kullandığı bu problemde projeleri minimum gecikme ve minimum fazla mesai süresi ile tamamlamaktır.

Aslında her iki amaç da maliyetle ilişkilidir. Örneğin; projelerin tamamlanması beklenen süre aşıldığında pazarda bir boşluk oluşmakta ve firma açısından maddi kayıplara sebep olabilmektedir. Fazla mesai için de normal mesaiden fazla bir ücret ödendiğinden, firma için ekstra bir maliyet oluşmaktadır. Pazardaki boşluk sebebiyle oluşan mali kayıplar ile fazla mesai ücreti kıyaslandığında, firmanın pazardaki yerini koruması ve müşteri beklentilerini, memnuniyetini karşılaması ön plana çıkmaktadır.

3.2 Ağırlıklı Hedef Programlama Matematiksel Modeli

Doğrusal programlama ilk olarak 1940'larda George Dantzig tarafından geliştirilmiş ve ekonomi sektörü başta olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Tek kriterli karar verme kapsamında, doğrusal programlama modelleri karın maksimizasyonu veya maliyetin minimizasyonu gibi yalnızca tek bir amaç fonksiyonunu optimize eder. Çok kriterli karar verme problemi kapsamında, hedef programlama modeli doğrusal programlama modellerinin bir uzantısı olarak görülebilir. Hedef programlama ile birbiriyle bağdaşmayan ve çelişen birçok hedef aynı anda optimize edilir. Bu model, hedeften sapmaların en aza indirilmesini amaçlar (Auoni ve diğ, 2015).

Hedef programlama, için ilk olarak ulaşılması istenen hedef değerlerin belirlenmesi gerekir. Belirlenen hedeflerin öncelik seviyeleri farklı olabilir. İkinci olarak problemin çözüm alanını belirleyen kısıtlar belirlenir. Bu kısıtlar, kaynak ve zaman gibi çeşitli parametreleri içerebilir. Kısıtlar belirlendikten sonra sapma değişkenleri tanımlanır. Hedefe ulaşma durumunu göstermek için pozitif ve negatif sapma değişkenleri eklenir. Daha sonra sapma değişkenlerini ve varsa sapma değişkenlerinin ağırlıklarını içeren amaç fonksiyonu oluşturulur. Oluşturulan amaç fonksiyonuyla birlikte genellikle

hedeften sapmalar minimize edilmeye çalışılır. Oluşturulan matematiksel model çeşitli optimizasyon yöntemleri ve araçları ile çözülür ve sonuç elde edilir.

Hedef programlamanın genel matematiksel formülü ilk olarak Charnes ve Cooper tarafından 1961’de geliştirilmiştir. Daha sonra Charnes ve Cooper, 1977’de bu formüle ağırlık katsayılarını da ekleyerek ağırlıklı hedef programlama modelini sunmuşlardır. Oluşturdukları ağırlıklı hedef programlama modeli:

$$\text{Minimize } \sum_{\mu=1}^v (w_{\mu}^{+} \delta_{\mu}^{+} + w_{\mu}^{-} \delta_{\mu}^{-}) \quad (3.1)$$

$$f_{\mu}(x) + \delta_{\mu}^{-} - \delta_{\mu}^{+} = g_{\mu} \quad (\mu = 1, \dots, v), (x \in X) \quad (3.2)$$

$$\delta_{\mu}^{+} \text{ ve } \delta_{\mu}^{-} \geq 0 \quad (\mu = 1, \dots, v) \quad (3.3)$$

şeklindedir.

$f_{\mu}(x)$ karar değişkenlerinin fonksiyonudur, g_{μ} μ . hedefin ulaşılması amaçlanan hedef değeridir, δ_{μ}^{+} ve δ_{μ}^{-} ise sırasıyla pozitif ve negatif sapmayı ifade eder. w_{μ}^{+} ve w_{μ}^{-} negatif ve pozitif sapma değerlerinin ağırlığını gösterir. Bu model aracılığıyla, her bir hedef değer ($\mu = 1, \dots, v$) için g_{μ} değerine daha yakın olan bir çözüm aranır. Aralarındaki ilişki $f_{\mu}(x_1, x_2, \dots, x_n) \cong g_{\mu} \quad (\mu = 1, \dots, v)$ şeklinde ifade edilebilir.

Formül 3.1’de ifade edilen amaç fonksiyonu ile hedeften pozitif ve negatif sapmalar ağırlıklandırılarak minimize edilmesi hedeflenmiştir. 3.2 ile her bir hedefin sapması tanımlanmış ve 3.3 ile pozitif ve negatif sapma değerlerinin negatif olamayacağı ifade edilmiştir.

3.3 Önerilen Matematiksel Model

Problemde birden fazla amacın aynı anda gerçekleştirmesi hedeflendiğinden, önerilen model oluşturulurken ağırlıklı hedef programlama yönteminden faydalanılmıştır.

Problem için esas alınan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- i. Faaliyet süreleri belirlidir.
- ii. Faaliyetlerin birim zamandaki kaynak kullanım miktarı sabittir.
- iii. Bir faaliyete atanan kaynak, faaliyet süresince sürekli olarak o faaliyet tarafından kullanılır.

- iv. Başlatılan faaliyetler ara verilmeden, kesintisiz bir şekilde tamamlanmalıdır.
- v. Faaliyetler iptal edilemez. Proje serimindeki her faaliyet tamamlanmak zorundadır (Ulusoy, 2002).

Matematiksel modele ait kümelerin tanımı, indekslerin tanımı, parametrelerin tanımı ve karar değişkenleri sırasıyla Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Matematiksel modelde kullanılan notasyon.

Kümeler	Tanım
P	Proje sayısı
V_p	P projesindeki validasyon test sayısı
C_r	r kaynağının kapasitesi
R	Kaynak sayısı
T	Planlama ufku
O_p	P projesindeki öncüllük kümesi
OCC_r	r kaynağı için fazla mesai maliyeti
OCH	Planlama ufku içerisinde 1 kişi için maksimum yasal fazla mesai saati
İndeksler	Tanım
i, j	Aktivite indeksi (i, j= 0,... ,V+1)
t	Zaman periyodu indeksi (t=0,...,T)
r	Kaynak indeksi (r=1,...,R)
p	Proje indeksi (p=1,...,P)
Parametreler	Tanım
w_{rpi}	P projesindeki i testini gerçekleştirmek için gerekli r kaynağının miktarı
d_{pi}	P projesindeki i testinin süresi
DDT_p	P projesinin termin süresi
W_1	Proje gecikme minimizasyonu için amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı
W_2	Fazla mesai minimizasyonu için amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı
G_1	Proje gecikme minimizasyonu için amaç fonksiyonu normalizasyon katsayısı
G_2	Fazla mesai minimizasyonu için amaç fonksiyonu normalizasyon katsayısı
Karar değişkenleri	Tanım
x_{ipt}	Eğer p projesindeki i. validasyon testi t. zamanda başlarsa, 1; başlamaz ise 0
G_p	P Projesinin gecikme süresi
C_p	P projesinin tamamlanma süresi
OC_{rt}	r kaynağının t. zamanda yaptığı fazla mesai
TOC	Toplam fazla mesai
$TOCC$	Toplam fazla mesai maliyeti
MOC	Maksimum yasal fazla mesai süresi
D_1	P projesi için toplam gecikme süresinden pozitif sapma miktarı
D_2	P projesi için toplam fazla mesai sayısından pozitif sapma miktarı

Tam Sayılı Programlama Modeli:

$$\text{Minimize } \sum_{p=1}^P G_p \quad (3.1)$$

$$\text{Minimize } \sum_{r=1}^R \sum_{t=0}^T OC_{rt} \quad (3.2)$$

$$t * x_{Vson,p,t} \leq C_p, \forall p, t = 0 \dots T \quad (3.3)$$

$$G_p \geq C_p - DDT_p, \forall p \quad (3.4)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{t=0}^T OC_{rt} = TOC, \forall r, t = 0 \dots T \quad (3.5)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{t=0}^T OC_{rt} * OCC_r = TOCC, \forall r, t = 0 \dots T \quad (3.6)$$

$$\sum_{t=0}^T X_{Vson,p,t} = 1, \forall p \quad (3.7)$$

$$\sum_{t=0}^T x_{i,p,t} = 1 \quad \forall p, i = 1 \dots V_p \quad (3.8)$$

$$\sum_{t=0}^T t * X_{jpt} - \sum_{t=0}^T t * x_{ipt} \geq d_{p,i}, \forall (i,j) \in O_p, \forall p \quad (3.9)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^{V_p} w_{rpi} * (\sum_{z=\max\{t-d_{pi}+1,0\}}^P x_{ipz} - OC_{rt} \leq C_r, \forall r, t = 0 \dots T \quad (3.10)$$

$$\sum_{r=1}^R C_r * OCH = MOC, \forall r \quad (3.11)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{t=0}^T OC_{rt} * 9 \leq MOC, \forall r, t = 0 \dots T \quad (3.12)$$

Karar modelinin 3.1 ve 3.2 olmak üzere iki ayrı amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar; projelerin toplam gecikme süresini ve toplam fazla mesai süresini minimize etmektir. 3.3 numaralı kısıtla birlikte her projenin tamamlanma süresi hesaplanmaktadır. 3.4 numaralı kısıtla, her projenin gecikme süresi, proje tamamlanma süresinden proje termin süresi çıkarılarak hesaplanmaktadır. Toplam fazla mesai 3.5 numaralı kısıt ile, toplam fazla mesai maliyeti ise 3.5 ile fazla mesai maliyeti çarpılarak elde edilmiştir. Eklenen yapay faaliyetlerin yalnızca bir zaman periyodunda başlayacağı 3.7 numaralı kısıt ile sağlanmıştır. 3.8 numaralı kısıt ile projeye ait olan her bir faaliyetinin yalnızca bir zaman periyodunda başladığı, 3.9 numara ile proje faaliyetlerinin öncelik sırasına uygun şekilde başlayacağı ifade edilmiştir. t zamanında fazladan tüketilen r kaynak miktarının; tüketilen normal kaynak sayısının, toplam kaynak kapasitesinden daha fazla olduğunda hesaplanması

durumu ise 3.10 numaralı kısıtla ifade edilmiştir. Toplam kaynak kapasitesinin, planlama ufku içerisinde 1 kişi için maksimum yasal fazla mesai saati ile çarpılmasıyla birlikte hesaplanan maksimum yasal fazla mesai saati 3.11 numaralı kısıt ile ifade edilmiştir. Toplam fazla mesai süresinin, maksimum yasal fazla mesai süresinden küçük olması gerektiği ise 3.12 numaralı kısıt ile sağlanmıştır.

Matematiksel modeli, hedef programlama ile çözebilmek adına amaç fonksiyonu daha sonradan 3.13 şeklinde güncellenmiş ve 3.14 ve 3.15 olmak üzere iki yeni kısıt eklenmiştir. Eklenen bu yeni kısıtlar sırasıyla; p projesi için toplam gecikme süresinden ve toplam fazla mesaiden pozitif sapmayı hesaplamaktadır.

$$\text{Minimize } \frac{W_1 * D_1}{G_1} + \frac{W_2 * D_2}{G_2} \quad (3.13)$$

$$\sum G_p - D_1 = 0, \forall p \quad (3.14)$$

$$TOC - D_2 = 0 \quad (3.15)$$

Oluşturulan matematiksel model, karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan OPL ile kodlanmış ve IBM ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanılmıştır.

3.4 Örnek Problem

Gerçek hayat probleminin verileri daha büyük olduğundan, öncelikle küçük bir örnek üzerinden matematiksel model kurulmuş ve IBM ILOG CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Örnek problemde validasyon test aktiviteleri sırasıyla 10, 5 ve 7 olan 3 farklı proje ve 2 farklı kaynak tipi ele alınmıştır. Kaynakların kapasiteleri sırasıyla 4 ve 5 kişidir.

3.5 Örnek Problemin Parametreleri

Örnek problemde yer alan projelerin validasyon test aktivitelerinin; test süresi, kaynak kullanım miktarları ve öncül testleri sırasıyla Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 : Örnek Proje-1 verileri.

Proje-1				
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	4	1	3
1	2	2	2	4
1	3	4	3	1
2	4	6	0	0
2	5	5	2	0
3,5	6	3	1	1
6	7	1	2	0
4,7	8	8	1	1
8	9	3	2	3

Çizelge 3.4 : Örnek Proje-2 verileri.

Proje-2				
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	6	2	2
1	2	2	2	3
2	3	7	1	4
2	4	3	2	2
3,4	5	9	1	2

Çizelge 3.5 : Örnek Proje-3 verileri.

Proje-3				
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	1	1	3
1	2	3	3	1
-	3	5	1	2
2	4	6	2	1
3,4	5	7	1	2
5	6	3	1	2
5	7	4	1	3

Projelerin termin süreleri validasyon aktivitelerine bağlı olarak birbirinden farklıdır.

Örnek problemin termin süreleri Çizelge 3.6’da belirtildiği gibidir.

Çizelge 3.6 : Örnek problemin proje termin süreleri.

	Proje-1	Proje-2	Proje-3
Termin Süresi	32 gün	25 gün	39 gün

Örnek problemin matematiksel modelinde planlama ufku $T=40$ gün olarak belirlenmiştir ve 3 projenin toplam tamamlanma süresi 40 günü geçmemelidir.

3.6 Örnek Problemin Çözümü

Örnek problemde iki farklı amaç fonksiyonu olduğundan öncelikle model her bir amaç fonksiyonu için ayrı ayrı çözülmüştür. Amaç fonksiyonu projelerin toplam gecikme süresini minimize etmek yani 3.1 şeklindeken; projelerin toplam gecikme süresi 0 gün, toplam fazla mesai ise 16 adam*gün olarak bulunmuştur. Amaç fonksiyonu toplam fazla mesaiyi minimize etmek yani 3.2 şeklindeken; projelerin toplam gecikme süresi 13 gün ve toplam fazla mesai süresi 0 adam*gün şeklinde bulunmuştur.

Örnek problem, ağırlıklı hedef programlama yöntemiyle yeniden çözülmüştür ve ağırlıklar; toplam gecikme süresi için 0,8 ve toplam fazla mesai için 0,2 şeklinde olacak şekilde düzenlenmiştir.

Matematiksel model OPL ile kodlanmış ve IBM ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanılarak çözülmüştür.

Ulaşılan çözümle birlikte, her bir projenin validasyon test aktivitesinin hangi zaman diliminde başlayacağı, karar değişkenleri kısmında bahsedilen x_{ipt} ile elde edilmiştir. Örnek vermek gerekirse $x_{[3,1,4]} = 1$ değişkeni, 1. projenin 3. aktivitesinin $t=4$ zaman diliminde başlayacağını ifade etmektedir. Başlangıç zaman dilimine, aktivitenin süresi eklendiğinde ise aktivitenin tamamlanma zamanı hesaplanabilmektedir. Hangi zaman diliminde, hangi kaynak türünün, ne kadar fazla mesai yapması gerektiği ise; karar değişkenleri kısmında bahsedilen OC_{rt} ile elde edilmiştir. $OC[1][5] = 3$ şeklinde karşımıza çıkan sonuç, 1. kaynak türünün $t=5$ zaman diliminde 3 adam*gün fazla mesai yapması gerektiğini ifade etmektedir.

Modelin yukarıda belirtilen ağırlıklar ile çözülmesiyle birlikte, projeler hiç gecikmeden ve toplamda 14 adam*gün fazla mesai yapılarak tamamlanmıştır. Projelerin tamamlanma süresi sırasıyla 32, 25 ve 39 gündür.

Örnek problem çözüldüğünde elde edilen x_{ipt} değerleri Çizelge 3.7’de gösterilmiş ve daha anlaşılır olması açısından Şekil 3’te gösterilen Gantt şeması oluşturulmuştur.

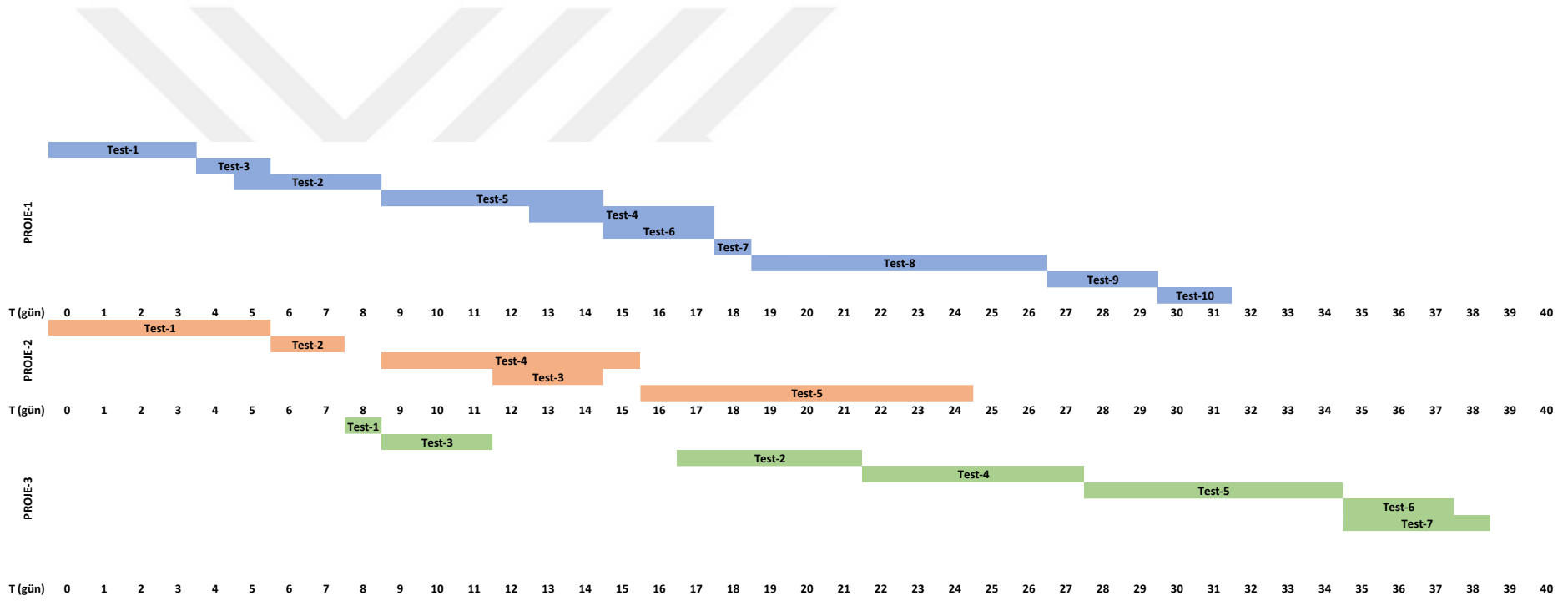
Matematiksel modelin çözümüne göre, projelerin minimum gecikme süresi ve minimum fazla mesai ile tamamlanması adına; hangi zaman diliminde, hangi kaynak türünün, ne kadar fazla mesai yapmaya ihtiyaç duyduğu Çizelge 3.8’de belirtilmiştir. Matematiksel modelin çözümünü doğrulamak için Çizelge 3.9 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.7 : Elde edilen x_{ipt} çözüm değerleri.

Proje	Faaliyet	Başlangıç Zamanı (t)
1	1	0
2	1	0
1	3	4
1	2	5
2	2	6
3	1	8
3	3	9
2	4	9
1	5	9
2	3	12
1	4	13
1	6	15
2	5	16
3	2	17
1	7	18
1	8	19
3	4	22
2	11	25
1	9	27
3	5	28
1	10	30
1	11	32
3	6	35
3	7	35
3	11	39

Çizelge 3.8 : Örnek problem kaynak tipi ve fazla mesai ihtiyacı.

Zaman (t)	Kaynak Tipi	Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
4	2.	1
5	1.	3
5	2.	2
6	1.	1
7	1.	1
12	2.	1
13	1.	1
13	2.	1
14	1.	1
14	2.	1
17	1.	1



Şekil 3.1 : Örnek problemin Gantt şeması.

Çizelge 3.9 : Matematiksel modelin örnek problem için doğrulaması.

Zaman Dillimi (t)	1.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	1.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	2.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	2.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	3.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	3.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	Toplam Kaynak-1 Kullanımı	Toplam Kaynak-2 Kullanımı	Kaynak1 Kapasite Aşımı	Kaynak-2 Kapasite Aşımı
0	1	3	2	2	0	0	3	5	0	0
1	1	3	2	2	0	0	3	5	0	0
2	1	3	2	2	0	0	3	5	0	0
3	1	3	2	2	0	0	3	5	0	0
4	2	4	2	2	0	0	4	6	0	1
5	5	5	2	2	0	0	7	7	3	2
6	3	1	2	3	0	0	5	4	1	0
7	3	1	2	3	0	0	5	4	1	0
8	3	1	0	0	1	3	4	4	0	0
9	0	0	1	4	3	1	4	5	0	0
10	0	0	1	4	3	1	4	5	0	0
11	0	0	1	4	3	1	4	5	0	0
12	0	0	3	6	0	0	3	6	0	1

Çizelge 3.9 (devam): Matematiksel modelin örnek problem için doğrulaması.

Zaman Dillimi (t)	1.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	1.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	2.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	2.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	3.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	3.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	Toplam Kaynak-1 Kullanımı	Toplam Kaynak-2 Kullanımı	Kaynak1 Kapasite Aşımı	Kaynak-2 Kapasite Aşımı
13	2	0	3	6	0	0	5	6	1	1
14	2	0	3	6	0	0	5	6	1	1
15	3	1	1	4	0	0	4	5	0	0
16	3	1	1	2	0	0	4	3	0	0
17	3	1	1	2	1	2	5	5	1	0
18	2	0	1	2	1	2	4	4	0	0
19	1	1	1	2	1	2	3	5	0	0
20	1	1	1	2	1	2	3	5	0	0
21	1	1	1	2	1	2	3	5	0	0
22	1	1	1	2	2	1	4	4	0	0
23	1	1	1	2	2	1	4	4	0	0
24	1	1	1	2	2	1	4	4	0	0
25	1	1	0	0	2	1	3	2	0	0

Çizelge 3.9 (devam): Matematiksel modelin örnek problem için doğrulaması.

Zaman Dillimi (t)	1.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	1.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	2.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	2.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	3.Projenin Kaynak-1 Kullanımı	3.Projenin Kaynak-2 Kullanımı	Toplam Kaynak-1 Kullanımı	Toplam Kaynak-2 Kullanımı	Kaynak1 Kapasite Aşımı	Kaynak-2 Kapasite Aşımı
26	1	1	0	0	2	1	3	2	0	0
27	2	3	0	0	2	1	4	4	0	0
28	2	3	0	0	1	2	3	5	0	0
29	2	3	0	0	1	2	3	5	0	0
30	3	2	0	0	1	2	4	4	0	0
31	3	2	0	0	1	2	4	4	0	0
32	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0
33	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0
34	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0
35	0	0	0	0	2	5	2	5	0	0
36	0	0	0	0	2	5	2	5	0	0
37	0	0	0	0	2	5	2	5	0	0
38	0	0	0	0	1	3	1	3	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. MATEMATİKSEL MODELİN GERÇEK HAYAT PROBLEMİNE UYGULANMASI

Bu bölümde gerçek hayat probleminden bahsedilecek, şirket hakkında genel bilgi ve gerçek hayat probleminin parametrelerine yer verilecektir. Sonrasında, çok amaçlı kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için önerilen modelin gerçek hayat problemine uygulanmasından bahsedilecektir.

4.1 Şirket Hakkında Genel Bilgi

Çalışma yapılan şirket 1954 yılında Ankara’da kurulmuştur. Başta Kuzey Amerika ve Avrupa olmak üzere birçok ülkeye ihracat yapmakta olan bu firma; traktör, iş makineleri ve tarım ekipmanları üretmektedir. Türkiye’de iki farklı konumda fabrikası bulunan bu firma; traktör ve iş makinelerinde kullanılan şanzıman, dişliler ve motor gibi komponentlerini kendi üretim tesislerinde üretmektedir. İki fabrikanın toplam çalışan sayısı 3000 kişiye yakındır ve yıllık toplam üretim kapasitesi 54.000 traktördür. Fabrikada çeşitli ısıtım işlem hatları, motor üretim hattı, montaj hattı, kalite kontrol laboratuvarları ve motor ve gövde test cihaz & alanları mevcuttur (URL-1, 2024).

Şirketin AR-GE merkezi Ankara ve İstanbul’da bulunmaktadır ve bu merkezlerde toplamda 100’den fazla kişi çalışmaktadır. Şirketin AR-GE merkezi, 2009 yılında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından sektörün ilk AR-GE merkezi olarak tescillenmiştir. Ankara’da bulunan merkezde tasarım, bilgisayar destekli analiz, komponent doğrulama ve ürün performans testleri gibi faaliyetler yürütülmektedir. Daha sonradan açılan İstanbul’daki AR-GE merkezi ise yeni nesil mobilite ve tarım teknolojilerinin ürünlere uygulanmasına odaklanmaktadır (URL-1, 2024).

Ürünlerin endüstriyelleşme sürecini desteklemek adına farklı fonksiyonlar ve birimler de AR-GE merkeziyle birlikte çalışmaktadır. AR-GE birimine katkı sağlayan; pazarlama, satın alma, finansal kontrol, üretim mühendisliği ve satış sonrası gibi çeşitli departmanlar bulunmaktadır.

Şirket, Türkiye'de ilk kez off-road kullanım amaçlı Stage-III B, Stage-IV, Stage-V ve Tier-4 emisyon seviyelerindeki motorların geliştirilmesi, yerli ve yabancı pazarlar için ürünlerin bu emisyon seviyelerine uygun hale getirilmesi, yarı otomatik şanzımanlı traktörlerin Türkiye'de ilk defa tasarlanması ve fabrika çıkışlı otomatik dümenleme sistemlerinin Türkiye'de ilk kez üretilip piyasaya sunulması gibi birçok faaliyete öncülük etmiştir.

Pazar ihtiyaçlarını ve müşteri taleplerini karşılayabilmek adına birden fazla araştırma ve geliştirme projesini aynı anda yürüten bu firmada her proje için öncelikle prototip araçlar üretilmekte ve validasyon faaliyetleri bu araçlarda tamamlanmaktadır. Validasyon faaliyetlerini yürüten mühendisler AR-GE merkezine bağlıdır ve Motor & HVAC, Hidrolik & Güç Aktarma Organları, NVH & Araç Doğrulama, Atölye, Saha Testi & Güvenilirlik, Elektrik & Elektronik gibi farklı departmanlarda çalışmaktadır. Validasyon süreçlerinde her departman kendi uzmanlık alanına ait testlerden sorumludur. Örneğin; titreşim, gürültü ve komponent bazlı çeşitli ömür testleri NVH & Araç Doğrulama ekibi tarafından gerçekleştirilirken; fren, durma mesafesi, hidrolik kaldırma kapasitesi, fren sistemi dayanımı gibi testler Hidrolik & Güç Aktarma Organları ekibi tarafından gerçekleştirilmektedir.

4.2 Gerçek Hayat Problemi

Yapılan bu çalışmada, bahsedilen firmanın geliştirdiği traktör projelerinin AR-GE test süreçlerinin çizelgelemesi üzerine çalışılmıştır. Çok sayıda proje, aynı anda ve aynı kaynak havuzunu kullanarak yürütüldüğünde oluşan plan karmaşası, artan fazla mesai sürelerinin azaltılması ve test süreçlerinin gecikmesinin önlenmesi üzerine çalışılmıştır.

Bu bölümde gerçek hayat probleminin detayları anlatılmış ve önerilen matematiksel modelin uygulamasından bahsedilmiştir.

4.2.1 Problemin tanımı & çalışmanın hedefi

AR-GE merkezinde karşılaşılan en büyük problem; aynı anda birden fazla proje yürütüldüğünde oluşan doğrulama test planlarının çakışması durumu ve önceliklerin doğru belirlenememesi nedeniyle plan karmaşasının ortaya çıkması ve test süreçlerinin uzamasıdır.

Yürütülen tüm projeler ortak kaynak havuzunu kullanmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen kaynaklar AR-GE test mühendisleridir ve yenilenebilir kaynak tipi kategorisindedir, yani bu belirli bir zaman diliminde kullanım miktarlarının sınırlı olduğu ve oluşan yeni bir zaman diliminde yeniden kullanılabilir oldukları anlamına gelmektedir.

Bu çalışma, her biri farklı validasyon gerekliliklerine sahip 25 projenin, 6 farklı kaynak türünü kullanarak çizelgelenmesi ele almıştır. Projelerdeki faaliyet çakışmalarının önlenmesi ve tüm faaliyetler arasındaki öncül-ardıl ilişkisinin doğru belirlenmesi ile proje gecikme sürelerinin ve fazla mesai sürelerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Mevcut kaynak kapasitesini en verimli şekilde kullanarak, projelerin gecikmeleri önlenmeye çalışılmıştır.

Kısıtlı kaynaklarla birden fazla hedef aynı anda gerçekleştirilmeye çalışıldığından, bu problem çok amaçlı KKPÇP olarak değerlendirilmektedir. Problemin çözümünde ağırlıklı hedef programlama yönteminden faydalanılmıştır.

4.2.2 Proje

Şirkette, aynı anda birçok AR-GE projesi yürütülmekte ve yürütülen her projenin birbirinden farklı sayıda ve türde doğrulama testi ihtiyacı vardır. Bu çalışmada ele alınan projeler, traktör geliştirme projeleridir.

Her bir proje pazar ihtiyacı ve müşteri talebi doğrultusunda şekillendirilir. Pazar ihtiyacı ve müşteri talepleri doğrultusunda yeni ürünlerin geliştirilebilmesi ve tasarlanabilmesi için ilgili tasarım ekipleri devreye girer. Firmada ürün tasarımıyla ilgilenen dört ana bölüm vardır. Bunlar; Kabin ve Platform, Aktarma Organları, Elektrik & Elektronik Mimarisi ve İleri Teknolojiler Tasarım Mühendisliği bölümleridir.

İlgili tasarım ekipleri, proje için kullanılması uygun görülen özellikleri ve bu özelliklerle uyumlu komponentleri belirledikten sonra bu parçaların tasarım aşamasını değerlendirir. Traktörün sahip olması beklenen özellikler, mevcut parçalarla sağlanabilecek durumda ise yeni bir tasarıma ihtiyaç duyulmaz ve mevcut parça tasarımlarıyla ilerlenir. Özelliklerin, mevcut parçalarla uyumlu bir biçimde çalışmayacağı ön görülüyorsa ise yeni tasarımlar plana alınır.

Tasarım süreci tamamlandıktan sonra prototip traktör üretimleri başlar. Üretim sürecinden sonra tasarımın uygunluğu, komponentlerin birbiri ile uyumlu çalışma koşulları, komponentlerin dayanımı ve performansı için çeşitli validasyon test planları oluşturulmaktadır.

4.2.3 Planlama süreci & validasyon testi

Oluşturulan projenin tasarımını doğrulamak adına; ürün özellikleri, kullanım amacı, müşteri beklentileri, yeni içerik ve teknolojik değişiklikler göz önüne alınarak validasyon test planları oluşturulmaktadır. Validasyon test planının sınırları içerisinde alt komponent, sistem, laboratuvar testleri ile saha testleri bulunmaktadır. Validasyon test planları üretilen prototip traktörler ve ilk seri ürünler üzerinde tamamlanmaktadır.

Komponent ve sistem bazlı tasarımı ve ürünü doğrulamak adına; motor performansı ve emisyon ölçümleri, hızlandırılmış ömür testleri, motorların ve diğer komponentlerin kullanıldığı süre boyunca maruz kalacağı koşulların oluşturulması, kabin başta olmak üzere komponentler ve ürünün tamamı için vibrasyon ve darbe etkileri analizi gibi farklı validasyon faaliyet planları oluşturulur.

Validasyon test planları oluşturulurken;

- i. Tasarımın daha önce doğrulanıp doğrulanmadığı,
- ii. Tasarlanan komponentlerin birbiriyle uyumu ve çalışma prensibi,
- iii. Ürün performans beklentisi,
- iv. Güvenlik,
- v. Homologasyon şartları,
- vi. Komponent dayanımı ve ömrü

gibi kriterler dikkate alınır ve buna yönelik bir plan oluşturulur.

Validasyon faaliyetleriyle birlikte;

- i. Ürün güvenilirliğinin artması,
- ii. Geliştirme sürecinin kısalması,
- iii. Müşteri memnuniyetinin artması,
- iv. Çözüm sürecinin hızlanması,

- v. İyileştirme yöntemlerinin gelişmesi,
- vi. Tasarım iyileşmelerine katkı sağlanması,
- vii. Tedarikçi gelişimine ve ürün kalitesine katkı sağlanması

hedeflenmekte ve gerçekleştirilmektedir.

4.2.4 Kaynak türleri

Her validasyon faaliyeti, konu hakkında uzman ekip tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kaynak tipi olarak ele alınan, doğrulama testlerini yürüten ve raporlamasını yapan toplamda 6 farklı mühendislik ekibi vardır. Motor & HVAC, Hidrolik & Güç Aktarma Organları, NVH & Araç Doğrulama, Atölye, Saha Testi & Güvenilirlik ve Elektrik & Elektronik test ekipleri AR-GE merkezine bağlıdır.

Motor & HVAC ekibi; motor performans ve emisyon ölçümleri, iklimlendirme, ısıtma ve soğutma performansı, motor ömür testi, yakıt sistemi gibi test faaliyetlerinden sorumludur.

Hidrolik & Güç Aktarma Organları ekibi; fren sistemi, fren dayanımı, hidrolik pompa, valf performansı ve hidrolik kaldırma kapasitesi doğrulama faaliyetlerini yürütmektedir.

NVH & Araç Doğrulama ekibi; kabin ve ürünün tamamı için titreşim, gürültü, kapı cam ve araç içerisindeki vites vb. tüm kolların dayanım testi, ağırlık merkezi ölçümü gibi test faaliyetlerini gerçekleştirmektedir.

Atölye ekibi; araçların test koşullarına uygun hale getirilmesinden, araçta bulunan mekanik, elektrik veya hidrolik arızalarının giderilmesinden, yeni parça denemeleri ve bu parçaların uyum sürecinden, prototip parça tedarik sürecinden sorumludur.

Saha Testi & Güvenilirlik ekibi; ürünün saha koşullarında çalışmasını ve ekipmanlarla olan uyumunu test etmek adına prototip ürünleri gerçek bir kullanıcıya gönderme sürecinden, bu süreçte çıkan hataların takibi ve giderilmesi için gerekli aksiyonların fiziksel olarak alınmasından sorumludur.

Elektrik & Elektronik ekibi; tesisatların kontrolü, elektriksel aksam ve komponentlerin çalışma koşullarının testi, motor ve gösterge yazılım kontrolleri, elektriksel ve yazılımsal hataların kontrolü ve çözümü gibi validasyon faaliyetlerini gerçekleştirmektedir.

4.2.5 Öncül-Ardıl test ilişkisi

Validasyon test planlamaları yapılırken testler arasındaki ilişkiyi incelemek ve testlerin arasındaki öncelik sıralamasını belirlemek oldukça önemlidir. Örneğin; yukarıda bahsedilen ömür testlerinin sonunda, test yapılan ilgili komponent kullanım ömrünü doldurup deforme olduğundan, traktörün sahip olduğu fonksiyonlar ve performansı doğrudan etkilenmektedir. Bu sebeple, genellikle ömür testleri validasyon aktivite planının en sonuna yerleştirilmektedir.

Traktör saha testine gönderilmeden önce, traktörün fonksiyonelliğini etkilen tüm testler tamamlanmalı ve ürünün tüm özelliklerinin doğru çalıştığından emin olduktan sonra tarla testi başlamalıdır. Bu sebeple yine tarla testi de validasyon planının son aktivitelerinden biri olarak düşünülebilir.

Testler arasındaki öncüllük-ardıllık ilişkisinin doğru belirlenmesinin bir diğer önemli yanı, eş zamanlı yürütülebilecek faaliyetlerin ortaya çıkması ve bu aktivitelerin paralel yürütülmesi sonucunda projelerin daha kısa sürede tamamlanmasının sağlanmasıdır.

Bu çalışmada her bir proje için gerekli validasyon testleri belirlendikten sonra bu testler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve öncelik ilişkileri model içerisinde belirtilmiştir. Öncülü olmayan faaliyetler, kaynak sayısının yeterli olduğu durumlarda eş zamanlı olarak yürütülebilir. Bir validasyon testi, tüm öncül faaliyetleri tamamlandıktan hemen sonra başlayabilir.

4.3 Gerçek Hayat Probleminin Çözümü

Gerçek hayat probleminde projelerin toplam gecikme süresi ve toplam fazla mesai süreleri minimize edilmesi gibi birden fazla amaç aynı anda gerçekleştirilmek istendiğinden 3. Bölümde yer alan matematiksel model önerilmiş ve ağırlıklı hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Önerilen modelin çözümü için IBM ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanılmıştır.

4.3.1 Gerçek hayat problemi için varsayımlar

Gerçek hayat probleminin çözümü için aşağıdaki varsayımlar kullanılmıştır;

- i. Faaliyet süreleri belirlidir.
- ii. Faaliyetlerin birim zamandaki kaynak kullanım miktarı sabittir.

- iii. Bir faaliyete atanan kaynak, faaliyet süresince sürekli olarak o faaliyet tarafından kullanılır.
- iv. Başlatılan faaliyetler ara verilmeden, kesintisiz bir şekilde tamamlanmalıdır.
- v. Faaliyetler iptal edilemez. Proje serimindeki her faaliyet tamamlanmak zorundadır. (Ulusoy, 2002)

4.3.2 Uygulama verileri

Uygulama yapılan probleme ait 25 farklı projenin; kaynak kullanım miktarı, test süreleri ve testler arasındaki öncüllük-ardıllık ilişkisi gibi verileri EK’te belirtilmiştir. Projelerin termin süreleri ve toplam validasyon test sayıları Çizelge 4.1’de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.1 : Projelerin termin süresi.

Proje Numarası	Termin Süresi (gün)	Validasyon Test Sayısı
1	52	9
2	57	12
3	84	1
4	94	2
5	30	6
6	20	1
7	148	7
8	93	5
9	16	4
10	42	9
11	7	2
12	12	3
13	103	2
14	80	7
15	6	5
16	105	9
17	148	12
18	23	5
19	50	6
20	74	3
21	189	13
22	16	3
23	95	6
24	33	5
25	11	2

Modelde planlama ufku $T=189$ gün olarak seçilmiş ve tüm projelerin bu süreden önce tamamlanması gerekmektedir. Problemde belirtilen kaynak türlerinin kapasiteleri ise Çizelge 4.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.2 : Kaynak kapasiteleri.

Kaynak Tipleri	Kapasite (kişi)
1. Kaynak tipi	5
2. Kaynak tipi	6
3. Kaynak tipi	6
4. Kaynak tipi	3
5. Kaynak tipi	4
6. Kaynak tipi	4

4.3.3 Çözüm yöntemi

Problemin çözümü için ağırlıklı hedef programlama yönteminden faydalanılmıştır. Önerilen modelin detaylarına 3. Bölümde yer verilmiştir. Projelerin toplam gecikme sürelerini ve toplam fazla mesaiyi en küçükleme için iki farklı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonuna göre değişen modelin çözümleri Çizelge 4.3'te belirtildiği şekildedir.

Amaç fonksiyonu, karar modelinde belirtilen (3.1) şeklindeki model çözüldüğünde, projeler hiçbir gecikme olmadan ve toplamda 120 adam*gün fazla mesai yapılarak tamamlanmıştır. Ayrıca amaç fonksiyonu, karar modelinde belirtilen (3.2) şeklindeki model çözüldüğünde, projelerin toplam gecikme süresi 134 gün olmuş ve hiç fazla mesai yapılmadan projeler tamamlanmıştır.

Çizelge 4.3 : Amaç fonksiyonu ve model çözümleri.

Amaç Fonksiyonu	Toplam Gecikme Süresi (gün)	Toplam Fazla Mesai (adam*gün)
Minimize $\sum_{p=1}^P G_p$	0	120
Minimize $\sum_{r=1}^R \sum_{t=0}^T OC_{rt}$	134	0

Daha sonra matematiksel model hedef programlamaya uygun şekle getirilmiş ve amaç fonksiyonu (3.13) şeklinde düzenlenmiş ve amaç fonksiyonlarından pozitif sapmayı gösteren iki ayrı kısıt (3.14), (3.15) daha eklenmiştir.

Modelin çözümü için ağırlıklı hedef programlama kullanılmış ve amaç fonksiyonunda bulunan toplam gecikme süresi ve toplam fazla mesai karar değişkenleri ağırlıklandırılmıştır.

4.3.4 Duyarlılık analizi

Amaç fonksiyonu tek bir satır haline getirilip, ağırlıklı hedef programlama yöntemi kullanıldığı için; projelerin toplam gecikme süresi ve toplam fazla mesai için ağırlık belirleme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İki karar değişkeninin ağırlıklarının toplamı bir olacak şekilde çeşitli ağırlıklandırma denemeleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.4'te gösterildiği şekildedir.

Duyarlılık analizi yapılarak, veriler karar verici ile paylaşılmış ve şirketin hedefleri doğrultusunda ağırlıkları seçmesi talep edilmiştir. Karar verici, toplam proje gecikme minimizasyonu amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı (W_1) ve toplam fazla mesai minimizasyonu amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı (W_2) için sırasıyla 0,8 ve 0,2 değerlerini belirlemiştir.

Çizelge 4.4 : Duyarlılık analizi.

W_1	W_2	Toplam gecikme süresi (gün)	Toplam fazla mesai (adam*gün)
1	0	0	120
0,9	0,1	0	114
0,8	0,2	0	110
0,7	0,3	1	108
0,6	0,4	8	101
0,5	0,5	6	97
0,4	0,6	102	1
0,3	0,7	103	1
0,2	0,8	104	0
0,1	0,9	110	0
0	1	134	0

4.3.5 Problemin çözümü

Oluşturulan matematiksel modelin OPL dilinde kodlanıp, IBM ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanılarak 11 dakika ve 10 saniyede çözülmesiyle birlikte, projelerin başlangıç zamanı, validasyon aktivitelerinin öncelik ilişkilerine göre gerçekleşme sırası, aktiviteler gerçekleşirken kullanılan kaynak miktarı ve kaynak kapasitesinin yetersiz kaldığı durumlarda oluşan fazla mesai durumları elde edilmiştir.

Model çözümü sayesinde, projelerin her bir validasyon aktivitesinin başlangıç zamanları belirlenmiş ve projelerin tamamlanma süreleri hesaplanmıştır.

Model sayesinde projelerin gecikme süresini ve fazla mesaiyi en küçükleyebilmek için projelerin faaliyetlerinin hangi zaman diliminde başlaması gerektiği belirlenmiştir. Oluşan proje çizelgelerinin daha iyi anlaşılması açısından Gannt şemaları oluşturulmuş ve EK’te belirtilmiştir.

4.3.6 Modelin analizi ve çeşitli senaryolar

Modelin çözümüyle birlikte, Çizelge 4.5’te gösterildiği gibi hangi zaman aralığında hangi kaynak tipinin fazla mesai ihtiyacı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 : Kaynak tipleri ve fazla mesai ihtiyacı.

Zaman (t)	Kaynak Tipi	Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
0	4.	2
0	6.	1
1	4.	2
1	6.	1
2	4.	2
2	6.	1
3	4.	2
3	5.	1
3	6.	1
4	4.	1
4	6.	1
6	2.	1
10	6.	2
16	6.	1
17	6.	1
18	6.	1
19	6.	1
20	6.	1
21	6.	1
22	6.	1
23	6.	1
24	6.	1
25	6.	1
26	6.	1
27	6.	1
28	6.	1
29	6.	1
30	6.	1
31	6.	1
32	6.	1
33	6.	1
34	6.	1
35	6.	1
36	6.	1
37	6.	1
38	6.	1
39	6.	1
40	6.	1
41	6.	1
42	6.	1
43	6.	1

Çizelge 4.5 (devam) : Kaynak tipleri ve fazla mesai ihtiyacı.

Zaman (t)	Kaynak Tipi	Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
44	6.	1
45	6.	1
46	6.	1
47	6.	1
48	6.	1
49	6.	1
50	6.	2
51	6.	2
52	6.	2
53	6.	2
54	6.	2
55	6.	2
56	6.	2
57	6.	2
58	6.	2
59	6.	2
60	6.	2
61	6.	2
62	6.	2
63	6.	2
64	6.	2
65	6.	2
66	6.	2
67	6.	2
68	6.	2
69	6.	2
70	6.	2
71	6.	2
72	6.	2
73	6.	2
74	6.	1
75	6.	1
76	6.	1
77	6.	1
78	6.	1
79	6.	1
80	6.	1
81	6.	1
82	6.	1
83	6.	1

4.3.6.1 Saha testi & güvenilirlik ekibi kaynak kapasitesi artışı

Senaryo-1: Kaynak kapasitesi =5 kişi

Çizelge 4.5 incelendiğinde 6. kaynak tipi olan Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin yoğun miktarda fazla mesai ihtiyacı olduğu görülmüştür. Bu durumda, modelin kullanılması firmanın hangi kaynak tipinden kaç kişiye ihtiyaç duyduğunu görmesi açısından oldukça faydalıdır.

6. Kaynak tipi olan Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kapasitesi 1 kişi arttırıldığında, toplam fazla mesai 110 adam*gün'den 36 adam*gün'e düşmüştür. Oluşan fazla mesai

süresi ve fazla mesai ile oluşan ek maliyetler hesaplanarak kaynak kapasitesinin 1 kişi arttırılma durumu firma tarafından değerlendirilebilir. Yasal fazla mesai sürelerinin aşılmaması da göz önünde bulundurulmalıdır. Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kaynak kapasitesi 5'e çıkarıldığında oluşan fazla mesai durumu Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 : 6. Kaynak kapasitesi 5 kişi iken fazla mesai ihtiyacı.

Zaman (t)	Kaynak Tipi	Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
0	4.	2
1	4.	2
2	4.	2
3	4.	1
4	4.	2
5	2.	1
6	2.	1
10	6.	1
50	6.	1
51	6.	1
52	6.	1
53	6.	1
54	6.	1
55	6.	1
57	6.	1
58	6.	1
59	6.	1
60	6.	1
61	6.	1
62	6.	1
63	6.	1
64	6.	1
65	6.	1
66	6.	1
67	6.	1
68	6.	1
69	6.	1
70	6.	1
71	6.	1
72	6.	1
73	6.	1

Senaryo-2: Kaynak kapasitesi =6 kişi

Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kaynak kapasitesi 6 kişiye çıkarıldığında oluşan fazla mesai durumu Çizelge 4.7'de belirtilmiştir. İlk durumda oluşan fazla mesai 110 adam*gün'den 11 adam*gün'e inmiştir. Kaynak kapasitesindeki değişimlere göre toplam fazla mesai değişiminin özeti Çizelge 4.8'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.7 : 6. Kaynak kapasitesi 6 kişi iken fazla mesai ihtiyacı.

Zaman (t)	Kaynak Tipi	Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
0	4.	1
0	4.	1
1	4.	2
2	4.	2
3	4.	2
4	4.	2
6	2.	1

Çizelge 4.8 : Kapasite artışına göre toplam fazla mesai ihtiyacı.

Saha Testi & Güvenilirlik Ekibinin Kapasitesi (kişi)	Toplam Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
4	110
5	36
6	11

4.3.6.2 Paralel aktivitelerin eş zamanlı yürütülmesi

Oluşturulan matematiksel modelin çözümü ile validasyon testlerinin öncelik ilişkilerinin doğru belirlenmesinin önemi ortaya çıkmıştır. Birbiri ile eş zamanlı yürütülebilecek validasyon faaliyetlerinin belirlenmesi ve testlerin paralel şekilde gerçekleştirilmesi ile projelerin tamamlanma süresinin ve fazla mesai süresinin azaldığı gözlenmiştir.

Örneğin; gerçek hayat problemindeki 16. projede, birbirinden farklı zamanlarda gerçekleştirilen ömür testleri model sayesinde eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiş ve projenin tamamlanma süresi toplamda 14 gün kısaltılmıştır.

4.3.6.3 Farklı ağırlık katsayıları ile kaynak kapasitesi analizi

Toplam proje gecikme minimizasyonu amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı (W_1) ve toplam fazla mesai minimizasyonu amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı (W_2) için sırasıyla 0,2 ve 0,8 değerleri seçildiğinde ise fazla mesai yapılmadan toplam proje gecikme süresi 104 gün olarak bulunmuştur. 7. projenin toplamda 25 gün, 8. projenin 68 gün, 12. projenin 5 gün ve 13. projenin 6 gün geciktiği gözlenmiştir.

Bir önceki yapılan analiz sonuçlarından yola çıkarak 6. kaynak tipi olan Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kapasitesi 5 kişiye çıkarıldığında, hiç fazla mesai yapılmadan toplam gecikme süresinin 38 güne düştüğü gözlenmiştir. Kaynak kapasitesi

arttırıldığında 7. proje 24 gün, 8. proje 2 gün, 9. proje 3 gün, 11. proje 5 gün, 12. proje 3 gün ve 15. proje 1 gün gecikmiştir.

Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kapasitesi 6 kişiye çıkarıldığında ise, hiç fazla mesai yapılmadan toplam gecikme süresinin 14 güne düştüğü görülmüştür. 8. proje 2 gün, 9. proje 3 gün, 11. proje 2 gün, 12. proje 5 gün, 15. projenin 2 gün geciktiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.9 : Kaynak kapasitesine göre toplam gecikme süresi ve fazla mesai ihtiyacı.

Saha Testi & Güvenilirlik Ekibinin Kapasitesi (kişi)	Toplam Gecikme Süresi (gün)	Toplam Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
4	104	0
5	38	0
6	14	0

6. Kaynak tipi olan Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kaynak kapasitesi 4 kişiden 6 kişiye ve 4. Kaynak tipi olan Elektrik & Elektronik ekibinin kaynak kapasitesi 3 kişiden 4 kişiye çıkarıldığı durumda ise toplam gecikme süresi 4 gün olarak bulunmuştur ve fazla mesai ihtiyacı oluşmamıştır. Tek bir projenin geciktiği ve 4 gün gecikme yaşayan projenin ise 12. proje olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.10’da da görüldüğü gibi, Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kaynak kapasitesindeki artış, amaç fonksiyonundaki ağırlık katsayıları değişse de her zaman daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Çizelge 4.10 : Ağırlık katsayıları ve kaynak kapasitesi değişimi.

Saha Testi & Güvenilirlik Ekibinin Kapasitesi (kişi)	Elektrik & Elektronik Ekibinin Kapasitesi (kişi)	W_1	W_2	Toplam Gecikme Süresi (gün)	Toplam Fazla Mesai İhtiyacı (adam*gün)
4	3	0,8	0,2	0	110
5	3	0,8	0,2	0	36
6	3	0,8	0,2	0	11
6	4	0,8	0,2	0	6
4	3	0,2	0,8	104	0
5	3	0,2	0,8	38	0
6	3	0,2	0,8	14	0
6	4	0,2	0,8	4	0

Oluşturulan matematiksel model sayesinde, fazla mesai süresi en fazla olan ekip belirlenmiştir. Ayrıca, Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kapasitesinin arttırılması ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Model sayesinde yapılan bu analizlerle, Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kaynak kapasitesindeki artışın, amaç fonksiyonu ağırlık katsayılarından bağımsız olarak her zaman daha iyi sonuçlar sağladığı anlaşılmıştır. Matematiksel modelin çözümü ile farklı kaynak türleri, faaliyet bazında değerlendirmeler, öncelik ilişkileri ile ilgili farklı analizler de yapmak mümkündür.





5. SONUÇ

Projelerin toplam gecikme süresini minimize edebilmek için, tüm validasyon faaliyetlerinin termin süresi içerisinde tamamlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, validasyon testleri için doğru sayıda kaynak ataması, faaliyetlerin öncüllük ardıllık ilişkisinin ve faaliyet başlangıç sürelerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Projelerin toplam fazla mesai süresini minimize edebilmek için yine kaynak kapasitesinin doğru kullanımı, projelerin başlangıç ve bitiş zamanlarının doğru çizelgelenmesi ve yeterli sayıda kaynak kapasitesinin olması oldukça önemlidir. Bu problemde, her bir projenin birbirinden farklı sayıda ve tipte validasyon test ihtiyacı olduğu, 6 farklı kaynak türünü kullanan 25 proje, validasyon testlerinin öncüllük-ardıllık ilişkisi de göz önünde bulundurularak çizelgelenmiştir.

Firmadaki proje verilerine göre projelerin toplam gecikme süresi ve fazla mesai süresini en küçükleme için her bir validasyon faaliyetinin hangi t zamanında başlaması gerektiği ve hangi t zaman diliminde hangi kaynak türünün kapasitesinde aşım meydana geldiği, yani fazla mesai ihtiyacı olduğu elde edilmiştir. Ayrıca her bir projenin tamamlanma süresi elde edilmiş ve gecikme süreleri önceden belirlenen proje termin süresine göre hesaplanmıştır.

Tez çalışmasının amacı, aynı kaynak havuzunu kullanan 25 projenin, proje gecikme süresi ve fazla mesai süresini minimize ederek en uygun şekilde çizelgelenmesini sağlamaktır. Çalışma kapsamında, KKPÇP çerçevesinde, birden fazla projenin birden fazla hedefe ulaşması amaçlanmış ve daha önce elle çizelgeleme yaparak proje planlarını oluşturan bir firmanın AR-GE departmanında kapsamlı bir gerçek hayat uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Amaçlanan iki farklı fonksiyon olduğundan, KKPÇP ağırlıklandırılarak ağırlıklı hedef programlama yöntemi ile çözülmüştür. Ağırlıkların belirlenmesinde duyarlılık analizi yapılarak, son karar vericiden geri bildirim alınmıştır. Karar vericinin şirket hedefleri doğrultusunda belirlemiş olduğu sırasıyla 0,8 ve 0,2 katsayıları ile; gerçekte toplam 45

gün gecikerek ve toplam 126 adam*gün fazla mesai yapılarak tamamlanan projeler, hiç gecikme yaşanmadan toplam 110 adam*gün fazla mesai yapılarak tamamlanmıştır.

Ağırlık katsayıları değiştirilerek toplam gecikme süresi için 0,2 ve toplam fazla mesai için 0,8 olarak alındığında ise projelerin hiç fazla mesai yapılmadan toplamda 104 gün gecikme ile tamamlandığı görülmüştür.

Oluşturulan matematiksel model sayesinde, projelerin faaliyetleri arasındaki öncül-ardıl ilişkiler doğru belirlenmiş ve kaynaklar optimum şekilde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, fazla mesai süresi en fazla olan Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kapasitesinin artırılması ve sonuçları değerlendirilmiştir. Saha Testi & Güvenilirlik ekibinin kaynak kapasitesindeki artış, amaç fonksiyonu ağırlık katsayılarından bağımsız olarak her zaman daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Ekibin kapasitesi 5 kişiye çıkarıldığında ağırlık katsayıları sırasıyla 0,8 ve 0,2 iken hiç gecikme yaşanmadan, toplam fazla mesai süresi 110 adam*saatten 36 adam*saate düşmüştür; ağırlık katsayıları sırasıyla 0,2 ve 0,8 olarak belirlendiğinde ise toplam gecikme süresi 104 günden 38 güne düşmüş ve hiç fazla mesai yapılmamıştır.

Bu çalışmada kaynakların kapasitesi tüm zaman dilimlerinde sabit olarak alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, işe alım veya işten ayrılma durumları da değerlendirilebilir. Yani model güncellenerek, herhangi bir t zaman diliminde herhangi bir r kaynağının kapasitesindeki artış veya azalış değerlendirilerek proje faaliyetlerinin çizelgelemesi bu şekilde yapılabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda, matematiksel modelin ortaya çıkarmış olduğu fazla mesai maliyeti hesaplanarak, ihtiyacı olan departmanların kaynak kapasitesinde bir artışa gidilebilir. Alınacak kaynak sayısının belirlenebilmesi için normal ve fazla mesai maliyetleri hesaplanarak bir ekonomik analiz yapılabilir. Kaynak kapasitesinin değiştiği durumlarda her bir amaç fonksiyonu için model tekrar çözülerek ağırlık katsayıları da yeniden değerlendirilebilir. Projelerin toplam maliyeti hesaplanarak, amaç fonksiyonuna proje maliyetinin minimizasyonu da eklenerek modelin geliştirilmesi sağlanabilir.

Gelecek çalışmalarda, kaynak kapasitesinin aşıldığı durumlarda validasyon faaliyetlerinin dış kaynaklar tarafından (taşeron, alt yüklenici ve mühendislik danışmanlık firmaları vb.) gerçekleştirmeleri göz önüne alınarak model güncellenebilir.

Bu çalışmada; validasyon faaliyet sürelerindeki belirsizlikler, ortaya çıkabilecek aksaklıklar, ekipmanlarda meydana gelebilecek arızalar, çalışanların izin ve hastalık durumları gibi belirsizlikler dikkate alınmamıştır. ARGE faaliyet sürelerindeki belirsizliklerinin çözümü için bulanık çizelgeleme yöntemi geliştirmiştir (Wang, 2002). Bulanık proje çizelgelemede projenin karmaşıklığı, projede çeşitli aksaklıkların ve beklemelerin meydana gelmesi sebebiyle geleneksel yöntemlerle çözülmesi zor olan problemlerde metasezgisel yöntemlerin kullanılması kısa sürede iyi çözümler sağlamaktadır (Kökçam ve Engin, 2010). Proje faaliyetleri genellikle belirsizliklerle karşı karşıya kalmaktadır. Projenin ilerleyişi esnasında, meteorolojik koşullardan kaynak yetersizliğine uzanan çeşitli faktörlerden dolayı faaliyet süreleri değişkenlik gösterebilir. Bu belirsizliklerin çözümü için faaliyet süreleri stokastik olarak ele alınarak sürelerin normal dağılıma sahip rassal değişkenler olduğu varsayılabılır (Soysal ve diğ, 2021). Sonraki çalışmalarda stokastik KKPCP ve bulanık optimizasyon ile model güncellenerek belirsizlik durumları da değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, proje çizelgeleme süreci boyunca yeni bir projenin plana alınması durumu değerlendirilmemiştir. İleriki çalışmalarda, herhangi bir t zaman diliminde yeni projelerin plana alınması ve tüm proje ve validasyon faaliyetlerinin bu değişime göre yeniden çizelgelenmesi sağlanabilir ve model bu şekilde iyileştirilebilir.



KAYNAKLAR

- A Brief History of Project Scheduling.** (2023, Mayıs 23). Erişim: 20 Mayıs 2024, <https://medium.com/@JacekWo/a-brief-history-of-project-scheduling-d92c8b8fffd2>
- Akyıl Kurt, P.** (2018). *Çok projeli kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi: bir yazılım firmasında uygulama çalışması*. (Yüksek lisans tezi). Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Al-Fawzan, M. A. & Haouari, M.** (2005). A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling. *International Journal of Production Economics*, 96(2), 175-187.
- Aouni, B., d'Avignon, G. & Gagnon, M.** (2015). Goal Programming for Multi-Objective Resource-Constrained Project Scheduling. *Handbook on Project Management and Scheduling, Vol.1*, 429-442.
- Araujo, J. A. S.** (2019). *Mixed-integer linear programming based approaches for the resource constrained project scheduling problem*. (Doktora tezi). Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Ouro Preto, Brasil.
- Badur, T.** (2021). *Multi-project scheduling with skill- and capability-based resource constraints: a case study for R&D projects in heating industry*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Balkaya, H.** (2011). *Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yaklaşımıyla optimizasyonu*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Ballestín, F. & Blanco, R.** (2011). Theoretical and practical fundamentals for multi-objective optimisation in resource-constrained project scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 38(1), 51-62.
- Beşikci, U., Bilge, Ü. & Ulusoy, G.** (2015). Multi-mode resource constrained multi-project scheduling and resource portfolio problem. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 22-31.
- Charnes, A. & Cooper, W.W.** (1977). Goal programming and multiple objectives optimisations: Part 1. *European Journal of Operational Research*, 1(1), 39-54.
- Cheng, J., Fowler, J.W., Kempf, K. & Mason, S.** (2014). Multi-mode resource-constrained project scheduling problems with non-preemptive activity splitting. *Computers & Operations Research, Vol. 53*, 275-287.
- Ding, H., Zhuang, C. & Liu, J.** (2023). Extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *Automation in Construction, Vol. 153*, 104958.

- Eynde, R.V. & Vanhoucke, M.** (2020). Resource-constrained multi-project scheduling: benchmark datasets and decoupled scheduling. *Journal of Scheduling*, Vol. 23, 301-325.
- Gagnon, M., d'Avignon, G. & Aouni, B.** (2007). Incorporating the Manager's Preferences in Project Scheduling Problem through the Goal Programming Model, *Proceedings of ASAC 2007*, 15-27.
- Habibi, F., Barzinpour, F. & Sadjadi, S.** (2018). Resource-constrained project scheduling problem: review of past and recent developments. *Journal of Project Management*, 3(2), 55-88.
- Hapke, M., Jaszkiwicz, A. & Słowiński, R.** (1998). Interactive analysis of multiple-criteria project scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 107(2), 315-324.
- Hartmann, S. & Briskorn, D.** (2010). A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 207(1), 1-14.
- Johnson, D. S. & Garey, M. R.** (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. USA: W. H. Freeman and Co.
- Kazemi, F. & Tavakkoli-Moghaddan, R.,** (2010). Solving a multi-objective multi-mode resource-constrained project scheduling with discounted cash flows. *6th International Project Management Conference*, Vol. 17.
- Kolisch, R. & Hartmann, S.** (2006), Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update, *European Journal of Operational Research*, 174(1), 23-37.
- Kolisch, R. & Sprecher, A.** (1997). PSPLIB - A project scheduling problem library: OR Software - ORSEP Operations Research Software Exchange Program. *European Journal of Operational Research*, 96 (1), 205-216.
- Kökçam, A. & Engin, O.** (2010). Bulanık Proje Çizelgeleme Problemlerinin Meta Sezgisel Yöntemlerle Çözümü. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 86-101.
- Payne, J.H.** (1995). Management of multiple simultaneous projects: A state of the art review, *International Journal of Project Management*, 13(3), 163-168.
- Pritsker, A.A.B., Watters, L.J. & Wolfe, P.M.** (1969). Multiproject Scheduling with Limited Resources: A Zero-One Programming Approach. *Management Science*, 16(1), 93-108.
- Singh, A.** (2014). Resource-constrained multi-project scheduling with priority rules & analytic hierarchy process. *Procedia Engineering* 69, 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 725-734.
- Slowinski, R.** (1981). Multiobjective network scheduling with efficient use of renewable and nonrenewable resources, *European Journal of Operational Research*, 7(3), 265-273.
- Słowiński, R.** (1989). Advances In Project Scheduling. *Multiobjective Project Scheduling Under Multiple - Category Resource Constraints*. *Advances In Project Scheduling* (Vol. 9, pp. 151-167). Amsterdam: Elsevier.

- Slowinski, R., Soniewicki, B. & Weglarz, J.** (1994). DSS for multiobjective project scheduling. *European Journal of Operational Research*, 79(2), 220-229.
- Soysal, S., Dengiz, B., & Atalay, K.** (2021). Belirsizlik altında kaynak kısıtlı çok modlu çoklu proje çizelgeleme, *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 598-614.
- The History of Project Management.** (2018, Mayıs 24). Erişim: 20 Mayıs 2024, <https://www.projectmanager.com/blog/history-project-management>
- Tsubakitani, S. & Deckro, R.F.** (1990). A heuristic for multi-project scheduling with limited resources in the housing industry, *European Journal of Operational Research*, Vol. 49, 80-91.
- Ulusoy, G.** (2002). *Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme*, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.
- Utku, D.H., Özyiğit, K. & Farizoğlu, E.Y.** (2022). A Mixed-Integer Programming Model for The Job Scheduling Problem in A Production Company, *Verimlilik Dergisi* (1), 110-119.
- Viana, A. & Pinho de Sousa, J.** (2000). Using metaheuristics in multiobjective resource constrained project scheduling. *European Journal of Operational Research*, 120(2), 359–374.
- Wang, J. T.** (2002). A fuzzy project scheduling approach to minimize schedule risk for product development. *Fuzzy Sets and Systems*, 127, 99-116.
- Xiao, J., Wu, Z., Hong, X.-X., Tang, J.-C. & Tang, Y.** (2014). Integration of electromagnetism with multi-objective evolutionary algorithms for RCPS. *European Journal of Operational Research*, 251(1), 22-35.
- Yang, B., Geunes, J. & O'Brien W.J.** (2001). *Resource-Constrained Project Scheduling: Past Work and New Directions*. (Teknik Rapor), Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida, Florida, USA.
- Url-1** <<https://www.turktraktor.com.tr/>>, erişim tarihi: 20.05.2024.



EKLER

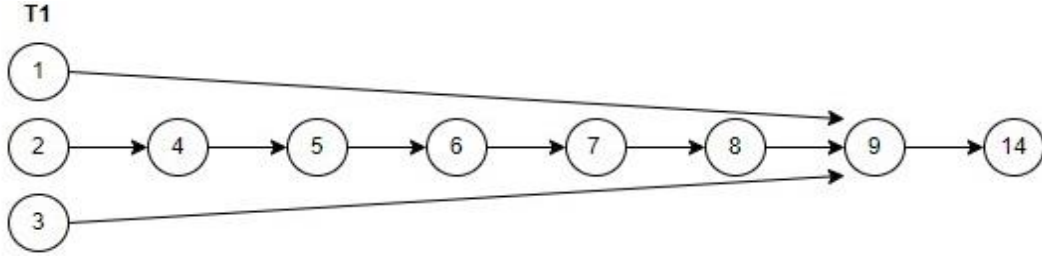
EK A: Proje Ağ Diyagramları

EK B: Proje Parametreleri

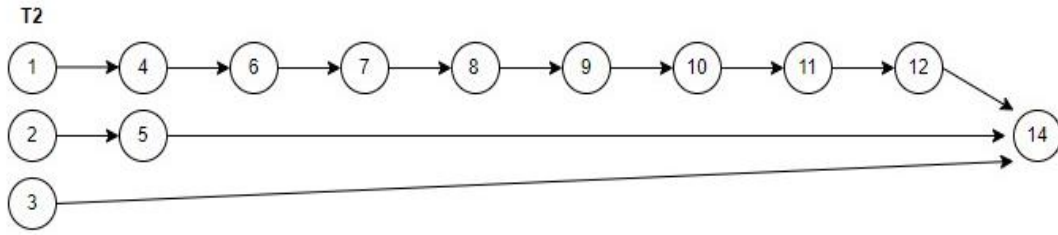
EK C: Proje Gannt Şemaları



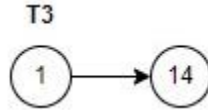
EK A: Proje Ağ Diyagramları



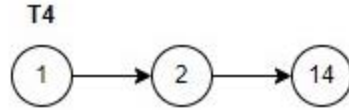
Şekil A.1 : Proje-1 ağ diyagramı.



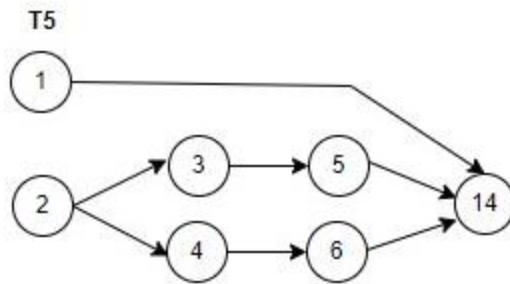
Şekil A.2 : Proje-2 ağ diyagramı.



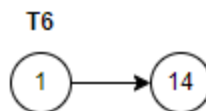
Şekil A.3 : Proje-3 ağ diyagramı.



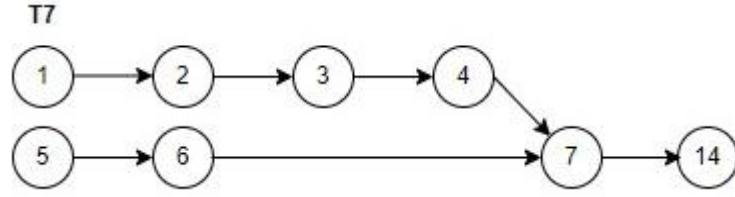
Şekil A.4 : Proje-4 ağ diyagramı.



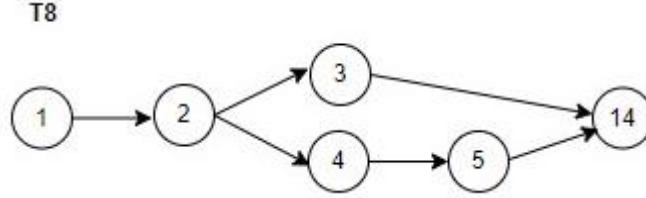
Şekil A.5 : Proje-5 ağ diyagramı.



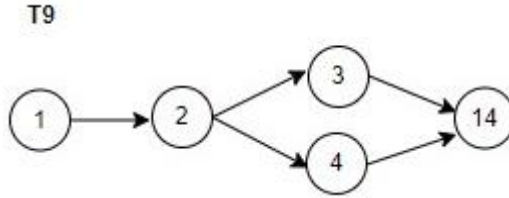
Şekil A.6 : Proje-6 ağ diyagramı.



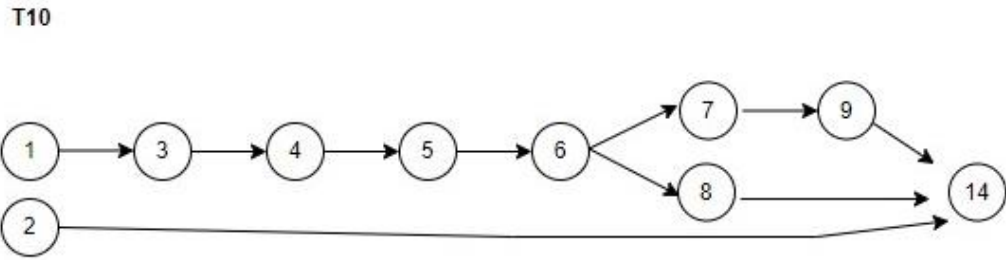
Şekil A.7 : Proje-7 ağ diyagramı.



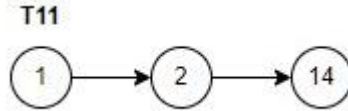
Şekil A.8 : Proje-8 ağ diyagramı.



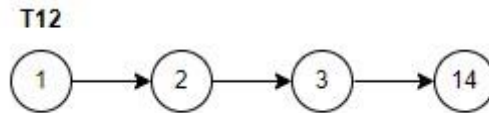
Şekil A.9 : Proje-9 ağ diyagramı.



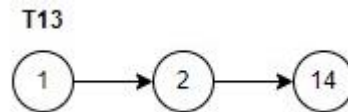
Şekil A.10 : Proje-10 ağ diyagramı.



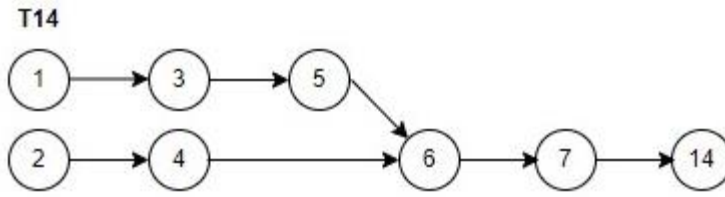
Şekil A.11 : Proje-11 ağ diyagramı.



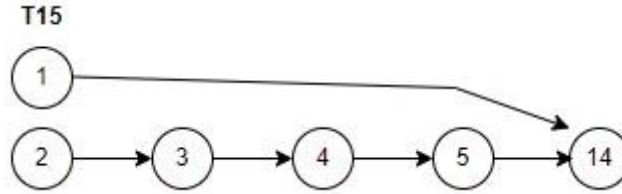
Şekil A.12 : Proje-12 ağ diyagramı.



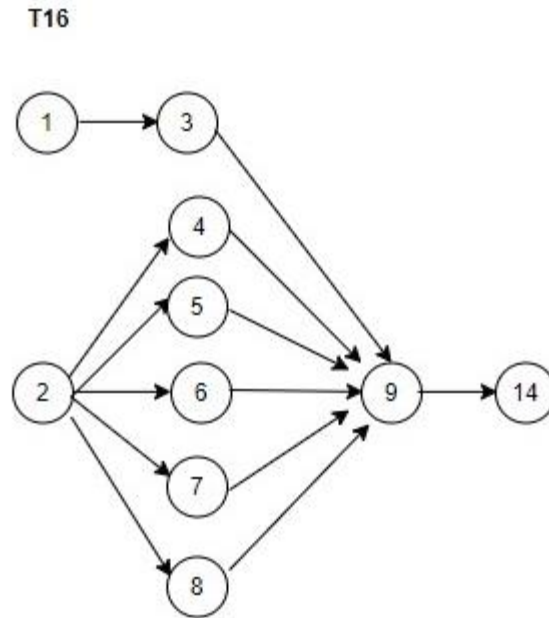
Şekil A.13 : Proje-13 ağ diyagramı.



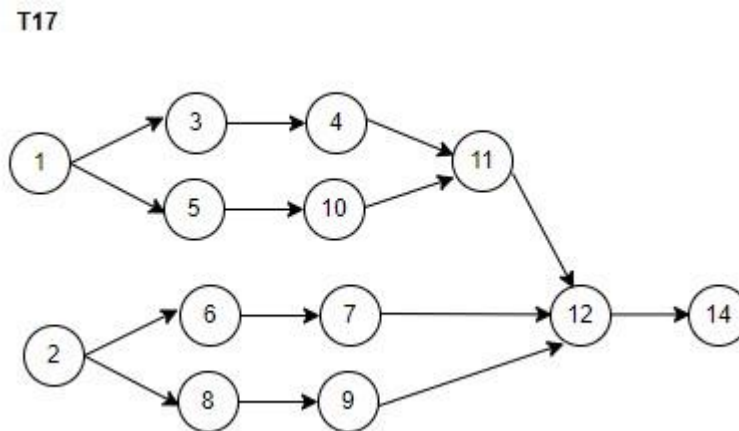
Şekil A.14 : Proje-14 ağ diyagramı.



Şekil A.15 : Proje-15 ağ diyagramı.

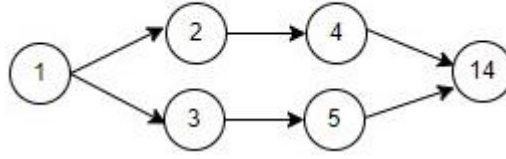


Şekil A.16 : Proje-16 ağ diyagramı.



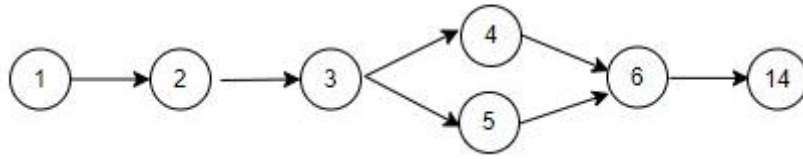
Şekil A.17 : Proje-17 ağ diyagramı.

T18



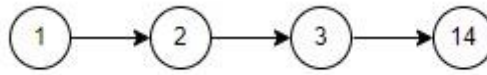
Şekil A.18 : Proje-18 ağ diyagramı.

T19



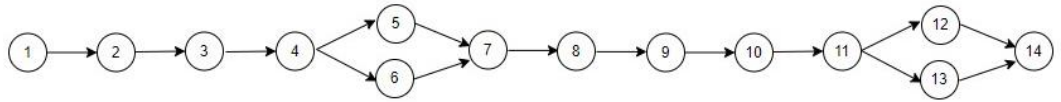
Şekil A.19 : Proje-19 ağ diyagramı.

T20



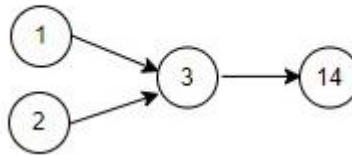
Şekil A.20 : Proje-20 ağ diyagramı.

T21



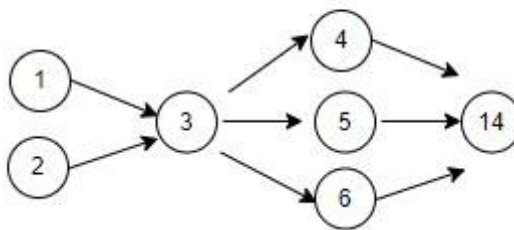
Şekil A.21 : Proje-21 ağ diyagramı.

T22

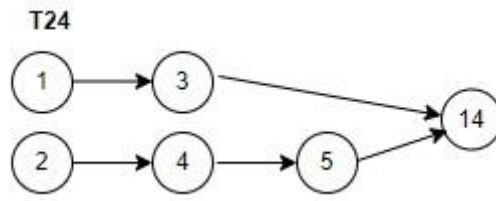


Şekil A.22 : Proje-22 ağ diyagramı.

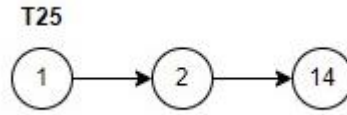
T23



Şekil A.23 : Proje-23 ağ diyagramı.



Şekil A.24 : Proje-24 ağ diyagramı.



Şekil A.25 : Proje-25 ağ diyagramı.

EK B : Proje Parametreleri

Çizelge B.1 : Proje-1 parametreleri.

Proje-1								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	1	1	0	0	0
-	2	2	1	0	0	0	0	0
-	3	5	0	1	0	0	0	0
2	4	5	1	0	0	0	0	0
4	5	5	1	0	0	0	0	0
5	6	5	1	0	0	0	0	0
6	7	5	0	0	2	0	0	0
7	8	5	1	0	0	0	0	0
1,3,8	9	15	0	0	0	0	0	0

Çizelge B.2 : Proje-2 parametreleri.

Proje-2								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	0	1	0	0
-	2	5	0	1	0	0	0	0
-	3	2	1	0	0	0	0	0
1	4	5	0	0	0	1	0	0
2	5	5	0	0	0	0	1	0
4	6	2	0	0	0	1	0	0
6	7	2	0	0	0	1	0	0
7	8	4	1	0	0	0	0	0
8	9	4	1	0	0	0	0	0
9	10	5	0	0	0	0	1	0
10	11	3	0	0	0	0	1	0
11	12	3	0	0	0	0	1	0

Çizelge B.3 : Proje-3 parametreleri.

Proje-3								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	84	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.4 : Proje-4 parametreleri.

Proje-4								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	10	0	1	0	1	0	0
1	2	84	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.5 : Proje-5 parametreleri.

Proje-5								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	0	1	0	0	0	0	0
-	2	1	0	0	0	0	0	1
2	3	1	0	0	0	0	0	1
2	4	1	0	0	0	0	0	1
3	5	1	0	0	0	0	0	1
4	6	1	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.6 : Proje-6 parametreleri.

Proje-6								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	20	0	1	0	0	0	0

Çizelge B.7 : Proje-7 parametreleri.

Proje-7								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	10	0	1	0	0	0	0
1	2	10	0	1	0	0	0	0
2	3	10	0	1	0	0	0	0
3	4	10	0	1	0	0	0	0
-	5	5	0	1	0	0	0	0
5	6	5	0	1	0	0	0	0
4,6	7	98	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.8 : Proje-8 parametreleri.

Proje-8								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	2	0	0	1	0	1	1
1	2	1	0	0	0	1	0	0
2	3	5	1	0	0	0	0	0
2	4	5	0	1	0	0	0	0
4	5	77	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.9 : Proje-9 parametreleri.

Proje-9								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	1	1	1	1
1	2	1	0	0	1	0	0	0
2	3	5	1	0	0	0	0	0
2	4	5	0	1	0	0	0	0

Çizelge B.10 : Proje-10 parametreleri.

Proje-10								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	0	1	0	0
-	2	3	0	0	2	0	0	0
1	3	5	0	0	0	1	0	0
3	4	5	0	0	0	1	0	0
4	5	5	0	1	0	1	0	0
5	6	2	1	0	0	0	0	0
6	7	5	1	0	0	0	0	0
6	8	5	1	0	0	0	0	0
7	9	5	1	0	0	0	0	0

Çizelge B.11 : Proje-11 parametreleri.

Proje-11								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	1	1	1	1
1	2	2	0	1	0	0	0	0

Çizelge B.12 : Proje-12 parametreleri.

Proje-12								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	1	1	1	1
1	2	2	0	1	0	0	0	0
2	3	5	0	0	1	0	1	0

Çizelge B.13 : Proje-13 parametreleri.

Proje-13								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	1	1	1	1
1	2	98	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.14 : Proje-14 parametreleri.

Proje-14								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	0	0	1	0
-	2	2	1	0	0	0	0	0
1	3	5	0	0	0	0	1	0
2	4	4	1	0	0	0	0	0
3	5	5	0	0	0	0	1	0
4,5	6	5	0	0	0	0	1	0
6	7	50	0	0	0	0	1	0

Çizelge B.15 : Proje-15 parametreleri.

Proje-15								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	1	0	1	1	0	0	0
-	2	2	0	1	0	1	0	0
2	3	1	0	0	0	1	0	0
3	4	1	0	0	0	1	0	0
1,4	5	1	0	0	0	1	0	0

Çizelge B.16 : Proje-16 parametreleri.

Proje-16								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	1	0	1	0	0	0	0
-	2	3	0	1	0	0	1	0
1	3	2	0	1	0	0	0	0
2	4	5	0	1	0	0	0	0
2	5	21	0	1	0	0	0	0
2	6	35	0	1	0	0	0	0
2	7	14	0	1	0	0	0	0
2	8	14	0	1	0	0	0	0
3,4,5,6,7,8	9	10	0	1	0	0	0	0

Çizelge B.17 : Proje-17 parametreleri.

Proje-17								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	1	1	0	0	0	0	0
-	2	2	0	0	0	1	0	0
1	3	1	1	0	0	0	0	0
3	4	1	1	0	0	0	0	0
1	5	3	1	0	0	0	0	0
2	6	5	1	0	0	0	0	0
6	7	1	1	0	0	0	0	0
2	8	2	1	0	0	0	0	0
8	9	2	1	0	0	0	0	0
5	10	3	1	0	0	0	0	0
4,10	11	2	1	0	0	0	0	0
7,9,11	12	125	0	0	0	0	1	0

Çizelge B.18 : Proje-18 parametreleri.

Proje-18								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	1	0	0	0
1	2	1	0	1	0	0	0	0
1	3	10	1	0	0	0	0	0
2	4	5	0	1	0	0	0	0
3	5	2	0	0	0	1	0	0

Çizelge B.19 : Proje-19 parametreleri.

Proje-19								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	1	0	0	0	0
1	2	10	0	1	0	0	0	0
2	3	5	1	0	0	0	0	0
3	4	5	1	0	0	0	0	0
3	5	20	1	0	0	0	0	0
4,5	6	5	1	0	0	0	0	0

Çizelge B.20 : Proje-20 parametreleri.

Proje-20								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	0	0	1	1	1	1
1	2	5	0	1	0	0	0	0
2	3	64	0	0	0	0	0	1

Çizelge B.21 : Proje-21 parametreleri.

Proje-21								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	5	1	0	0	0	0	0
1	2	2	1	0	0	0	0	0
2	3	5	1	0	0	0	0	0
3	4	2	1	0	0	0	0	0
4	5	10	1	0	0	0	0	0
4	6	10	1	0	0	0	0	0
5,6	7	35	1	0	0	0	0	0
7	8	35	1	0	0	0	0	0
8	9	5	1	0	0	0	0	0
9	10	5	1	0	0	0	0	0
10	11	5	1	0	0	0	0	0
11	12	35	1	0	0	0	0	0
11	13	35	1	0	0	0	0	0

Çizelge B.22 : Proje-22 parametreleri.

Proje-22								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	1	0	1	0	0	0	0
-	2	5	0	1	0	0	0	0
1,2	3	10	0	1	0	0	0	0

Çizelge B.23 : Proje-23 parametreleri.

Proje-23								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	2	0	0	0	1	0	0
-	2	2	0	0	0	1	0	0
1,2	3	1	0	0	0	1	0	0
3	4	25	0	1	0	0	0	0
3	5	30	0	1	0	0	0	0
3	6	35	0	1	0	0	0	0

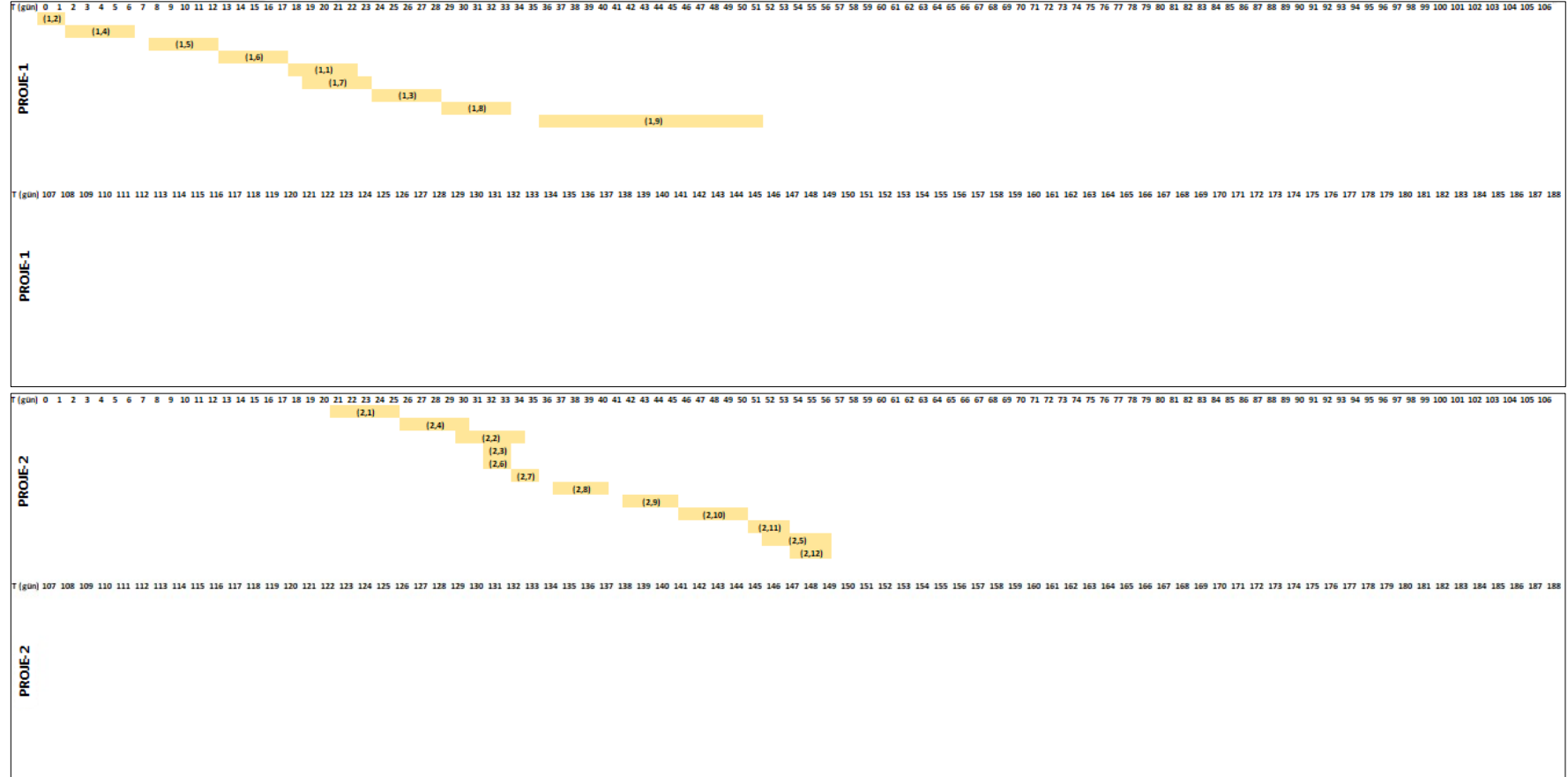
Çizelge B.24 : Proje-24 parametreleri.

Proje-24								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	1	0	1	0	0	0	0
-	2	1	0	1	0	0	1	0
1	3	5	0	0	0	0	1	0
2	4	21	0	0	0	0	1	0
4	5	5	1	0	0	0	0	0

Çizelge B.25 : Proje-25 parametreleri.

Proje-25								
Öncül Test Numarası	Validasyon Test Numarası	Test Süresi (gün)	1.Tip Kaynak Kullanımı	2.Tip Kaynak Kullanımı	3.Tip Kaynak Kullanımı	4.Tip Kaynak Kullanımı	5.Tip Kaynak Kullanımı	6.Tip Kaynak Kullanımı
-	1	10	0	1	0	0	0	0
1	2	1	0	1	0	0	0	0

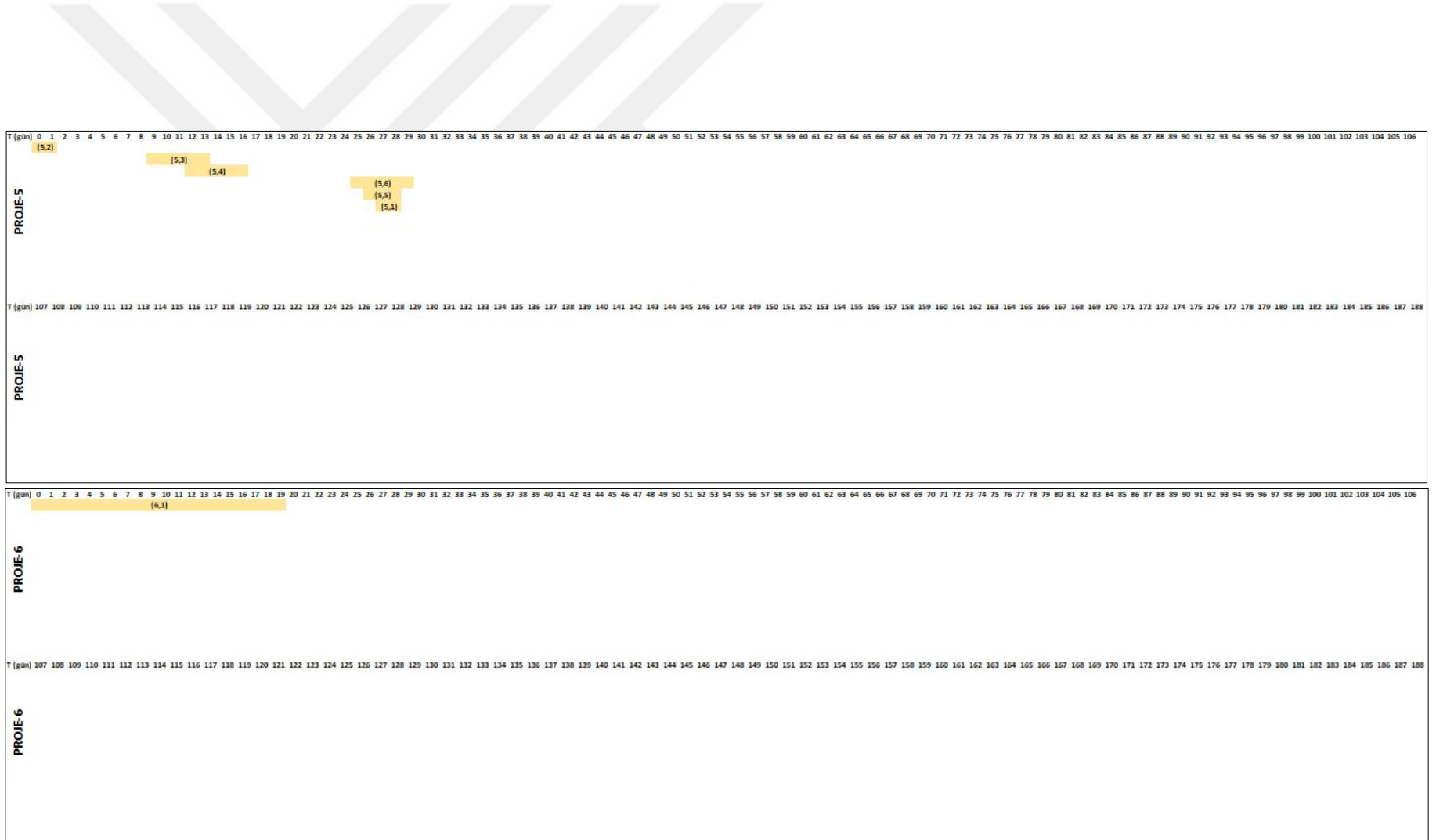
EK C : Proje Gannt Şemaları



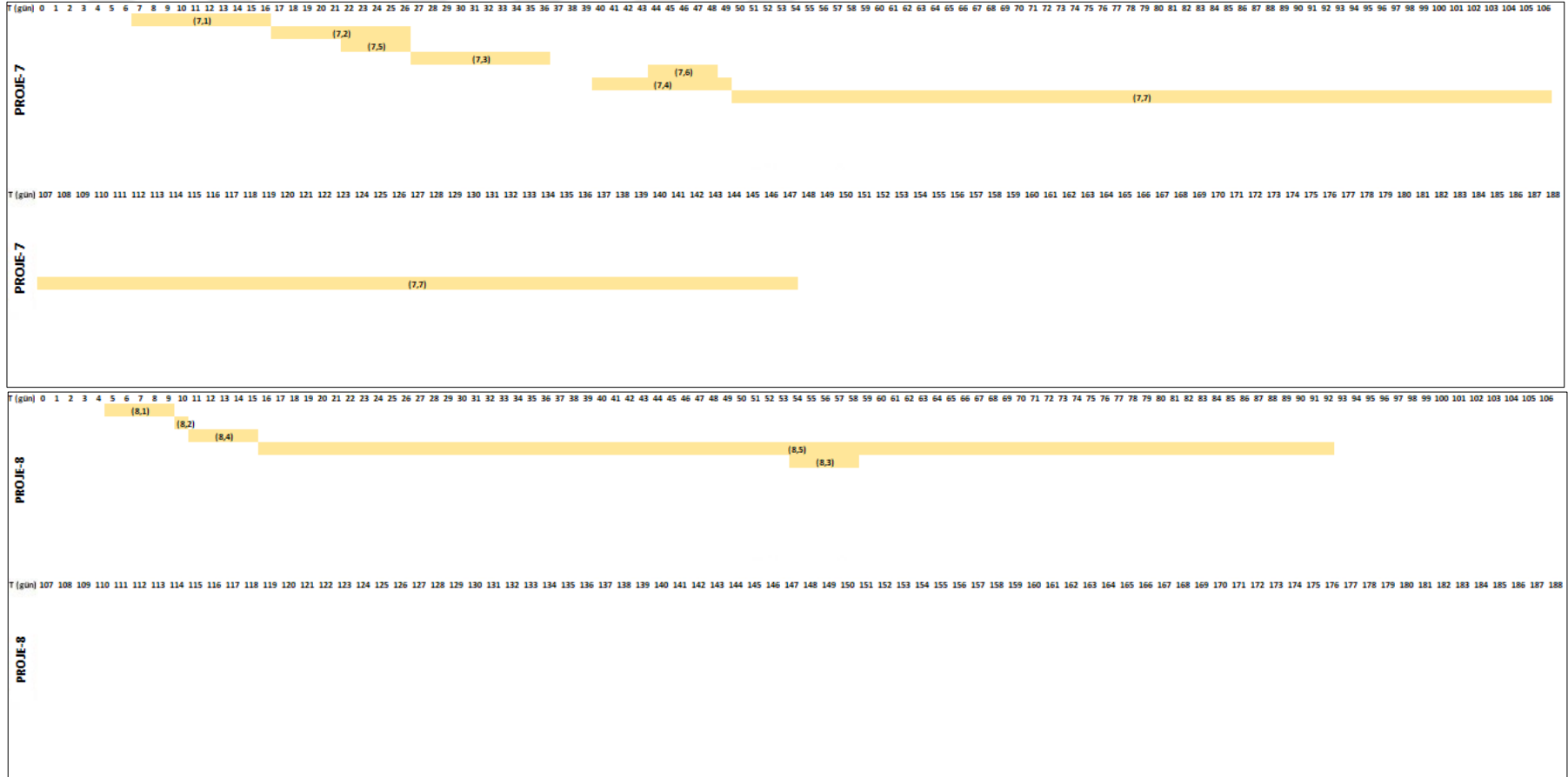
Şekil C.1 : Proje-1 ve proje-2 Gannt şeması.



Şekil C.2 : Proje-3 ve proje-4 Gantt şeması.



Şekil C.3 : Proje-5 ve proje-6 Gantt şeması.



Şekil C.4 : Proje-7 ve proje-8 Gannt şeması.



Şekil C.5 : Proje-9 ve proje-10 Gannt şeması.



Şekil C.6 : Proje-11 ve proje-12 Gantt şeması.



Şekil C.7 : Proje-13 ve proje-14 Gannt şeması.



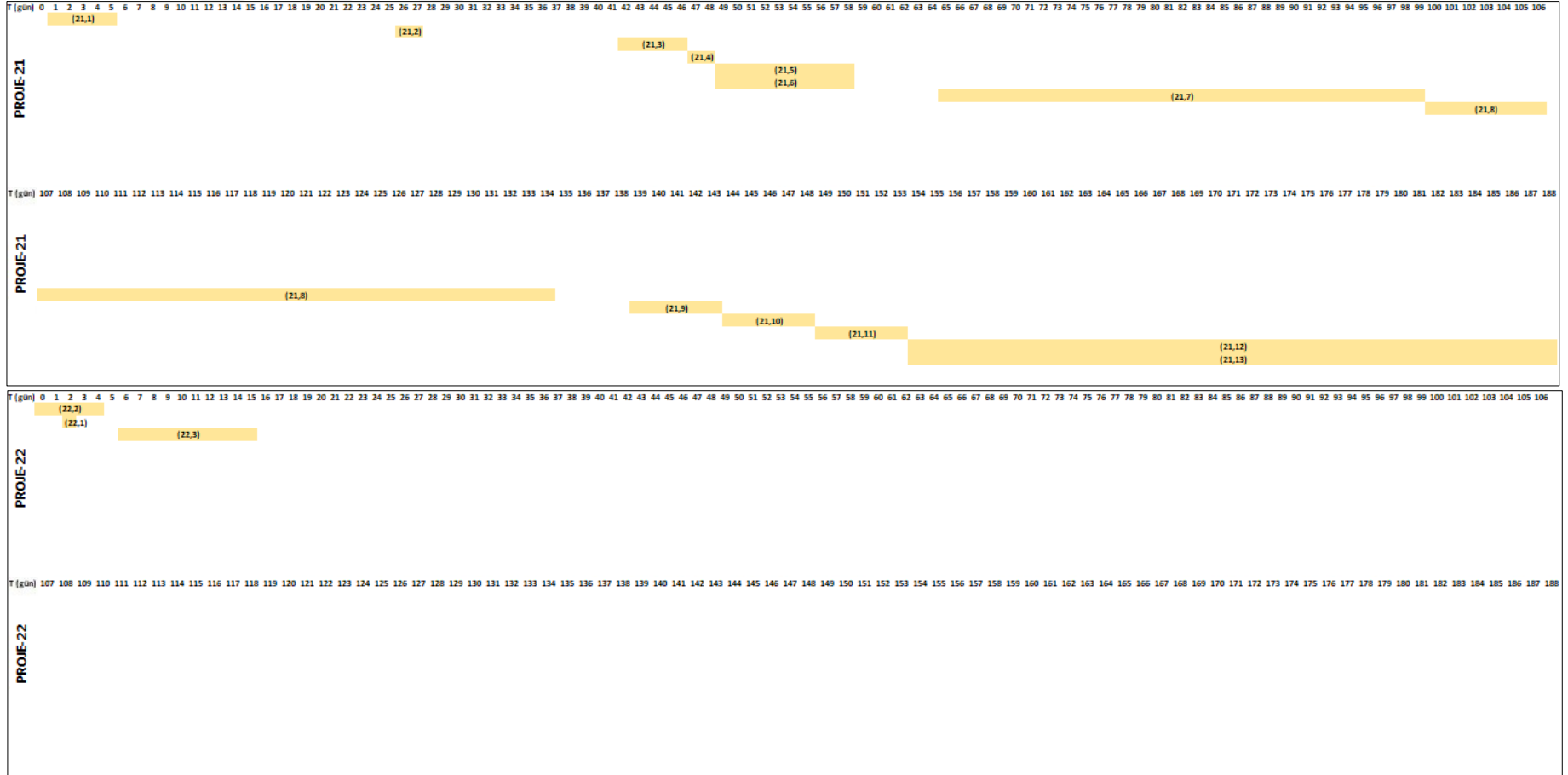
Şekil C.8 : Proje-15 ve proje-16 Gannt şeması.



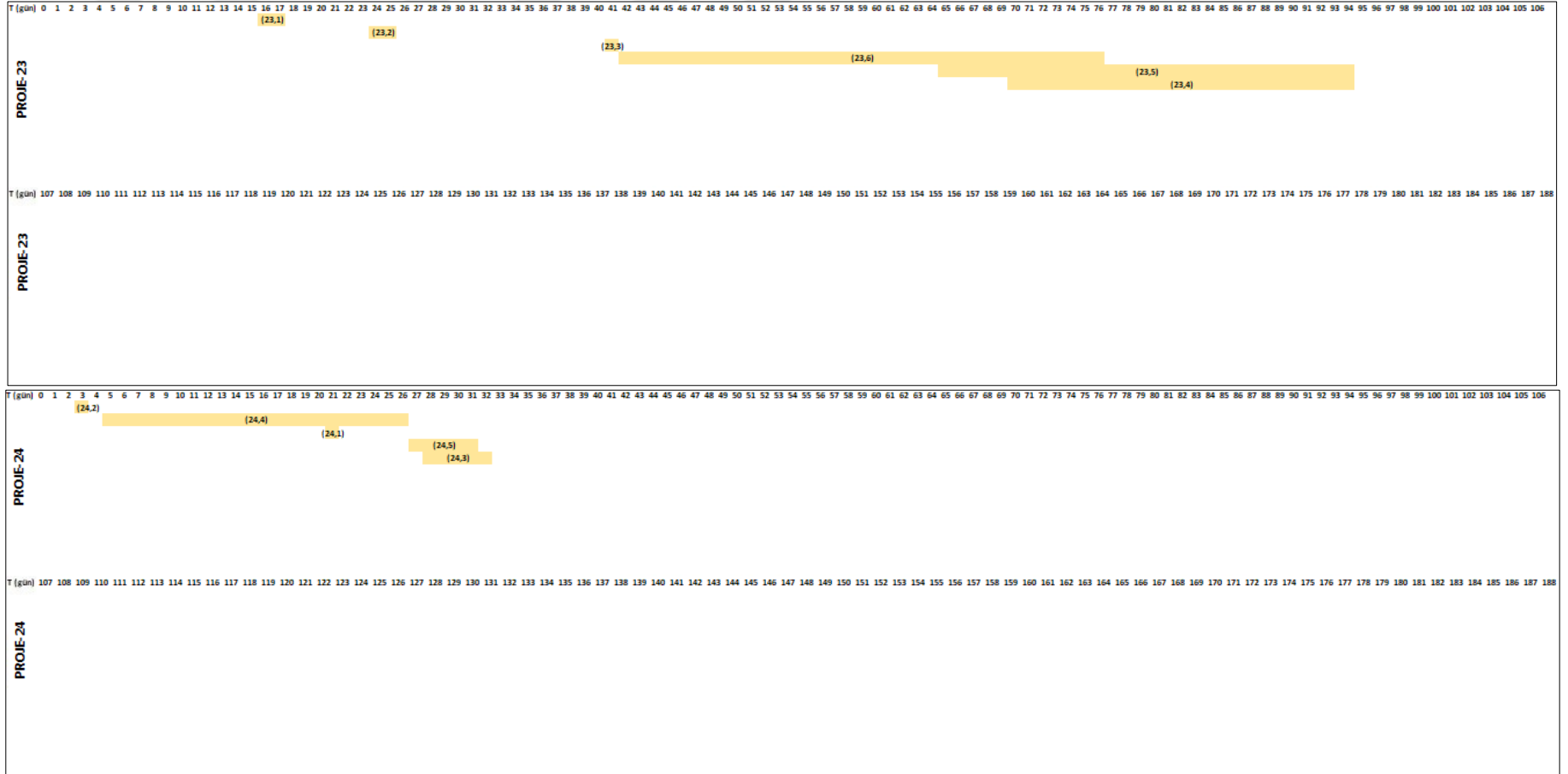
Şekil C.9 : Proje-17 ve proje-18 Gannt şeması.



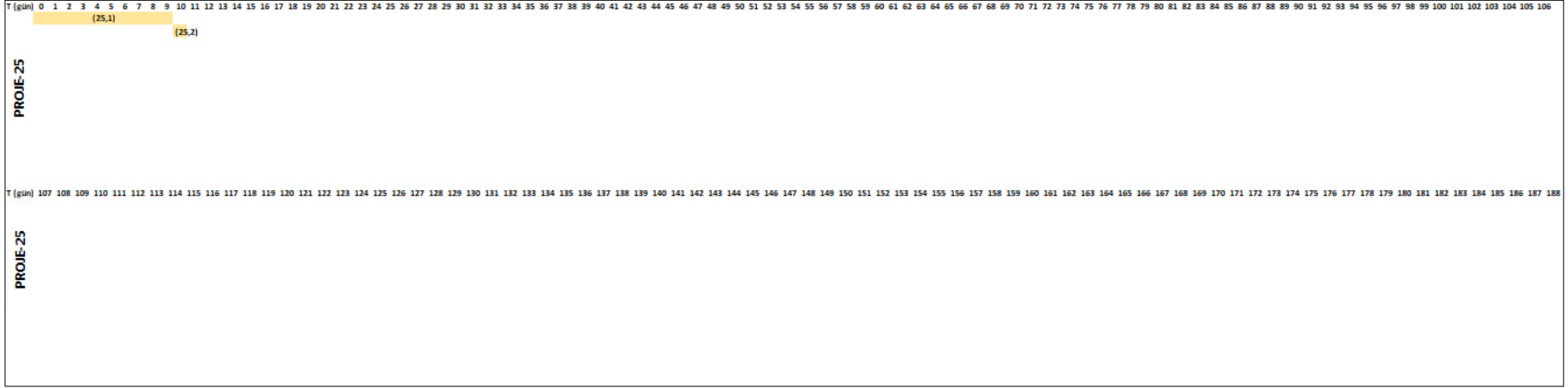
Şekil C.10 : Proje-19 ve proje-20 Gannt şeması.



Şekil C.11 : Proje-21 ve proje-22 Gannt şeması.



Şekil C.12 : Proje-23 ve proje-24 Gannt şeması.



Şekil C.13 : Proje-25 Gannt şeması.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Cemre Nur DİNÇKURT BİÇER

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği (İngilizce)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılında İstanbul Okan Üniversitesi'nden üniversitesi birincisi olarak 3,97 ortalama ile mezun oldu.
- 2021-2023 yılları arasında FPT Industrial'da Uygulama Mühendisi olarak çalıştı.
- 2023 yılından beri TürkTraktör'de Ürün Hattı-Ürün Doğrulama Mühendisi olarak çalışmaya devam ediyor.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Dinçkurt Biçer C.N., Kabak Ö., 2024. Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme: Bir Traktör Firması Örneği. 3. Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Mayıs 10-11, 2024 İstanbul, Türkiye.**