

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ: BİR
FİRMADA UYGULAMA ÇALIŞMASI

ESRA ŞENGÜL AKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ FİGEN ÖZTOPRAK TOPKAYA

ŞUBAT 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME
PROBLEMİ: BİR FİRMADA UYGULAMA ÇALIŞMASI

ESRA ŞENGÜL AKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ FİGEN ÖZTOPRAK TOPKAYA

ŞUBAT 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

RESOURCE-CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING
PROBLEM: A CASE STUDY IN A FIRM

ESRA ŞENGÜL AKTAŞ

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT

ADVISOR: ASSIST.PROF.DR. FİGEN ÖZTOPRAK TOPKAYA

FEBRUARY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/02/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Esra ŞENGÜL AKTAŞ' ın tez çalışması Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Figen ÖZTOPRAK TOPKAYA

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Celal Özgür ÜNSAL

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Umman Mahir YILDIRIM

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Aldığım her kararda en büyük destekçim
olan Canım Babam'a*

ÖZET

Günümüz iş dünyasında stratejik hedeflere ulaşmak, verimliliği artırmak ve rekabet avantajı sağlamak için proje yönetimi kritik öneme sahiptir. Kaynakların etkin kullanımı, projelerin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanması, başarılı bir proje yönetiminin temel unsurlarıdır. Proje planlama ve çizelgeleme, bu sürecin başarısında belirleyici rol oynar. Planlama genel stratejileri belirlerken, çizelgeleme bu stratejileri uygulanabilir bir zaman çizelgesine dönüştürür.

Kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi, sınırlı kaynakların birden fazla projeye en verimli şekilde tahsis edilmesini hedefleyen bir optimizasyon problemidir. Birden fazla projenin eş zamanlı yürütülmesi gerekliliği, bu problemin işletmeler için önemini artırmaktadır. Özellikle dinamik ve belirsiz iş ortamlarında bu tür problemler ciddi zorluklar yaratır.

Bu tez çalışmasında, dinamik bir kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışma, projelerin ağırlıklarını ve yeni proje varışlarını dikkate alan bir yapı önermektedir. Proje çizelgesinin, yeni projeler geldikçe güncellenmesi gerekliliği ele alınmış ve bu süreçte yeni proje varışlarının öngörülmesi üzerinde durulmuştur. Havacılık bakım şirketindeki (MRO) Ar-Ge merkezinden elde edilen veriler, problem yapısının pratik uygulamasını motive etmiştir.

Çalışma kapsamında, açıklanan problem yapısı için, yeni proje varışlarıyla ilgili öngörülere dayanan ve çizelgedeki değişiklikleri minimum tutmayı amaçlayan bir formülasyon önerilmiştir. Ayrıca, problemin çözümü için, kayan-ufuk yaklaşımını yeni proje varışları ile entegre bir şekilde kullanarak problemi ayrıştıran ve tam sayılı programlamaya dayalı ölçeklenebilir bir metodoloji geliştirilmiştir. Böylece, dinamik kaynak kısıtlı çoklu proje planlama probleminin çözümü için problem yapısından faydalanan ve yeni proje gelişlerini uygun şekilde planlama sürecine önceden dahil eden yeni bir yaklaşım ortaya konmuştur. Çalışma, hem literatüre katkı sağlamayı hem de uygulama açısından gelecekteki çalışmalara temel oluşturmayı hedeflemektedir.

Önerilen metodoloji, Python 3.12.0 programlama dili ile uygulanarak bir çözüm algoritması geliştirilmiş ve altproblemler için Gurobi çözücüsü yardımıyla optimizasyon yapılmıştır. Uygulama sonucunda, zaman içinde gelen projelerin kaynak kapasitelerini aşmadan etkin bir şekilde çizelgeye eklenmesine olanak tanıyan bir proje çizelgeleme ortamı oluşturulmuştur. Çalışmanın deneysel bölümü, Ar-Ge merkezinde yürütülen gerçek projelerden elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi, Reaktif Çizelgeleme, Kayan Ufuk Metodu, Proje Yönetimi

ABSTRACT

Project management is essential in today's business environment for accomplishing strategic objectives, increasing productivity, and gaining a competitive advantage. Successful project management is mostly dependent on efficient use of resources, on-time project completion, and budget adherence. Among these, scheduling and project planning are essential to success. Planning establishes broad strategies, but scheduling turns them into workable timetables.

The goal of the resource-constrained multi-project scheduling problem (RCMPSP), an optimization issue, is to distribute scarce resources among several projects as effectively as possible. The importance of this issue for businesses is increased by the requirement to manage several projects at once. In dynamic and unpredictable business situations, where resource allocation challenges are further compounded, this challenge is especially evident.

This thesis proposes a system that takes into account project priorities and new project arrivals in order to address a dynamic version of the RCMPSP. A major emphasis is on the need to update schedules when new projects come up, with particular attention paid to project arrival forecasting. Real-world data from the R&D division of an aerospace maintenance, repair, and overhaul (MRO) company served as the model for the problem structure.

In order to minimize schedule interruptions and take into consideration the predictions of new project arrivals, the paper presents a fresh formulation for the problem. Furthermore, a rolling-horizon-based scalable methodology is created. This method uses integer programming techniques to break the problem down into manageable subproblems and incorporates fresh project arrivals into the scheduling process. In order to proactively anticipate and integrate new project arrivals into the planning process, the suggested solution approach makes optimal use of the problem structure. The Gurobi solver was used to optimize subproblems in the approach, which was built using the Python 3.12.0 programming language. Incoming projects can be effectively incorporated into the plan without going over resource limits thanks to the resulting scheduling environment. The R&D center's actual project data was used for the experimental evaluation.

This study contributes to the literature by offering a novel approach to solving dynamic RCMPSPs while laying a foundation for future practical implementations in project management.

Keywords: Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem, Reactive Scheduling, Rolling Horizon Method, Project Management

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak yol gösteren değerli hocam Dr. Figen ÖZTOPRAK TOPKAYA' ya,
Her kararımda yanımda olan ve beni daima destekleyen sevgili anneme, babama ve kardeşlerime,
Tez sürecimde yazılım alanında kendimi geliştirmem için beni cesaretlendiren değerli mesai arkadaşım Muhammed Ali KUL'a,
Lisansüstü eğitimime destek veren sevgili yöneticilerime ve beni motive eden ekip arkadaşlarıma,
Ve en çok da hiçbir zaman yanımda olmayı bırakmayan sevgili eşime ve canım kızım Alya'ya,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Proje Planlama Süreci	1
1.2. Proje Çizelgeleme Süreci	2
1.3. Projeyi Oluşturan Temel Unsurlar	4
1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı	5
2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ	7
2.1. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin Sınıflandırılması	9
2.2. KKPÇP Çözüm Yöntemleri ve Yaklaşımları	11
3. LİTERATÜR TARAMASI	14
3.1. Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi	14
3.2. Reaktif Çizelgeleme Yaklaşımının KKPÇP’ de Uygulanması	17
3.3. Çizelgeleme Problemlerinde Kayan Ufuk Metodu	20
3.4. Yeni Proje Varışları ile KKPÇP	22
4. ÖNERİLEN METODOLOJİ	24
4.1. Problem Tanımı	24
4.2. Problemin Matematiksel Modeli	25
4.3. Çözüm Metodolojisi	27
5. AR-GE MERKEZİNDE KAYNAK KISITLI ÇOKLU PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN UYGULANMASI	33
5.1. Firma İle İlgili Bilgiler	33
5.2. Deneysel Çalışmalar	39
5.3. Problemin Gerçek Veriler Üzerinde Uygulanması	54
6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	64
EKLER	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

PYO	: Proje Yönetim Ofisi
PMI	: Proje Yönetim Enstitüsü
CPM	: Kritik Yol Yöntemi
PERT	: Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
KKPÇP	: Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi
KKÇPÇP	: Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: KKPÇP Sınıflandırma.	11
Şekil 2.2: KKPÇP Çözüm Yaklaşımları.	12
Şekil 5.1: Organizasyon Şeması.	35
Şekil 5.2: Örnek bir proje akış şeması.	38
Şekil 5.3: Örnek bir proje akış şeması.	39
Şekil 5.4: Proje akış şeması.	39
Şekil 5.5: $t=0$ anında 10 projenin kesinleşmiş olması durumu.	41
Şekil 5.6: $t=0$ anında ilk 5 projenin kesinleşmiş olması durumu.	42
Şekil 5.7: Kesinleşmiş 5 projenin ağırlıklarına göre çizelgelenmesi durumu.	43
Şekil 5.8: $t=0$ anında 6. Projenin çizelgeye 1 ağırlığı ile dahil edilmesi.	43
Şekil 5.9: $t=0$ anında 6. Projenin çizelgeye 5 ağırlığı ile dahil edilmesi.	44
Şekil 5.10: $T=0$ anında oluşan Gantt şeması.	46
Şekil 5.11: $T=10$ anında oluşan Gantt şeması.	46
Şekil 5.12: $T=20$ anında oluşan Gantt şeması.	47
Şekil 5.13: $T=30$ anında oluşan Gantt şeması.	47
Şekil 5.14: $T=40$ anında oluşan Gantt şeması.	48
Şekil 5.15: $T=0-20$ arasında yapılan çizelge	50
Şekil 5.16: $T=20-40$ arasında yapılan çizelge	51
Şekil 5.17: $T=40-60$ arasında yapılan çizelge	52
Şekil 5.18: $T=60-80$ arasında yapılan çizelge	52
Şekil 5.19: $T=0-50$ arasında yapılan çizelge	53
Şekil 5.20: $T=50-100$ arasında yapılan çizelge	53
Şekil 5.21: Majör proje akış şeması.	55
Şekil 5.22: Minör proje akış şeması.	55
Şekil 5.23: Teklif aşamasındaki proje akış şeması.	55

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: Örnek Veri Seti.	40



1. GİRİŞ

Gelişen iş süreçlerinde kaynakların doğru ve etkin bir şekilde kullanılması, bütçenin verimli yönetilmesi ve müşteri memnuniyetinin sağlanması, işletmelerin rekabet avantajı elde ederek pazar paylarını artırmaları açısından kritik öneme sahiptir. Günümüzün dinamik ve rekabetçi piyasasında bu hedeflere ulaşmak, işletmelerin sürdürülebilir büyümeleri için stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. İşletmeler, iş süreçlerini birer proje olarak ele almakta ve bu süreçleri sistematik bir yaklaşımla yönetip kayıt altına alma ihtiyacı duymaktadır [Ulusoy, 2002]. Bu bağlamda, özellikle büyüyen organizasyonlar için proje yönetimi uygulamaları kaçınılmaz hale gelmiştir. Birçok sektörde Proje Yönetim Ofislerinin (PYO) kurulması, işletmelerin proje yönetimine verdiği önemin artışı yansıtmaktadır.

Proje yönetim ofislerinin temel görevleri arasında, projelerin planlanması, kaynak atanması, bütçe ve zaman kontrollerinin gerçekleştirilmesi bulunmaktadır. Başarılı bir proje yönetimi stratejisi geliştirmek, kaynakların etkin kullanımı ve projelerin zamanında, bütçe dahilinde tamamlanması açısından hayati bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Proje Yönetim Enstitüsü'ne (PMI) göre proje yönetimi, proje gereksinimlerini karşılamak için bilgi, beceri, araç ve tekniklerin proje faaliyetlerine uygulanmasıdır. Proje yönetimi, başlatma, planlama, yürütme, izleme ve kontrol etme ile kapatma süreçlerinden oluşur [PMI, 2013].

1.1. Proje Planlama Süreci

Proje planlama, bir projenin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için atılması gereken adımların belirlenmesi ve bu adımların organize edilmesi sürecidir. Bu süreç proje hedeflerinin belirlenmesi ile başlar. Hedefler, projenin amacını ve başarılı sonuçların ne olacağını belirtir. Projenin hangi faaliyetleri içereceği netleştirilir ve faaliyetler daha küçük yönetilebilir parçalara bölünür. Bu yapı, proje faaliyetlerinin hiyerarşik bir şekilde düzenlenmesini sağlar ve görevleri daha anlaşılır hale getirir. Projedeki her faaliyetin ne zaman başlayacağı ve biteceği planlanır. Bu aşamada görevler arasındaki bağımlılıklar, kaynakların kullanılabilirliği ve kritik yol analizi gibi teknikler kullanılarak faaliyetlerin zamanlaması belirlenir. Projede kullanılacak

kaynakların (insan, ekipman, malzeme vb.) planlanması yapılır. Her faaliyetin ihtiyaç duyduğu kaynaklar tanımlanır ve kaynaklar etkin bir şekilde tahsis edilir. Proje boyunca oluşacak maliyetlerin tahmini yapılır. Bütçenin belirlenmesi, maliyet kontrolünün yapılabilmesi için önemli bir aşamadır. Projeyi etkileyebilecek potansiyel riskler belirlenir ve bu risklerin nasıl yönetileceğine dair planlar yapılır. Risklerin en aza indirgenmesi için önleyici stratejiler geliştirilir. Proje planının uygulanma aşamasında nasıl takip edileceği ve kontrol edileceği, performansın nasıl izleneceği, gerekli durumlarda nasıl düzeltici eylemler yapılacağı planlanır **[Burke, 2013]**.

Proje planlama, sadece bir başlangıç adımı değil, projenin her aşamasında revize edilip güncellenmesi gereken dinamik bir süreçtir. Özellikle karmaşık ve uzun süreli projelerde, proje planlamasını esnek tutmak ve değişikliklere hızlı adapte olmak önemlidir.

1.2. Proje Çizelgeleme Süreci

Proje planlama, bir projenin başarılı bir şekilde yürütülmesi ve tamamlanması için gerekli olan tüm unsurların organize edildiği stratejik bir süreçtir. Bu süreç, daha iyi karar verme, kaynakların verimli kullanımı, risklerin azaltılması ve paydaşların daha iyi yönetilmesi gibi faydalar sunar. Proje çizelgeleme, planlama sürecinin önemli bir bileşenidir. Başarılı bir proje yönetimi için etkili bir çizelgeleme yapmak esastır. Planlama, projenin genel stratejisini belirlerken, çizelgeleme bu planı uygulanabilir ve yönetilebilir bir zaman çizelgesine dönüştürür. İş kırılım yapısı ve kaynak atanması gibi planlama sürecinin çıktıları, çizelgeleme sürecine girdi sağlar. Çizelgeleme aşamasında, faaliyetler, faaliyetlerin başlama ve bitiş zamanları, öncül ve ardıl faaliyetler ve kullanılacak kaynaklar detaylı olarak belirlenir. Çizelgeleme sonucunda, işlem görmesi gereken birden fazla sayıda işin hangi sıra ile yapılacağı belirlenir. Yapılan sıra bir performans kriteri veya kuralına göre değerlendirilir, örneğin ilk gelen ilk işlem görür veya en acil olan ilk işlem görür gibi kurallar olabilir **[Başlıgil H., 2013]**.

Proje çizelgeleme konusunda Henry Gantt, 1910 yılında projelerde zaman yönetimini görselleştirmek için Gantt şemasını geliştirmiştir. Gantt şemaları, faaliyetlerin zaman bazlı görsel bir temsili olup, projenin zaman çizelgesini takip etmeyi kolaylaştırır. Bunun yanı sıra, Kritik Yol Yöntemi (CPM) ile faaliyetler arasındaki bağımlılıklar

analiz edilerek, projeyi en kısa sürede tamamlamak için izlenmesi gereken kritik yol belirlenir. Kritik yol üzerindeki herhangi bir gecikme, projenin toplam süresini etkilerken, kritik yol dışındaki faaliyetler belirli bir esneklik payına sahip olabilir. Belirsiz faaliyet sürelerinin olduğu durumlarda Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) kullanılarak faaliyet süreleri olasılıksal olarak hesaplanabilir. Bu teknikler, proje yönetimi disiplininin önemli parçasını oluşturur.

Uzun ve karmaşık projelerin yönetimi için Gantt şemaları yetersiz kalmaktadır. Bu şemalar, faaliyetler arasındaki tüm bağlantıları gösterememekte ve bir aşamadaki gecikmenin diğer aşamaları nasıl etkileyeceğini yeterince yansıtamamaktadır. Ayrıca, bu şemalarda faaliyetlerin sadece tamamlanma yüzdeleri izlenmekte olup, faaliyetlerin proje süresi üzerindeki ağırlığı gibi kritik bilgilere ulaşamamaktadır. Herhangi bir işin uygulanmasında değişiklik olduğu takdirde bütün şema baştan çizilmesi gerekmektedir [Albayrak, 2001]. Gantt şemalarının dezavantajları göz önüne alındığında proje çizelgeleme problemlerini çözmek için farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Seymour ve Hussein (2014), modern proje yönetiminin gelişimini dört dönemde ele almaktadır:

- **1958 öncesi dönem:** Proje yönetimi, zanaatkarlık sisteminden insan ilişkileri yönetimine dönüşmüştür.
- **1958-1979 dönemi:** Yönetim bilimlerinin uygulanması ve PERT ile CPM gibi araçların ortaya çıkışı, proje yönetiminin profesyonelleşmesini sağlamıştır.
- **1980-1994 dönemi:** Kişisel bilgisayarların yaygınlaşması ve PRINCE modelinin geliştirilmesi bu dönemin önemli gelişmelerindendir.
- **1995 sonrası dönem:** Teknolojik ilerlemelerle birlikte proje yönetimi yazılımlarının ve standartlarının sürekli olarak gelişmesi, bu dönemi tanımlamaktadır.

Özellikle 2000' li yıllarda teknolojinin ilerlemesi ile birlikte proje yönetim araçları hızla gelişmeye başlamıştır. Bu sayede proje yönetim süreçleri etkili ve verimli bir şekilde yürütülebilmektedir.

1.3. Projeyi Oluşturan Temel Unsurlar

Bir projeyi oluşturan temel unsurlar faaliyetler, kaynaklar ve kaynak kapasiteleridir. Projenin amacına ulaşabilmesi için yapılması gereken tüm işler faaliyet olarak adlandırılır. Her bir faaliyetin bir zaman çizelgesi üzerinde başlangıç ve bitiş zamanları bulunur. Faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için kaynaklara ihtiyaç vardır. Proje yönetiminde kaynaklar yenilenebilir kaynaklar, yenilenemez kaynaklar ve iki yönlü kısıtlı kaynaklar olarak sınıflandırılabilir.

Her dönemde tekrar kullanılabilen kaynaklara yenilenebilir kaynaklar denir. Kaynak tüketim miktarının ve her bir kaynağın mevcut kapasitesinin tamsayı biçiminde olduğu varsayılır. Bu bağlamda, insan kaynakları ve makineler bu tür kaynaklar olarak kabul edilir **[Carlier ve Moukrim, 2015]**. Yenilenemez kaynaklar ise proje boyunca kullanılabilir ancak bu kaynakların toplam miktarı sınırlıdır. Proje süresi boyunca harcanan her miktar, toplam kaynak stoğundan eksilir ve geri kazanılamaz. Yani bu kaynaklar ise kullanıldıkça tükenen kaynaklardır, para ve malzeme örnek olarak verilebilir. Slowinski (1980) tarafından belirtilen başka bir kaynak sınıflandırması ise iki yönlü kısıtlı kaynaklardır. Bu kaynak kategorisi, hem yenilenebilir hem de yenilenemez kaynakların özelliklerine sahiptir. Başka bir deyişle, bu kaynaklara erişim hem her dönemde hem de projenin toplam süresi boyunca sınırlıdır **[Kyriakidis vd., 2012]**. Bu çalışmada, kullanılan tüm kaynaklar yenilenebilir nitelikte olup iş gücü kaynağı kullanılmaktadır.

Kapasite, kaynakların belirli bir zaman birimi içinde yerine getirdiği iş miktarını ifade eder. Kaynağın kapasitesi, işletme standartları veya normal çalışma koşulları göz önüne alınarak kaynağın özelliklerine göre belirlenir. Proje yönetiminde, kapasite değişkenlik gösterebilir; örneğin, iş gücü kapasitesi fazla mesai gibi yöntemlerle artırılabilir. Bu bağlamda, proje yönetiminde kaynakların doğru sınıflandırılması ve kapasitelerinin etkin bir şekilde planlanması, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması açısından kritik bir rol oynar **[Akçay, 2017]**.

Proje çizelgeleme, özellikle kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda daha karmaşık hale gelmekte ve bu durum, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi (KKPÇP) gibi konuların araştırmacıların yoğun ilgisini çekmesine neden olmaktadır. KKPÇP, birden çok projenin çizelgelenmesine uyarlanarak, kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi (KKÇPÇP) olarak adlandırılan yeni bir çalışma alanı oluşturulur. Gerçek

hayatta birden çok proje eş zamanlı olarak yürütülmekte ve bu sebeple KKÇPÇP gerçek hayat problemlerinde daha uygulanabilir olarak tercih edilmektedir.

1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, aynı kaynak havuzunu kullanarak birden çok projenin eş zamanlı olarak yürütüldüğü, zaman içinde yeni projelerin geldiği ve projelerin ağırlıklarının olduğu bir proje çizelgeleme problemi üzerine odaklanılmıştır.

Tez kapsamında, yeni proje varışlarının olduğu kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi ele alınarak ölçeklenebilirlik için kayan ufuk yaklaşımına ve yeniden çizelgeleme için proje varışlarının tahminine dayalı yeni bir metodoloji önerilmektedir. Kayan ufuk yaklaşımı kullanılmasının sebebi karmaşık ve büyük projelerin kolay çizelgelenmesini sağlamaktır.

Bu çalışmada ele alınan çizelgeleme probleminin çözümüyle ilgili iki zorluk mevcuttur: İlki, klasik KKÇPÇP probleminden farklı olarak, yeni projelerin eklenerek çizelgenin güncellenmesi durumu vardır. Yeniden çizelgelemede, çizelgenin mevcut durumuna göre çok büyük değişikliğe uğramaması hedeflenmektedir. Böylece, devam etmekte olan projeler, yeni projeler eklendiğinde dahi önceden belirlenmiş tamamlanma zamanlarından büyük sapmalar olmadan teslim edilebilir. İkincisi, problemde çok sayıda proje mevcuttur ve bu modelinin makul sürede çözümü zordur. Yeniden çizelgelemede değişkenliği düşürmek için proje gelişlerinin tahmin edilerek düşük ağırlıkla çizelgeye eklenmesi önerilmiştir. Klasik probleminden farklı olarak, projelerin ağırlığı vardır ve yeni eklenen projeler belirli ağırlıklarla gelir.

Literatürde yalnızca 2019’ da Hao Jie Chen ve diğerleri çoklu projelerin kaynak kısıtlı çizelgelemesi için yeni projelerin eklenmesini ele almış ve çizelgeleme için öncelik kuralları önermiştir. Planlama ufuklarında yeni projelerin portföye eklenmesi, mevcut projelerin ve portföydeki yeni projenin öncelik kısıtları dikkate alınarak birleştirilmiş projede değişiklik yapılmasını gerektirir [Chen, 2019]. Ancak, literatürde portföye yeni projelerin eklenmesi ve çoklu projelerin birleştirilmiş projesinde dinamik güncelleme ile birlikte kayan ufuk deseni içinde KKÇPÇP'yi ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır ve bu durum, ilk kez 2022’ de Saif ve diğerlerinin makalesinde ele alınmıştır. Saif’ e göre KKÇPÇP ‘de kayan ufuk yaklaşımı uygulaması literatürde daha

önce çalışılmamıştır. KKÇP’ de kayan ufuk yaklaşımının uygulanması olarak Saif’in makalesi literatürde ilk örneklerden sayılabilir [Saif, 2022].

Bu çalışmanın motivasyon kaynağı, uygulama yapılmak için seçilen Ar-Ge biriminin, proje planlama yapısının zaman içinde sürekli yeni projelerin geldiği dinamik bir KKÇP olması ve gerçek bir proje planlama problemi üzerinde çalışmalar yapılmasıdır. Bir diğer motivasyon ise, KKÇP alanında yapılan araştırmalara göre kayan ufuk yaklaşımı ile ilgili çözümlerin çok az olmasıdır. Bu probleme çözüm üretmek hem literatüre hem de uygulama yapabilirlik açısından gelecek çalışmalara temel oluşturacaktır.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde proje yönetimine genel bakış yapılarak tez çalışmasının amacı anlatılmıştır. İkinci bölümde, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, ele alınan probleme ilişkin literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, problem tanımı yapılarak çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel model ve çözüm için uygulanan metodolojiden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, önerilen metodoloji ile deneysel çalışmalar yapılarak gerçek problem üzerinde uygulamalar yapılmıştır, son bölümde ise uygulama sonuçlarına ve gelecek çalışmalara yer verilmiştir.

2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

KKPÇP, bir projeyi oluşturan faaliyetlerin sınırlı kaynaklar altında en uygun şekilde zamanlanmasını amaçlayan bir optimizasyon problemidir [Brucker vd., 1999]. Kaynakların sınırlı olduğu dünyamızda projeler de kısıtlı kaynaklarla oluşturulur ve bu kısıtlı kaynaklar ile optimizasyon yapılır. Bu problemde, her bir faaliyetin tamamlanması belirli bir süre alır ve bu faaliyetler arasında öncelik ilişkileri bulunur. Aynı zamanda, her faaliyet belirli türde ve miktarda kaynak gerektirir (iş gücü, makine, ekipman vb.) ve bu kaynaklar genelde sınırlı kaynakları içerir. KKPÇP' nin temel amacı, kaynak ve öncül-ardıllık kısıtlarını dikkate alarak projenin toplam süresini minimize etmektir. Problem temel olarak aşağıdaki varsayımları içerir.

- Faaliyet sürelerinin deterministik olduğu varsayılır.
- Faaliyetlerin birim zaman kaynak kullanımı sabittir.
- Bir faaliyete atanan kaynak faaliyet süresince o faaliyet tarafından kullanılır.
- Başlayan faaliyetlere ara verilemez, kesintisiz bitirilmelidir.
- Faaliyetler iptal edilemez.

Bu varsayımlar temel KKPÇP' yi oluşturmaktadır [Ulusoy, 2002]. Yeni varsayımlar ekleyerek ya da bazı varsayımlar değiştirilerek temel problemde farklılaşmaya izin verilebilir. Bu farklılıklar ile KKPÇP' nin özelleştirilmiş alt problemleri oluşturulabilir.

KKPÇP' nin çözümünde her bir faaliyet için gereken kaynak miktarı ve bu kaynakların sınırlı olduğu göz önünde bulundurulur. Problem, NP-zor sınıfına aittir; yani, büyük boyutlu problemlerin kesin çözümleri, hesaplama açısından oldukça zordur ve genellikle uzun süreler gerektirir. Bu nedenle, kesin algoritmalar genellikle sadece küçük boyutlu problemler için uygulanabilir. Pratikte, meta-sezgisel yaklaşımlar (ör. genetik algoritmalar, tabu arama, yapay sinir ağları) sıkça kullanılarak iyi kalitede çözümler makul sürelerde elde edilmeye çalışılır. Bu problem özellikle, inşaat

projeleri, yazılım geliştirme projeleri ve üretim planlaması gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Projeye ait olan faaliyetlere ek olarak, J kümesi, planlamanın başlangıcını ve bitişini temsil eden 0 ve $n+1$ faaliyetlerini içerir. Bu işler sahte (dummy) işlerdir ve bu işlerin işlem süreleri her zaman sıfırdır, ayrıca bu işler kaynak tüketmez. Bu formülasyonda, $x_{jt} = 1$ ise iş j zaman t 'de başlamıştır, aksi takdirde $x_{jt} = 0$ olmalıdır. Tüm işler tek bir zaman diliminde başlamak ve kaynak kısıtlamalarına uymak zorundadır. Pritsker (1969)' in önerdiği model şu şekildedir:

Parametreler:

J : Faaliyetler kümesi

R : Yenilenebilir kaynaklar kümesi

S : Faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri $(i, j) \in J \times J$

T : Faaliyet süreleri kümesi

p_j : Faaliyet j ' nin işlem süresi

$u_{j,r}$: Faaliyet j ' nin yapılabilmesi için gereken r kaynağının miktarı

c_r : Yenilenebilir kaynak r 'nin kapasitesi

Karar değişkeni:

x_{jt} : eğer j işi t zamanında başlarsa 1, başlamazsa 0

Amaç fonksiyonu:

$$\sum_{t \in T} t \cdot x_{(n+1,t)} \quad (1.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{t \in T} x_{(j,t)} = 1 \quad \forall j \in J \quad (1.2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t_2=t-p_j+1}^t u_{(j,r)} x_{(j,t_2)} \leq c_r \quad \forall t \in T, r \in R \quad (1.3)$$

$$\sum_{t \in T} t \cdot x_{(s,t)} - \sum_{t \in T} t \cdot x_{(j,t)} \geq p_j \quad \forall (j, s) \in S \quad (1.4)$$

$$x_{(j,t)} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (1.5)$$

(1.1) numaralı kısıt projenin toplam tamamlanma zamanını minimize eden amaç fonksiyonudur. (1.2) numaralı kısıt, her işin tam olarak bir zaman diliminde başlaması gerektiğini ifade eder. (1.3) numaralı kısıt, herhangi bir zaman diliminde kaynak kullanımı kapasiteyi aşmamalıdır. (1.4) numaralı kısıt, işler arasındaki öncelik ilişkilerine uyulması gerektiğini gösterir. (1.5) numaralı kısıt ise x_{jt} lerin 0 ya da 1 olması gerektiğini ifade eder.

KKPÇP'nin temel modeli yukarıdaki gibidir. Araştırmacılar tarafından zamanla temel varsayımlarda değişiklikler yapılarak model üzerinde de değişiklikler yapılmıştır. Yapılan bu değişikliklere göre KKPÇP'nin sınıflandırılması yapılmıştır. Sonuç olarak, temel varsayımlardaki değişikliklere göre çeşitli çözüm yöntemleri de geliştirilmiştir.

2.1. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin Sınıflandırılması

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP), literatürde zamanla farklı biçimlerde sınıflandırılmıştır [Brucker vd., 1999; Yang vd., 2001; Habibi vd., 2018]. Brucker vd. (1999), bu problemi standart bir çerçevede ele almayı amaçlayarak üç temel sınıflandırma kriteri tanımlamışlardır: Kaynak ihtiyacına göre, KKPÇP' de yalnızca yenilenebilir kaynaklar kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bir faaliyetin tükettiği kaynak türü, faaliyetin doğasına bağlıdır ve bu doğrultuda kaynaklar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

- Yenilenebilir kaynaklar: Belirli dönemlerde yeniden kullanılabilen işçi veya ekipman gibi kaynaklardan oluşur.
- Yenilenemez kaynaklar: Örneğin bütçe gibi, toplam planlama süresi boyunca sabit bir limite sahip kaynaklardır.
- İki taraflı kısıtlı kaynaklar: Hem yenilenebilir hem de yenilenemez özelliklere sahip kaynaklar olup genellikle ayrı ayrı ele alınmaktadır.

Faaliyet özelliklerine göre, proje faaliyetleri belirli işlem sürelerine sahiptir ve bu süreler sabit ya da stokastik olabilir. Faaliyetler arasında öncelik ilişkileri bulunur ve

bu kısıtlar doğrultusunda projeler tanımlanır. Buna göre, projeler stokastik, tek modlu ya da çok modlu olarak sınıflandırılmaktadır.

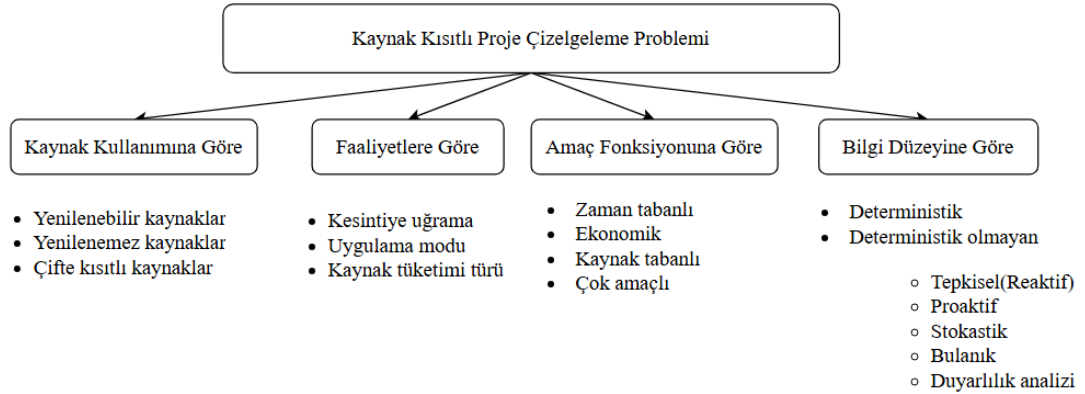
Amaç fonksiyonuna göre projeler, belirlenen amaç doğrultusunda çizelgelenmektedir. En yaygın amaç fonksiyonu, projenin tamamlanma süresini en aza indirmektir. Bunun yanı sıra, kaynak kullanımının dengelenmesi, proje maliyetinin minimize edilmesi ya da proje süresi ve maliyet arasında bir optimizasyon sağlanması gibi hedefler de kullanılmaktadır [Brucker vd., 1999].

Yang vd. (2001), KKPÇP' yi beş farklı kategori altında incelemiştir:

1. **Temel Tek Modlu KKPÇP:** Tek bir projenin tamamlanma süresinin minimize edilmesi amaçlanır ve kaynaklar tek modda kullanılır.
2. **Temel Çok Modlu KKPÇP:** Kaynakların farklı modlarda kullanılabileceği problemleri içerir. Projede kullanılan kaynak sayısının değişmesi ile proje süresi ve maliyetinin etkilendiği problemlerdir.
3. **Düzenli Olmayan Amaç Fonksiyonlarına Sahip KKPÇP:** Proje finansal durumunun optimize edilmesi gibi hedefleri kapsar.
4. **Stokastik KKPÇP:** Faaliyet sürelerinin kesin değerler yerine olasılık dağılımlarına bağlı olduğu, bu nedenle beklenen bitirme süresinin minimize edilmesinin hedeflendiği problemler.
5. **Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi:** Birden fazla projenin aynı kaynak havuzunu kullanarak çizelgelendiği durumları ele alır.

Habibi vd. (2018), KKPÇP'yi dört ana kategoride geniş bir çerçevede sınıflandırmıştır: kaynak türleri, faaliyet özellikleri, amaç fonksiyonları ve belirsizlik ortamında çizelgeleme. Habibi'nin çalışması, Brucker'dan farklı olarak belirsizlik unsurlarını da dikkate almıştır. Bu bağlamda, belirsizlik ortamı; faaliyet sürelerinin planlanandan farklı gerçekleşmesi, proje kapsamındaki değişiklikler, öngörülemeyen doğal afetler ya da müşteri taleplerindeki değişiklikler gibi durumları içermektedir. Bu belirsizlikler, çizelgelerde bozulmalara yol açarak kaynak kullanım etkinliğini düşürmekte ve ek maliyetlere neden olmaktadır. Habibi, bu sorunlara çözüm bulmak için proaktif, reaktif, stokastik ve bulanık çizelgeleme yaklaşımlarını sınıflandırmaya dahil etmiştir [Herroelen ve Leus, 2005; Habibi vd., 2018].

Habibi' nin geniş sınıflandırılması Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1: KKPCP Sınıflandırma [Habibi vd., 2018].

2.2. KKPCP Çözüm Yöntemleri ve Yaklaşımları

Proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için kesin yöntemler, sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır [Abdolshah, 2014]. Bu problem, NP-zor bir problem olduğu için kesin çözüm veren yöntemler ancak belirli problem büyüklükleri için geçerli olmaktadır. Problem boyutu büyüdükçe çözmek zorlaşmaktadır ve bu durumlarda sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

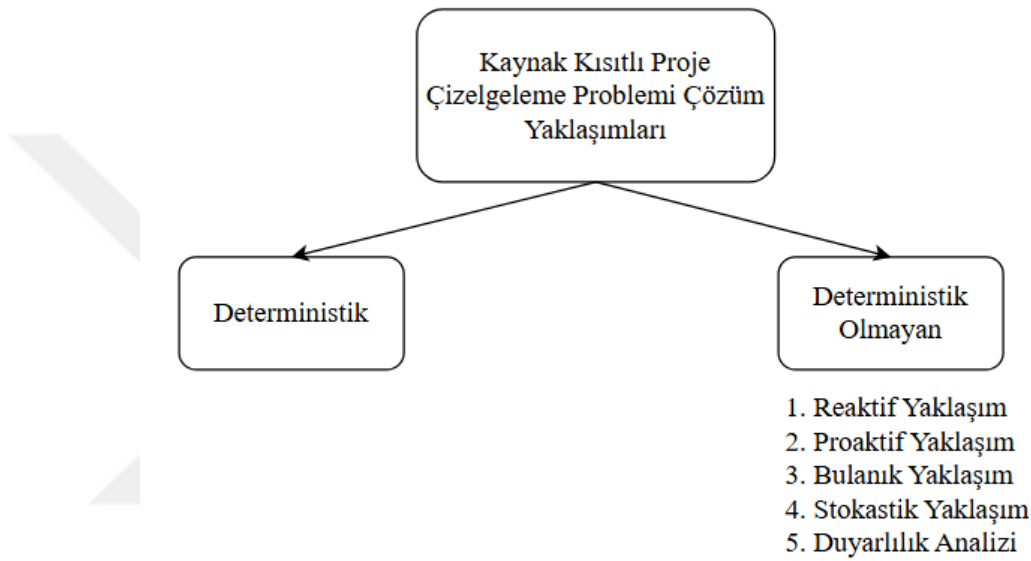
Kesin çözüm veren yöntemler küçük boyutlu problemler için sonuç vermektedir. Literatürde, dinamik programlama, lineer ve tamsayılı programlama ve dal sınır algoritması olarak sınıflandırılmıştır.

Sezgisel yöntemler kabul edilebilir bir hesaplama maliyetiyle optimal çözümlere yakın sonuçlar arayan bir tekniktir. Ancak, kesin çözümlerden farklı olarak, optimal bir çözüm varsa bunu bulmayı garanti etmezler, bazen optimal çözüme ulaşabilir, ancak çoğu zaman iyi bir çözüme ulaşırlar. Ayrıca bu yöntemler genellikle kesin çözümlere göre daha az zaman ve bellek gerektirir.

Metasezgisel yaklaşımlar, yerel arama, tavlama simülasyonu, tabu arama, genetik algoritmalar, evrimsel yöntemler ve karınca kolonisi gibi çeşitli teknikleri içerir. Bu yöntemler, temel olarak farklı sınıflandırmalara ayrılabilir: doğadan ilham alan ve almayan yöntemler, dinamik ya da statik amaç fonksiyonlarına dayalı yöntemler, sabit komşuluk yapısı veya değişken komşuluk yapısı kullanan yöntemler, hafızadan

faydalanan veya hafıza kullanmayan yöntemler ve bireysel çözümlere odaklanan ya da toplum temelli çalışan metasezgisel yaklaşımlardır [Blum ve Roli, 2003].

Çizelgeleme alanındaki çalışmaların büyük bir bölümü, problemin çözümünde tam bilginin mevcut olduğunu ve elde edilen temel çizelgeleme planının statik bir ortamda uygulanacağını varsaymaktadır. Ancak, projelerin kademeli olarak hayata geçirilmesi sırasında birçok belirsizlik ortaya çıkmaktadır. Bu belirsizlikler için kullanılabilecek yaklaşımlar Şekil 2.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: KKPÇP Çözüm Yaklaşımları [Abdolshah, 2014].

Deterministik yaklaşımda, tüm problemin parametrelerinin belirli ve kesin olduğu varsayılır. Deterministik olmayanlarda ise belirsizlikler vardır ve bu belirsizliklerle başa çıkmak için aşağıdaki yaklaşımlar kullanılır.

Reaktif yaklaşımda beklenmeyen olaylar meydana geldiğinde çizelge onarılır ve yeniden çizelgeleme yapılır. Bu değişiklikleri yapabilmek için kayan ufuk metodu kullanılabilir. Burada ne zaman yeniden çizelgeleme yapılacağına karar verilmesi önemlidir.

Proaktif yaklaşım, reaktif çizelgelemenin aksine, proje süresini uzatabilecek beklenmedik durumları çizelgeleme aşamasında dikkate alır. Bu yaklaşımın temel hedefi, proje çıktılarındaki dalgalanmaları en aza indirmektir. En kısa proje tamamlanma süresini elde etmek yerine, proje girdilerindeki veya çevresel koşullardaki olası değişimlere karşı daha dengeli bir proje tamamlanma süresi

hedeflenir. Proje çıktısı genellikle en kısa tamamlanma süresi olsa da, problemin yapısına bağlı olarak kaynak kullanımındaki dalgalanmaların azaltılması gibi başka çıktılar da öncelikli ya da birden fazla hedef olarak değerlendirilebilir. [Lambrechts vd., 2008].

Stokastik yaklaşım, proje çizelgeleme probleminin parametrelerinin olasılıksal olduğu varsayılır. Literatürde stokastik yaklaşımlar çok fazla tercih edilmektedir [Creemers, 2019].

Bulanık yaklaşımda, belirsizlikleri modellemek için bulanık mantık kavramı kullanılır. Örneğin, bir işin tamamlanma süresi tam olarak 5 gün değil de "yaklaşık 5 gün" olabilir. Bu durumda süre, bir bulanık sayı veya bir bulanık küme olarak ifade edilir. Böylece, belirsizlikler, dilsel terimler (örneğin, "kısa", "orta", "uzun") veya bulanık üyelik fonksiyonları ile temsil edilir [Chanas vd., 1981].

Literatürde KKPÇP çözümü için genellikle sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılmıştır. **Abdolshah (2014)**' ın yaptığı çalışmada benzer makaleler elendikten sonra seçilen makaleler detaylı olarak incelenmiş yaklaşık 200 makalede KKPÇP için kullanılan çözüm yöntemleri analiz edilmiştir. 131 makalede sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Çözüm yaklaşımı olarak 40 makalede proaktif, reaktif, stokastik ve bulanık yaklaşımlar kullanılmaktadır [Abdolshah, 2014]. Bu çalışma kapsamında, reaktif yaklaşım kullanılarak belirsizlikleri yönetebilmek için sürekli yenilenen bir çizelge ile probleme çözüm bulunması amaçlanmıştır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Hızlı değişen dünyada proje çizelgeleme problemleri için literatüre bakıldığı zaman her geçen gün artan sayıda makale yayınlanmakta olduğu görülmekte ve neyin gerçekten yeni ve önemli olduğunu takip etmek gittikçe zorlaşmaktadır [Brucker, 1999]. Özellikle 2000 li yıllardan sonra proje çizelgeleme alanında çok fazla çalışma ile karşılaşmaktayız. Bu literatür taramasında da güncel ve farklı çalışmalara yer verilmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar belirli başlıklara göre gruplandırılmıştır. Burada genelden özele giderek ilk önce KKÇPÇP ile ilgili güncel çalışmalardan bahsedilerek, çizelgeleme problemlerinde kayan ufuk yaklaşımının nasıl uygulandığına, reaktif çizelgeleme ile hangi çalışmaların yapıldığına ve yeni proje eklenmesi durumunda KKÇPÇP’ nin örneklerine yer verilmiştir.

Genel olarak problemin çok geniş olurlu çözümleri arasından en iyisinin seçilmesi esasına dayanan yaklaşımlar KKÇP problemlerine uygulanarak, minimum sürede en iyi ve en iyiye yakın çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Oluşturulan yaklaşımların performansı ortak problemlerin çözülmesi sonucu çözüme ulaşma süresi ile ölçülmektedir. KKÇP ‘nin optimizasyon yöntemleriyle çözümünün zor olması ve herhangi bir sezgisel yaklaşımın henüz kabul görmemesi nedeniyle problem üzerindeki araştırmalar sürmektedir.

3.1. Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi

Payne (1995), şirketlerin genellikle aynı kaynak havuzunu kullanarak eş zamanlı olarak birden fazla proje yürüttüğünü belirtmektedir. Bu bağlamda, kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemleri, sınırlı kaynakların ve zamanın etkin bir şekilde yönetilmesini gerektiren karmaşık bir optimizasyon problemidir. Proje yöneticileri açısından bu problem, hem stratejik hem de operasyonel düzeyde önemli zorluklar doğurmaktadır. Özellikle, projelerin belirlenen sürelerde tamamlanmasını sağlarken kaynak kullanımını optimize etme gerekliliği, kesin çözüm yöntemlerinin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP) modelleri, KKÇPÇP için sıkça kullanılan bir çözüm yaklaşımıdır. Ancak, bu modellerdeki kısıtların ve değişkenlerin sayısı arttıkça, gerçek dünya problemlerinin çözümü giderek daha karmaşık hale gelmektedir. **Demeulemeester ve Herroelen (1997)**, **Chakraborty vd. (2018)** ile **Kone vd. (2009)** gibi çalışmalar, 60'tan fazla faaliyeti içeren senaryolarda kesin çözüm yöntemlerinin uygulanabilir olmadığını ifade etmektedir. Bu tür zorluklar, literatürde alternatif çözüm yöntemlerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir.

Kesin çözüm yöntemleri arasında doğrusal program gevşetme ve kısıt programlama tabanlı yaklaşımlar öne çıkmaktadır. **Heimerl ve Kolisch (2010)**, KKÇPÇP'nin çözüm sürecini hızlandırmak ve karmaşıklığını azaltmak amacıyla LP gevşetme yöntemlerini önermiştir. Tam sayı kısıtlarının kaldırılması ile yapılan LP gevşetmenin her probleme uygulanması uygun olmayabilir. Benzer şekilde, **Kone vd. (2009)**, olay tabanlı bir MILP modeli önermektedir. Bu model, zamanı esnek ele alarak zaman ayrıklığı sorununu aşar ve kaynakların etkin kullanımını sağlar. Geleneksel modellere kıyasla daha hızlı ve optimal çözümler sunarak hesaplama süresini azaltır. Büyük ölçekli problemler için geliştirilmelidir.

Demasse, Artigues ve Michelon (2005), doğrusal formülasyonların alt sınırlarını iyileştirmek için kısıt yayılımını kesme düzlemleri ile birleştiren bir yöntem sunmuştur. Bu yaklaşımla, 60, 90 ve 120 faaliyeti içeren senaryolarda daha güçlü alt sınırlar elde edilmiştir. Bu çalışmalar, kesin çözüm yöntemlerinin teorik katkılarını artırsa da, büyük ölçekli problemler için hesaplama süresinin hâlâ önemli bir engel teşkil ettiğini ortaya koymaktadır.

Kesin çözüm yöntemlerinin sınırlamalarını aşmak için meta-sezgisel algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır. **Zaman vd. (2021)**, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde belirsiz süreler ve gerçek değerli faaliyet sürelerini ele alarak bir simülasyon destekli evrimsel çerçeve geliştirmiştir. Bu çerçeve, belirsizliklerle başa çıkmada etkili bir yöntem sunmuş ve 120 faaliyete kadar olan problemleri hesaplama süresini önemli ölçüde azaltarak çözmüştür.

Wang vd. (2021), kaynak transfer maliyetlerini dikkate alan iki hedefli bir optimizasyon modeli önermiştir. Bu model, çözüm dayanıklılığını artırmayı ve transfer maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan yenilikçi bir kaynak odaklı formülasyon kullanmaktadır. Meta-sezgisel algoritmaların kullanıldığı bu çalışmada,

önerilen yöntemlerin performansı çeşitli ölçütlerle değerlendirilmiştir ve yüksek düzeyde verimlilik sağladığı gösterilmiştir.

Literatürde, geleneksel yaklaşımların ötesine geçerek gerçek dünya uygulamalarına daha yakın çözümler geliştirilmiştir. **Kong ve Dou (2021)**, çoklu zaman kısıtları altında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini ele almış ve faaliyet süresi, zamansal kısıtlar ve kaynak takvimi kısıtlarını birleştiren yeni bir problem yapısı önermiştir. Bu problem için geliştirilen kısıt programlama modeli, CPLEX-CP kullanılarak çözümlenmiş ve literatürde bir kıyas noktası sağlamıştır.

Habibi vd. (2018), son 40 yıl içinde yayımlanmış 216 çalışmayı inceleyerek KKPÇP'yi sınıflandırmış ve bu problemin çözümünde kullanılan algoritmalarla ilgili gelişmeleri aktarmışlardır. İncelenen çalışmalar, kaynaklar, faaliyetlerin özellikleri, amaç fonksiyonu türü ve bilgi seviyesinin mevcudiyeti olmak üzere dört ana boyutta kategorize edilmiştir. Bu sınıflandırma içinde özellikle bilgi seviyesiyle ilgili durum dikkat çekicidir. Çalışmaların %66'sı deterministik koşullar altında gerçekleştirilmiş olup, belirsizliklerin ele alındığı reaktif çizelgeleme yalnızca %5 oranında çalışılmıştır. Bu durum, reaktif çizelgeleme alanındaki çalışmaların oldukça yeni olduğunu ve literatürde önemli bir boşluğun bulunduğunu göstermektedir. Bu tez çalışması, söz konusu boşluğa katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Abdolshah (2014), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin KKPÇP çözümüne yönelik kullanılan yöntem ve yaklaşımları kapsamlı bir şekilde analiz etmek amacıyla 200'den fazla makaleyi incelemiş ve geliştirilen modellerin özellikleri ile sınırlılıklarını ortaya koymuştur. Çözüm yöntemlerine ilişkin yapılan değerlendirmede, incelenen 176 makalenin 46'sında kesin çözüm yöntemlerinin, geri kalanında ise sezgisel yöntemlerin kullanıldığı belirlenmiştir. İncelenen yaklaşımların büyük bir kısmının deterministik ve ayrık bir yapıda olduğu tespit edilmiş olup, belirsizlikleri dikkate alan çalışmaların sayısının oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu durum, literatürde önemli bir boşluğa işaret etmektedir. Proje yönetim süreçlerinde, pek çok verinin proje planlama aşamasında belirlenebilir olması, bu alandaki eksikliklerin temel nedenlerinden biri olarak değerlendirilebilir. Ancak, özellikle Ar-Ge projeleri gibi yüksek belirsizlik içeren proje türleri, bu alanda daha fazla çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemleri, hem teorik hem de pratik zorluklar içeren geniş bir araştırma alanıdır. Literatürdeki çalışmalar, kesin çözüm yöntemlerinden meta-sezgisel algoritmalara kadar geniş bir yelpazede çözümler sunmaktadır. Ancak, büyük ölçekli problemler ve gerçek dünya kısıtları dikkate alındığında, yenilikçi yaklaşımlara olan ihtiyaç devam etmektedir. Gelecekteki çalışmalar, belirsizliklerin daha etkin şekilde ele alınması, çözüm süresinin kısaltılması ve çoklu kısıtların bir arada optimize edilmesi yönünde ilerlemektedir.

3.2. Reaktif Çizelgeleme Yaklaşımının KKPÇP' de Uygulanması

Reaktif proje çizelgeleme, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde belirsizlik ve değişikliklere uyum sağlama amacıyla başlangıç çizelgelerinin güncellenmesini veya revize edilmesini içeren bir yaklaşımdır. Bu bağlamda, reaktif çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar, belirsizlik ve kesintiler altında etkin çizelgeleme teknikleri geliştirmeyi hedeflemektedir. Reaktif proje çizelgeleme literatürü, belirsizliklerin proje süreçlerine etkisini yönetmek için geliştirilen çeşitli yaklaşımları kapsamaktadır. Bu yaklaşımlar, genellikle proaktif ve reaktif stratejilerin entegrasyonunu temel alır ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde hem planlama hem de uygulama aşamalarında önemli katkılar sunar. Aşağıda, bu alandaki önemli çalışmalara ve bu çalışmaların sağladığı katkılara yer verilmiştir.

Capa vd. (2015), bir beyaz eşya firmasının Ar-Ge departmanında, stokastik ve dinamik bir ortamda kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada, çift amaçlı bir genetik algoritma önerilmiştir. Tekli proje çizelgeleme yaklaşımı, bireysel projeler için daha iyi tamamlanma süreleri sunarken, çoklu proje çizelgeleme yaklaşımı birleşik projeler için etkili sonuç sunmaktadır. Çoklu proje çizelgelemenin dezavantajı, yeni bir proje eklenirken tüm faaliyetleri yeniden çizelgeler ve bu durum sistem kararsızlığına ve çalışan motivasyonunun düşmesine yol açabilir.

Lima vd. (2019), kaynak esnekliği yönetimiyle kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini çözmeye yönelik bir MS Project eklentisi geliştirmiştir. Bu eklenti, proje yöneticilerinin aktivitelerin sürelerini artırma veya azaltma olanaklarını kolayca ve açık bir şekilde tanımlamalarına olanak sağlar. Kaynakların birden fazla faaliyette çalışabilmesi veya esnek zaman dilimlerinde kullanılabilmesi, belirsizliğin etkilerini

azaltmak için önemli bir unsurdur. Kaynak esnekliği, projenin dayanıklılığını artırırken, çizelge optimizasyonu ve karar verme süreçlerinde önemli bir destek sağlamaktadır. Makalede kaynakları esnetmek için çalışma yapılmış olup aktivitelerin yeniden çizelgelenmesi konusuna değinilmemiştir. Yeniden çizelgeleme ve kaynak esnekliği birleştirilirse gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirlik artabilir.

Song vd. (2018), belirsizlik altında çoklu proje planlama için bir ajan tabanlı simülasyon sistemi önermiştir. Çalışma, projelerdeki faaliyet sürelerinin ve kaynakların belirsizliğini ele alarak, proje yöneticileri ve kaynaklar gibi ajanların etkileşimlerini simüle eder. Bu sistem, dinamik karar verme süreçlerini modelleyerek projelerin çizelgeleme performansını iyileştirir ve belirsiz koşullarda esnek, uyarlanabilir çözümler sunar. Test sonuçları, ajan tabanlı simülasyonun belirsizlik yönetiminde etkin ve pratik bir araç olduğunu göstermektedir.

Chakraborty vd. (2016), çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kaynak kesintilerine karşı reaktif çizelgeleme modelleri geliştirmiştir. Rastgele kesinti senaryoları altında performansı test edilen bu modeller, kesinti durumunda çizelgelemenin nasıl yeniden optimize edilebileceğine yönelik pratik çözümler sunmaktadır.

Benzer şekilde, **Chen ve Zhang (2014)**, belirsizlik altında iki aşamalı bir kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi modelini tanıtmıştır. Bu model, başlangıç çizelgesini optimize eden proaktif bir aşamayı ve yürütme sürecinde kesintilere uyum sağlayan reaktif bir aşamayı içermektedir. Çözüm sürecinde, parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılmıştır. **Deblaere vd. (2011)**, çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminde reaktif çizelgeleme prosedürlerini incelemiş ve tabu arama algoritmasıyla faaliyet sürelerindeki sapmalara uyum sağlayan yöntemler geliştirmiştir. **W. Wang, Ge, Li ve Su (2019)**, belirsiz ortamlarda proaktif ve reaktif çoklu proje çizelgeleme problemini ele alarak süre ve maliyet sapmalarını en aza indiren bir model önermektedir. Proaktif çizelgeleme, temel çizelgeyi oluştururken, kesinti durumlarında reaktif model tampon kaynaklarla projeyi hızla toparlar. Tamponların kesintileri azaltmada etkili olduğu, ancak kaynak maliyetlerini artırdığı vurgulanmıştır. Sorunun çözümü için genetik simüle tavlama algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın küresel optimizasyon kapasitesini artırdığı gösterilmiştir. Yaklaşım, kesintilerin etkilerini minimize etmede başarılıdır. Önerdikleri model alternatif çizelgeler üretmek için kullanılabilir olup bu ihtiyacı karşılamak için genetik

tavlama benzetimi algoritmasını önermişlerdir. Bir tampon değiştirme operatörü ve bir geçiş operatörünü genetik tavlama benzetimi algoritmasında tasarlamışlardır. Böylece algoritmanın ilk aşamalarında, optimum bir birey üretilip ardından korunmasını sağlamışlardır. Performans karşılaştırması yaptıklarında, genetik tavlama benzetimi algoritmasının önceki algoritmalarından önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Meta sezgisel algoritmalar, reaktif çizelgeleme konusunda ön plana çıkmaktadır.

Van de Vonder vd. (2007), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde faaliyet süresi aksaklıklarını yönetmek için sezgisel reaktif prosedürler geliştirmiştir. Bu prosedürler, temel çizelge ile gerçekleşen çizelge arasındaki sapmaları en aza indirme amacı taşımaktadır. Rastgele proje örnekleri üzerinde yapılan deneyler, öncelik kuralları, örnekleme yöntemleri ve ağırlıklı erkenlik-geçlik sezgisi gibi tekniklerin reaktif çizelgelemede etkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, çizelge stabilitesini artırmak için yeni yöntemler önermektedir.

Van de Vonder, Demeulemeester ve Herroelen (2007), tahminsel-reaktif proje çizelgeleme prosedürlerini sınıflandırarak, hem zamanında proje tamamlanma olasılığını hem de çizelgeleme stabilitesini artırmayı amaçlayan yaklaşımları değerlendirmiştir. Proaktif ve reaktif stratejilerin birleştirilmesiyle, proje yürütme sırasında meydana gelen sapmalar etkin bir şekilde yönetilmiştir. Bu çalışma, çizelgeleme stratejilerinin geniş çaplı bir deneysel analizini sunmaktadır.

Suwa ve Morita (2016), belirsizlik altında proje ilerlemesini iyileştirmek için “Proje İlerleme Derecesi (DPP)” kavramını geliştirmiştir. Önerilen reaktif yöntem, proje başlangıç zamanlamasını, gerçekleşen sapmalara dayalı olarak revize etmeyi amaçlamaktadır. Sayısal deneyler, bu yöntemin proje zaman yönetiminde etkin bir reaktif zamanlama aracı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Houten vd. (2024), stokastik kaynak kısıtlı proje zamanlama problemlerini ele almıştır. Çalışmada, kısıt programlama ve Belirsizlikle Basit Zamansal Ağlar (STNUs) kullanılarak hem proaktif hem de reaktif stratejiler geliştirilmiştir. Çözüm kalitesi ve hesaplama süresi açısından yapılan analizler, STNU tabanlı algoritmaların üstün performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu yöntemler, çevrimdışı ve çevrimiçi çizelgeleme stratejilerinin entegrasyonuna yönelik önemli bir katkı sunmaktadır.

Zheng vd. (2018), stokastik faaliyet sürelerine sahip projelerde net bugünkü değeri maksimize etmeyi hedefleyen proaktif ve reaktif modeller önermiştir. Tabu arama, değişken komşuluk arama ve hibrit algoritmalar kullanılarak, çizelgeleme sonuçlarına etki eden parametreler analiz edilmiştir. Çalışmada, belirsizlik altındaki projelerde proaktif ve reaktif stratejilerin etkinliğini göstermektedir.

Bu çalışmalar, reaktif proje çizelgeleme alanında önemli katkılar sağlamış ve proaktif-reaktif stratejilerin entegrasyonu sayesinde proje başarı oranlarını artırmayı hedeflemiştir. Elde edilen sonuçlar, belirsizlik altında proje çizelgeleme problemlerine ilişkin farklı yaklaşımların etkinliğini göstermektedir. Bu tez çalışmasında, ele alınan problem reaktif çizelgeleme yaklaşımı kullanılmasına uygun olduğu için bu yaklaşım tercih edilmiştir.

3.3. Çizelgeleme Problemlerinde Kayan Ufuk Metodu

Kayan ufuk metodu, belirsizlik içeren dinamik süreçlerin planlanması ve yeniden çizelgelenmesi için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle üretim planlama, bakım yönetimi ve hizmet sistemlerinin çizelgelenmesi gibi alanlarda geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Kayan ufuk metodu, zaman içinde belirsizliklerin azaldığı ve yeni bilgilerin ortaya çıktığı dinamik çevrelerde kullanılan bir çizelgeleme yaklaşımıdır. Bu yöntemin temel avantajı, projelerin veya faaliyetlerin belirli zaman dilimlerine ayrılarak planlanmasını sağlamasıdır. Böylece, büyük ölçekli problemlerin yönetilebilir alt problemlere dönüştürülmesi mümkün olur. Yöntem, esnek yapısı sayesinde dinamik olarak yeni projelerin eklenmesi veya mevcut projelerde güncellemelerin yapılmasını kolaylaştırır. Belirsizliklerin etkisini en aza indirerek kısa vadede daha kesin verilere dayalı karar alınmasını sağlar. Ayrıca, devam eden faaliyetlerin kaynak kullanımını dikkate alarak, yeni eklenen projelerin mevcut kaynak kapasitesine uygun bir şekilde planlanmasına imkan tanır. Kayan ufuk metodu, karar verme sürecini kolaylaştırmasının yanı sıra, kaynakların etkin kullanımını da optimize eder. Uzun vadeli çizelgelemenin getirdiği hesaplama yükünü azaltarak daha hızlı ve çözülebilir bir süreç sunar. Özellikle dinamik proje ortamlarında süreklilik sağlayarak önceki kararların gelecekteki çizelgeye entegrasyonunu mümkün kılar. Bu özellikleriyle, proje yönetiminde etkin ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak öne çıkar.

Literatürde bu yöntemin farklı sektörlerdeki kullanımına ilişkin pek çok çalışma yer almaktadır. Aşağıda, kayan ufuk yaklaşımının çeşitli uygulama alanlarından seçilmiş örnekler sunulmaktadır.

Havacılık sektöründe uçakların Bakım, Onarım ve Revizyon (MRO) faaliyetleri, güvenilirlik gereksinimlerini karşılamak ve operasyonel sürekliliği sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. **Güler (2024)**, bu bağlamda kayan ufuk tabanlı bir çözüm çerçevesi sunarak, farklı zamanlarda gelen uçak bakım projelerinin kaynak kısıtlarına uygun bir şekilde zamanlanmasını ele almıştır. Tamsayılı programlama modeli ile oluşturulan bu yaklaşım, MRO süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesine olanak sağlamaktadır.

Gui vd. (2024), terminal manevra alanlarında uçak sıralama ve çizelgeleme problemini çözmek için bir meta-sezgisel algoritma geliştirmiştir. kayan ufuk yaklaşımının bu problemde kullanımı, büyük ölçekli karmaşık problemlerin daha küçük alt problemlere ayrılmasını ve hesaplama süresinin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, hava trafiği kontrolörlerine operasyonel süreçlerde önemli avantajlar sunmaktadır.

Folco vd. (2024), döngüsel demiryolu araç bakım problemini kayan ufuk yöntemi ile çözmeyi önermiştir. Kaynak kapasiteleri ve bileşen arıza oranlarını dikkate alan bu yaklaşım, bakım maliyetlerini azaltırken operasyonel ihtiyaçların karşılanmasını sağlamaktadır.

Gkiotsalitis (2021), toplu taşıma sistemlerinde otobüs kalkış saatlerinin yeniden çizelgelenmesi için kayan ufuk yaklaşımını kullanmıştır. Gün boyunca değişen yolculuk süreleri ve operasyonel kısıtlamaları dikkate alarak geliştirilen yöntem, hizmet düzenliliğini artırmakta ve yolcu memnuniyetini sağlamaktadır.

Zhu ve Goverde (2020), demiryolu sistemlerinde beklenmedik kesintilerin yol açtığı çizelgeleme problemlerini kayan ufuk yaklaşımıyla ele almıştır. Stokastik programlama ile formüle edilen bu model, kesinti süresindeki belirsizlikleri dikkate alarak daha dayanıklı ve etkin bir yeniden çizelgeleme çözümü sunmaktadır. Bu yöntem, özellikle belirsizliklerin yüksek olduğu durumlarda daha az iptal ve gecikme ile sonuçlanmaktadır.

Addis vd. (2016), ameliyathanelerde seçmeli cerrahi işlemler için hasta atama problemini kayan ufuk yaklaşımıyla ele almıştır. Her iterasyonda kısa vadeli kararlar

alınırken, daha uzun vadeli planlama ufku dikkate alınarak bir tamsayılı programlama modeli ile ceza fonksiyonu minimize edilmiştir. Bu yöntem, bekleme sürelerini azaltma ve kaynakların etkin kullanımını sağlama açısından önemli faydalar sunmaktadır.

Luo vd. (2016), ameliyathane çizelgeleme için kayan ufuk planlama yöntemi geliştirmişler ve bunu kaymayan ufuk planlama yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmaya göre kayan ufuk yaklaşımı kullanılan planlama yöntemi uygulandığında ameliyathanelerin daha etkin kullanıldığını gözlemlemişlerdir.

Bu literatür incelemesi, kayan ufuk metodunun farklı sektörlerdeki etkinliğini ve esnekliğini ortaya koymaktadır. Havacılık sektöründen sağlık hizmetlerine, demiryolu sistemlerinden toplu taşımaya kadar geniş bir uygulama alanı bulunan bu yaklaşım, karmaşık problemlerin çözümünde güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Tez kapsamında ele alınan problem, bu yöntemin mevcut literatürdeki uygulamaları ile bağlantılandırılarak daha geniş bir çerçeve içinde değerlendirilmiştir.

3.4. Yeni Proje Varışları İle KKÇPÇP

Bu tez çalışmasının temel motivasyonlarından biri, zaman içinde yeni projeler eklendiğinde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin dinamik ortamda çizelgelenmesini sağlamaktır. Bu bölümde, yeni proje eklenmesi durumunda literatürde KKÇPÇP için yapılan mevcut çalışmalarda kullanılan yöntemler ve yaklaşımlar incelenmiştir.

Yassine, Mostafa ve Browning (2017), kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme probleminin çeşitli formülasyonlarının (ör. kesintilere izin veren modeller, stokastik faaliyet sürelerini içeren modeller ve dinamik proje gelişlerini ele alan modeller) keşfedilerek daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. **Hazir ve Ulusoy (2019)**, gerçek hayattaki projelerde zaman/kaynak ilişkilerine dayalı çok modlu faaliyetlerin sıkça görüldüğünü, ancak belirsizlik altındaki çok modlu çizelgeleme konusundaki çalışmaların yetersiz kaldığını belirtmişlerdir. Bu durum, yeni araştırma fırsatlarını işaret etmektedir. **Chen vd. (2019)**, stokastik kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgelemesi kapsamında yeni proje eklenmesi durumlarını inceleyerek, öncelik kuralları geliştirmişlerdir. Ancak literatürde dinamik proje eklemelerini ve kayan ufuk yaklaşımını bir araya getiren çalışmalar sınırlıdır. **Saif vd. (2022)**, kaynak

kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemlerinde kayan ufuk yaklaşımını kullanan ilk çalışmalardan biri olarak bu eksikliğe dikkat çekmiştir. **Peng vd. (2023)**, yeni proje gelişleri sonrası mevcut zamanlama planını düzenlemek için reaktif programlama yaklaşımları geliştirmiştir. Bu çalışma, hem ayarlama maliyetlerini minimize etmeyi hem de projelerin hedeflenen sürede tamamlanmasını amaçlamaktadır. **Chen vd. (2022)**, stokastik KKPCP’ de yenilikçi filtreleme genetik programlama HH-FGP yaklaşımını önermiştir. Stokastik faaliyet sürelerini ve yeni proje eklemelerini bir arada ele alarak etkili öncelik kuralları geliştirmiştir. **Satıç vd. (2022)**, dinamik proje eklemeleri ve stokastik faaliyet sürelerini dikkate alarak farklı çözüm politikalarını karşılaştırmıştır. Dinamik programlama algoritmalarının optimal çözümler ürettiği, ancak yüksek olasılıkla yeni projelerin eklenmesi durumunda performanslarının düştüğü belirtilmiştir. **Choi vd. (2007)**, Q-Learning tabanlı bir model önererek, dinamik proje gelişlerini ve stokastik belirsizlikleri optimize eden bir çözüm geliştirmiştir. Bu çalışma, yeni projelerin etkili bir şekilde yönetilmesi için Markov Karar Süreci’ni kullanmaktadır. **Aghileh vd. (2024)**, belirsizlik ve kaynak esnekliği üzerine bir literatür incelemesi sunmuş, 2013-2023 yılları arasında yayınlanan çalışmaların %39’unun genetik algoritmalar, %18’inin öncelik kuralları ve %9’unun karma tamsayılı programlama kullandığını tespit etmiştir. Bu alanın hala araştırma fırsatları sunduğunu belirtmiştir.

Literatür taramasına göre KKPCP’deki belirsizliklerin çözümü için genellikle stokastik ve sezgisel yöntemler kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında, kaynak kısıtları altında ve dinamik ortamda yeni projelerin eklenmesi durumu kayan ufuk yaklaşımıyla birleştirerek ele alınmaktadır. Böylece, Saif ve diğerlerinin kayan ufuk yaklaşımı ile ilgili önerilerini genişletmekte ve Yassine, Browning ve Mostafa’nın önerdiği kapsamlı modellerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

4. ÖNERİLEN METODOLOJİ

Bu bölümde, uygulama yapılacak firmadaki problemin tanımı yapılarak çözüm için benimsenen reaktif çizelgeleme yaklaşımı ve kayan ufuk metodu açıklanmıştır. Bu yaklaşım ve metodun nasıl uygulandığı, uygulama için hazırlanan matematiksel model ve algorithmadan bahsedilmiştir.

4.1. Problem Tanımı

Bu çalışmada ele alınan uygulama problemi, bir uçak bakım firmasının Ar-Ge biriminde yürütülen projelerin etkin bir şekilde çizelgelenmesini kapsamaktadır. Proje planlama aşamasında oluşturulan çizelgelerin, proje süreci boyunca ortaya çıkan beklenmedik değişiklikler ve kesintiler nedeniyle planlardan sapmalara yol açtığı ve bu durumun proje gecikmelerine neden olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu gecikmeler, müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyerek proje yönetimini daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu bağlamda, değişen koşulları yönetebilmek ve etkili bir proje yönetimi gerçekleştirebilmek için karar destek sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Ar-Ge projelerinde, yeni ürün geliştirme, mevcut ürünleri iyileştirme, inovatif yaklaşımlar geliştirme ve yenilikçi fikirleri test etme gibi süreçler yer aldığı için, bu projeler yapı gereği yüksek düzeyde belirsizlik içermektedir. Özellikle, proje yürütme sırasında tedarikçi kaynaklı aksaklıklar, teknik yetersizlikler ve müşteri tarafından proje kapsamındaki değişiklik talepleri gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Proje yöneticisi, geçmiş deneyimlerine dayanarak bu belirsizliklerin bir kısmını öngörebilir; ancak öngörülemeyen durumlarla karşılaştığında, proje planlarında ve çizelgelerinde revizyon yapması gerekmektedir. Ancak, yapılan bu revizyonların hangi kaynakları veya diğer projeleri ne ölçüde etkileyeceğini tahmin etmek zor olmaktadır ve bu tahminler genelde sezgisel yapılarak süreçlere devam edilmektedir. Ek olarak, müşteriden gelen öncelikli yeni taleplerin iş planına dahil edilmesi sırasında, kullanılacak kaynakların belirlenmesi ve kaynak yetersizliği durumunda önceliği düşük projelerden hangilerinin erteleneceğine karar verilmesi, önemli bir yönetim problemi olarak öne çıkmaktadır. Proje yöneticisinin, mevcut çizelgede aynı

kaynakları farklı miktarlarda kullanacak yeni işlerin nasıl ve ne zaman planlanacağını, bu planlamanın etkinliğini nasıl etkileyeceğini belirlemede karar destek araçlarına olan ihtiyacı oldukça yüksektir. Çünkü bu tür ilave işlerin, mevcut projeleri en az etkileyecek şekilde çizelgeye dahil edilebilmesi için alternatif senaryoların hızlı bir şekilde değerlendirilmesi ve bu senaryoların maliyet etkilerinin ortaya konulması gerekmektedir.

Problem kapsamında aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

1. Aynı kaynak, kapasite sınırını aşmamak koşuluyla eş zamanlı olarak birden fazla projede çalışabilir.
2. Kullanılan kaynaklar yalnızca iş gücüne dayalıdır; dolayısıyla insan faktörü göz önünde bulundurularak çalışma kapasitesi buna göre belirlenmiştir.
3. Her disiplin içerisinde yer alan kaynakların yetkinlik seviyeleri eşit kabul edilmiştir; deneyimli ya da deneyimsiz ayrımı yapılmamaktadır. Her proje mühendisi, verilen işi gerçekleştirebilecek yeterliliğe sahiptir.
4. Faaliyet süreleri, proje başlangıcında belirlendiği şekildedir ve faaliyetlerin belirtilen süre içinde tamamlanması gerekmektedir.
5. Fazla mesai veya dış kaynak kullanımı öngörülmemiştir.

Tüm bu varsayımlar ve problem gereklilikleri doğrultusunda bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problem çözümü için reaktif çizelgeleme yaklaşımı benimsenmiş ve kayan ufuk metodu uygulanmıştır. Geliştirilen model, Python programlama dili ile kodlanmış ve optimizasyon süreçlerinde Gurobi Solver kullanılmıştır. Bu sayede, dinamik bir çizelgeleme ortamı oluşturularak, değişen proje gereksinimlerine hızlı ve etkili çözümler sağlanması hedeflenmiştir.

4.2. Problemin Matematiksel Modeli

Ele alınan problem için geliştirilen matematiksel model aşağıda verilmiştir. KKPÇP'nin temel modelinde bazı değişiklikler yapılarak, model probleme uygun olacak şekilde değiştirilmiştir.

Parametreler

P: Proje kümesi

R : Kaynak kümesi

A_p : Proje p için faaliyetlerin kümesi

R_{pi} : Proje p 'nin i . faaliyeti için uygun kaynaklar kümesi

i, j : $0, \dots, A_p$ faaliyet indeksi

t : Zaman periyodu $\{0, 1, \dots, T\}$

d_{pi} : Proje p 'nin i . faaliyetinin süresi

M_p : p projesindeki öncüllük kümesi

$M_p = \{(i, j), \text{ öyle ki } i \text{ bitince } j \text{ başlamalı}\}$

c_{rt} : t zamanında r kaynağının kapasitesi

w_p : Proje p 'nin ağırlığı

Karar Değişkenleri

$x_{pit} \in \{0,1\}$: Eğer proje p 'nin i . faaliyeti t zamanında başlarsa 1, aksi halde 0

S_{pi} : p projesinin i . faaliyetinin başlangıç zamanı

F_{pi} : p projesinin i . faaliyetinin bitiş zamanı

B_p : p projesinin bitiş zamanı

U_{pitr} : p projesinin i . faaliyetinin t zamanında r kaynağını tüketim miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{p \in P} w_p \cdot B_p \quad (1.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{t \in T} x_{pit} = 1 \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p \quad (1.2)$$

$$S_{pi} \geq F_{pj} \quad \forall p \in P, (i, j) \in M_p \quad (1.3)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in A_p} U_{pitr} \leq c_{rt} \quad \forall r \in R, \forall t \in T \quad (1.4)$$

$$B_p \geq F_{pi} \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p \quad (1.5)$$

$$F_{pi} \geq S_{pi} + d_{pi} \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p \quad (1.6)$$

$$S_{pi} = \sum_{t \in T} t x_{pit} \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p \quad (1.7)$$

$$\sum_{t=S_{pi}}^{F_{pi}} \sum_{r \in R_{pi}} U_{pitr} \geq d_{pi} \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p \quad (1.8)$$

$$\sum_{t=F_{pi}}^T U_{pitr} = 0, \quad \sum_{t=0}^{S_{pi}} U_{pitr} = 0 \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p, \forall r \in R_{ip} \quad (1.9)$$

$$U_{pitr} = 0 \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p, \forall r \notin R_{pi}, \forall t \in T \quad (1.10)$$

$$U_{pitr} \leq 1 \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p, \forall r \in R_{pi}, \forall t \in T \quad (1.11)$$

$$S_{pi}, F_{pi}, B_p, U_{pitr} \geq 0 \quad \forall p \in P, \forall i \in A_p, \forall r \in R, \forall t \in T \quad (1.12)$$

(1.1) numaralı ifade amaç fonksiyonudur. Projelerin bitiş zamanlarının ağırlıklı toplamını minimize etmeyi hedefler. Bu, projelerin önceliklendirilmesine (ağırlıklarına) bağlı olarak, toplam çizelgeyi optimize eder. (1.2) numaralı kısıt, her faaliyetin bir kez çizelgelendiğini ifade eder. Her faaliyete bir adet başlangıç zamanı atayarak faaliyetlerin çizelgeye tam olarak yerleştirilmesini sağlar. (1.3) numaralı kısıt faaliyetler arasındaki öncelik kısıtlarını tanımlar ve öncül faaliyet bitmeden ardılı başlayamaz. (1.4) numaralı kısıt, herhangi bir zaman diliminde kullanılan kaynak miktarının, mevcut kaynak kapasitesini aşamayacağını gösterir. (1.5) numaralı kısıt, proje içindeki en son biten faaliyet tamamlanınca proje bitişinin gerçekleşeceğini gösterir. (1.6) numaralı kısıt, faaliyetlerin bitiş zamanlarının faaliyet başlangıç ve faaliyet sürelerinin toplamından oluştuğunu ifade eder. (1.7) numaralı kısıt, proje içindeki faaliyetlerin başlangıç zamanını gösterir. (1.8), (1.9), (1.10), (1.11) numaralı kısıtlar kaynak kapasiteleri ile ilgili kısıtlardır. (1.12) numaralı kısıtlar işaret kısıtlarıdır.

4.3. Çözüm Metodolojisi

Proje planlama aşamasında çizelgeleme için gerekli olan faaliyetler, faaliyet süreleri ve kullanılacak kaynaklar belirlenir. Bu bilgiler doğrultusunda projelerin temel çizelgeleri oluşturulur. Hazırlanmış olan bu çizelgelere göre proje uygulama süreçleri başlatılır. Fakat uygulama süreci içinde değişiklikler meydana gelebilir. Bu durumda

Çizelgenin güncellenmesi gerekmektedir. Bu durum reaktif çizelgeleme olarak adlandırılır. Reaktif izelgeleme yapmak için, çizelgenin “ne zaman” ve “nasıl” gncelleneceğinin belirlenmesi önemli bir konudur. Bunu belirlemek için ya beklenmedik bir olay olduğunda güncelleme yapılır (rneğın; yeni proje gelişi, proje iptalleri, kapsam değişiklikleri) ya da belirli dönemlerde her dönem başında yeniden çizelgeleme yapılabilir. Bu dönemler haftalık veya aylık şeklinde olabilir **[Hazır ve Ulusoy, 2020]**. Hazır ve Ulusoy (2020)’ a göre literatürde reaktif makine çizelgelemesi üzerine birçok uygulama bulunmasına rağmen, proje çizelgelemesi için reaktif çizelgeleme uygulamaları nadirdir.

Tang ve Grubbstrom (2002)’ a göre yeniden planlama gerektiren iki temel durum vardır. İlki planlama ufku ilerledikçe mevcut planın yeni dönemi kapsayacak şekilde güncellenmesi gereğidir. İkincisi, talepteki değişiklikler veya hatalı tahminler nedeniyle eski plan güncel bilgileri yansıtamaz hale gelir. Bu durumda, maliyetleri düşük tutmak ve hizmet seviyesini korumak için yeni bir plan oluşturulması gerekir **[Tang ve Grubbstrom, 2002]**. Reaktif planlama yaklaşımı, problemi belirli aralıklarla çözmeyi ve sonraki dönemlerden gelen ek bilgileri dahil ederek çözümü sürekli güncellemeyi amaçlar **[Romli vd., 2006]**.

Kayan ufuk yönteminde, planlama süreci “planlama ufku” olarak isimlendirilen dönemlere bölünür ve her dönem için ayrı fakat önceki dönemlerle uyumlu bir çizelgeleme yapılır. Bu yaklaşım, hem problem boyutu ile ilgili avantaj sağlar, hem de projelerdeki belirsizliklerden dolayı zaman içinde güncellenen bilgiler ya da detaylara göre çizelgenin güncellenmesine olanak tanır. Böylece, planlama sürecinin belirli bir noktasından başlanarak (rneğın, yeni bir proje varışı gerçekleştiğinde) izelge ileriye doğru dönemlere bölünerek güncellenebilir. Kayan ufuk metodu, sistemi dinamik bir şekilde yönetme ve değişen şartlara hızlı bir şekilde uyum sağlama olanağı sunar **[Sethi ve Sorger, 1991]**.

Zaman boyutunu içeren matematiksel optimizasyon problemleri birçok alanda yaygındır. Örneğın, lojistik, süreç optimizasyonu ve üretim planlama gibi görevler genellikle birden fazla zaman dilimini kapsayacak şekilde optimize edilmelidir. Ancak, bu tür zaman yapısı içeren problemler genellikle çok büyük ölçeklidir ve modern çözücüler tarafından makul bir süre içinde global optimal çözüme ulaşılamaz. Bu nedenle, kayan ufuk yaklaşımı sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntem, zaman yapısını içeren büyük ölçekli optimizasyon problemleriyle uğraşan uygulamalı alanlarda

önemli faydalar sağlayabilir. Bu yaklaşım, hem mevcut bilgiyle kısa vadeli kararlar almayı hem de uzun vadeli planlamada kaliteyi artırmayı mümkün kılar [Glomb vd., 2022].

Kayan ufuk yaklaşımı, hem teorik hem pratik yönden kaliteli çözümler sunabilir ve büyük ölçekli optimizasyon problemleri için de kullanışlı olabilir. Özellikle üretim süreçlerinde kullanılan bir uygulama olup proje çizelgeleme konusunda da kullanışlı olup olmadığı bu çalışma ile denenmiş olacaktır. Bu yaklaşım ile planlama ufku aşamalı olarak genişletilerek çözüm daha yönetilebilir olur ve sistematik belirsizliklerle başa çıkmak için etkili bir çerçeve sunar.

Bu çalışma kapsamında eş zamanlı yürütülen çok sayıda projenin çözümünü kolaylaştırmak ve yeni proje gelişlerini çizelgeye ekleyebilmek için reaktif çizelgeleme yaklaşımı tercih edilmiştir. Yeni proje eklemelerin çizelgede en az değişiklikle planlanabilmesi için yeni proje geliş tahminlerinin kullanılması düşünülmüştür. Bu tahminler, teklif çalışmalarına dayandırılmıştır. Teklif çalışması yapılan projeler, gelme ihtimalleri göz önüne alınarak çizelgeye en düşük ağırlık ile eklenmektedir.

Çizelgeleme probleminin çözümü için yukarıda açıklanan motivasyonlarla kayan ufuk yaklaşımı tercih edilmiştir. Bir çizelge oluşturulduktan sonra, yeniden çizelgeleme yapılana kadar sistem bu plana göre çalışmaya devam eder. Bu süreç, mevcut verilere dayalı olarak bir ilk çizelge planı hazırlanmasını, gerçekleştirmelerde bir değişiklik olduğunda ya da periyodik olarak tamsayılı programlama sisteminin güncellenmesini ve matematiksel modelin istenen noktadan başlayarak kayan ufuk yöntemi ile yeniden çözülmesini içerir. Bu şekilde, yenilenmiş bir proje çizelge planı oluşturulur.

Yeni proje eklenerek KKPÇP çözümü ve kayan ufuk metodu ile çözüm yapabilmek için iki farklı algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmaların sözde kodları ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

Algoritma 1: Kayan Ufuk Metodu

Kayan ufuk metodu, büyük ya da çok sayıda projeden oluşan planlama problemlerinde, tüm zaman dilimini belirli uzunlukta ufuklara ayırarak her ufku sırasıyla planlamak ve ortaya çıkan alt çözümleri birleştirmek fikrine dayanır. Algoritma 1'de uygulanan kayan ufuk yönteminin temel adımları ve akışı verilmiştir. İlk olarak, projelerin toplam süresi için yaklaşık bir üst sınır belirlenir (Adım 1). Bu

üst sınır tüm projelerin faaliyet süreleri toplamından fazla seçilebilir. Güncel zamanda başlayarak bu üst sınıra ulaşınca kadar, tanımlanan planlama ufku kadar ileri kaydırma yapılır. Her ufukta, ilgili aralıkta yer alması veya başlaması mümkün olan faaliyetler en erken başlama zamanları hesaplanarak belirlenir. En erken başlama zamanları belirlenirken her faaliyetin birbirinin ardılı olduğu düşünülerek kritik yol metodu ile en erken başlayabilecekleri zamanlar hesaplanır. Eğer başlama zamanı planlama ufku içinde kalıyorsa ilgili ufuk içine alınarak çözüme dahil edilmek için seçilir. Ek olarak bir önceki planlama ufkunda başlamış olup henüz tamamlanmayan faaliyetler de kalan faaliyet süresi kadar yeni bir faaliyetmiş gibi düşünülerek bir sonraki planlama ufkuna dahil edilir. Bunun için aşağıdaki (1.13) numaralı kısıt modele eklenir.

$$x_{pjt_{current}} = 1, \forall(p, j): S_{pj} \leq t_{current} \text{ ve } S_{pj} + d_{pj} \geq t_{current} \quad (1.13)$$

(1.13) numaralı kısıt, eğer $t_{current}$ zamanında bir faaliyet devam ediyorsa, faaliyetin bölünmeden devam etmesi gerektiğini ifade eder.

Seçilen bu faaliyetler ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme modeli çözülür. `Solve_rcpsp()` fonksiyonu ile problemin 4.2. bölümünde verilen matematiksel modeli seçilen proje kümesi için çözülmektedir (Adım 3-4). Elde edilen kısmi çözüm, mevcut global çizelgeye eklenir ya da onunla birleştirilir (Adım 5). Daha sonra zaman, planlama ufku kadar ileri alınarak bir sonraki ufuktaki faaliyetler için aynı süreç tekrarlanır (Adım 6). Tüm ufuklar planlandıktan sonra ortaya çıkan sonuç, tüm projelerin ufuk ufuk birleştirilmiş nihai çizelgesidir. Bu yaklaşım, planlama sürecini parçalara bölerek yönetmeyi kolaylaştırır ve büyük çaplı problemlerde verimli bir çizelgeleme imkânı sağlar.

Algorithm 1 Kayan Ufuk Metodu

Require: *Projeler* (faaliyetler, öncül ardıl ilişkileri), *Kaynak kapasiteleri* C ,
Mevcut zaman T_{current} , *Zaman pencere boyutu* T_{window}

Ensure: Güncellenmiş Çizelge

```
1:  $T_{\text{total}} \leftarrow$  Projelerin toplam (kalan) süresinin üst sınırı
2: while  $T_{\text{current}} < T_{\text{total}}$  do
3:   (1) Pencere içi faaliyetleri belirle:
      $PencereFaaliyetleri \leftarrow \{j \mid j \text{ faaliyeti } T_{\text{current}} \leq t < T_{\text{current}} + T_{\text{window}}\}$ 
4:   (2) Devam eden ve tamamlanmış faaliyetleri belirle:
5:   for all Proje  $p \in$  projeler do
6:     for all Faaliyet  $j \in p$  do
7:       if  $j$  tamamlandıysa then
8:          $j \leftarrow$  "tamamlanmış"
9:       else if  $j$  devam ediyorsa then
10:        Kalan süresini güncelle:  $d_j \leftarrow d_j - \Delta t$ 
11:      end if
12:    end for
13:  end for
14:  (3) KKPÇP modelini kur ve çöz:
      $Cizelge \leftarrow \text{solve\_rcpsp}(PencereFaaliyetleri, C, T_{\text{current}})$ 
15:  (4) Zaman çizelgesini güncelle:
      $ZamanCizelgesi \leftarrow \text{ZamanCizelgesiGuncelle}(ZamanCizelgesi, Cizelge)$ 
16:  (5) Zaman penceresini ilerlet:
      $T_{\text{current}} \leftarrow T_{\text{current}} + T_{\text{window}}$ 
17: end while
18: return  $ZamanCizelgesi$ 
```

Algoritma 2: Yeni Proje Eklenmesi ile Mevcut Çizelgenin Güncellenmesi

Mevcut çizelge ortamında yeni bir proje sisteme dâhil olduğunda, yeni projenin dahil olduğu zaman noktasından itibaren çizelgenin nasıl güncellendiği Algoritma 2'de verilmiştir. Öncelikle, halen yürütülen projelerdeki her faaliyetin durumu güncellenir: tamamlanmış olanlar işaretlenir ve devam etmekte olanların kalan süreleri, geçen süre miktarı kadar azaltılır. Böylece, mevcut sistemin o andaki gerçek durumu doğru biçimde yansıtılmış olur. Ardından yeni projeye ait faaliyetler ve ilişkiler, proje kümesine eklenir ve artık tamamlanmış olan işler plandan çıkarılır. Son aşamada, eldeki (devam eden ve yeni eklenen) tüm faaliyetleri ve güncellenmiş ilişkileri göz önünde bulundurarak Algoritma 1 yeniden çalıştırılır. Böylece yeni proje ve güncel durumu kapsayan yeni bir çizelge elde edilir. Bu yöntem, dinamik ortamda sürekli değişen koşullara (yeni projelerin eklenmesi, faaliyetlerin erken bitmesi, gecikmeler vb.) uyum sağlamayı mümkün kılar ve proje planını her zaman doğru ve uygulanabilir bir şekilde güncel tutar.

Algorithm 2 Yeni Proje Eklenmesi ve Çözümün Güncellenmesi

Require: *Mevcut zaman T_{current} , Önceki çizelge, Yeni proje bilgisi*

Ensure: Güncellenmiş proje listesi ve yeniden oluşturulan çizelge

```
1: (1) Devam eden ve tamamlanmış faaliyetleri belirle:
2: for all Proje  $p \in$  projeler do
3:   for all Faaliyet  $j \in p$  do
4:     if  $j$  tamamlandıysa then
5:        $j \leftarrow$  "tamamlanmış"
6:     else if  $j$  devam ediyorsa then
7:       Kalan süresini güncelle:  $d_j \leftarrow d_j - \Delta t$ 
8:     end if
9:   end for
10: end for
11: (2) Kalan projeleri ve ilişkileri yeniden tanımla:  $\triangleright$  Tamamlanmış
    işleri hariç tut, devam edenleri sakla.
12: (3) Yeni projeyi ekle:
13: projeler  $\leftarrow$  projeler  $\cup$  {yeniProje}
14: (4) (Algoritma 1)'i çağır:
15: YeniCizelge  $\leftarrow$  KayanUfukMetodu(projeler,  $C$ ,  $T_{\text{current}}$ ,  $T_{\text{window}}$ )
```

Beklenen Proje Varışları

Önerilen metodolojinin yeni proje varışları ile ilgili bir diğer bileşeni, çizelgeye eklenmesi beklenen projelerin düşük ağırlıklarla önceden çizelgeye dahil edilmesidir. Bu durumda, eğer beklenen proje varışı gerçekleşmezse, çizelgedeki diğer projeler için planlama süreleri optimalden uzaklaşabilir. Ancak eğer proje varışı beklendiği gibi gerçekleşirse, yeni proje ağırlığı ve faaliyet detayları güncellenerek çizelge yenilenir. Buradaki motivasyon, en az değişiklikle yeni projeleri çizelgeye ekleyebilmektir. Gelmesi beklenen projeler 1 ağırlığı ile önceden çizelgeye dahil edilerek, daha sonra proje gerçekten eklendiğinde çizelgedeki diğer projelerin planlamalarında oluşan sapmaların düşük olması hedeflenmektedir.

5. AR-GE MERKEZİNDE KAYNAK KISITLI ÇOKLU PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN UYGULANMASI

Bu tez kapsamında, Türkiye'nin önde gelen bir uçak bakım ve onarım firmasının Ar-Ge ve İnovasyon biriminde dinamik bir ortamda yürütülen projelerin çizelgelenmesi problemi üzerinde uygulama yapılmıştır. Bu bölümde, ilk olarak firma ile ilgili bilgilendirme yapılarak Ar-Ge ve İnovasyon birimindeki organizasyon yapısı ve proje yönetim süreçleri ele alınmıştır. Ardından, problem çözümü için önerilen metodoloji ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Son olarak gerçek veriler üzerinde önerilen metodoloji uygulanmıştır ve dinamik bir çizelge elde edilmiştir.

5.1. Firma İle İlgili Bilgiler

Uçak bakım, onarım ve revizyon (MRO) süreci uçuş güvenliğini, verimliliğini ve performansını sağlamak amacıyla gerekli olan bakım ve onarım süreçlerini kapsar. Bu süreç, uçakların ve diğer hava araçlarının düzenli bakımını, acil onarımlarını ve büyük revizyonlarını içerir. MRO işlemleri genellikle aşağıdaki alanları kapsar:

- **Bakım:** Uçakların belirli aralıklarla yapılan düzenli bakımlarıdır. Bu, uçak sistemlerinin, motorlarının ve diğer bileşenlerinin kontrollerini içerir.
- **Onarım:** Uçakta meydana gelen arızaların veya hasarların giderilmesidir. Bu, hem küçük hasarların onarılmasını hem de daha büyük, yapısal onarımları kapsar.
- **Revizyon:** Uçak bileşenlerinin veya sistemlerinin tamamen yeniden yapılması veya yeniden yapılandırılmasıdır. Bu genellikle uçakların ömrünü uzatmak için yapılır.

MRO süreçleri, hava taşımacılığı endüstrisinde kritik öneme sahiptir, çünkü uçakların güvenli bir şekilde uçabilmesi için sürekli ve etkili bir bakım gereklidir. Ayrıca, havacılık otoriteleri tarafından belirlenen standartlara uygunluğun sağlanması da bu süreçlerin bir parçasıdır. Ar-Ge birimi ise bu standartlara uygun şekilde uçakta yapılacak değişikliklerin tasarım ve dökümantasyonunu sağlamakta yükümlüdür.

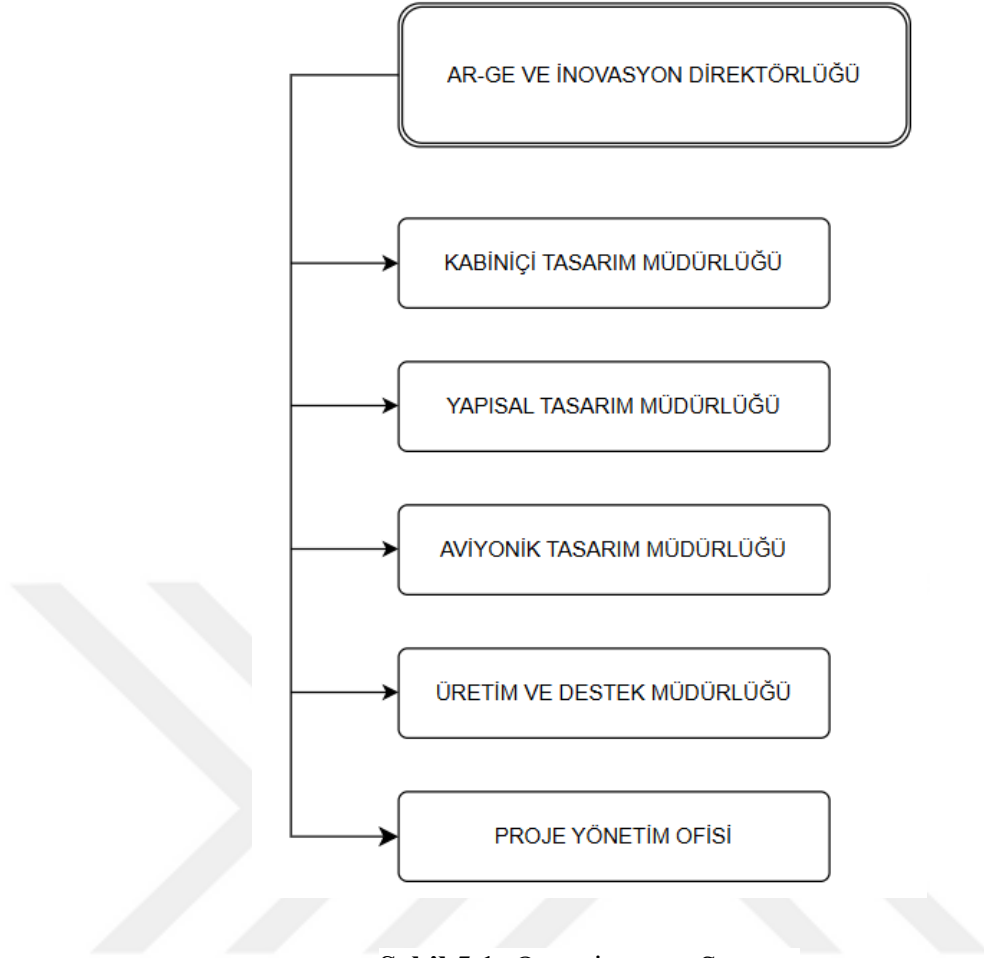
Ayrıca, dünyadaki diğer MRO firmaları ile rekabet edebilmek için teknolojik yenilikleri takip ederek yeni ürün geliştirmek ve mevcut süreç ve ürünleri iyileştirmek Ar-Ge biriminin öncelikli işleri arasında bulunmaktadır.

5.1.1. Ar-Ge ve İnovasyon Birimi

Ar-Ge birimleri, yapıları gereği iş gücü yoğunluğu yüksek ve çok yönlü becerilere sahip kaynakların yaygın olarak bulunduğu organizasyonel yapılardır. Bu birimlerde yürütülen projelerde iş gücü, temel kaynak olarak öne çıkmakta olup proje planlamaları da büyük ölçüde bu kaynakların etkin kullanımı üzerine inşa edilmektedir. Ar-Ge projelerinin başarıya ulaşabilmesi, bu nitelikli iş gücünün verimli bir şekilde yönetilmesi ve projelere entegre edilmesine bağlıdır. Dolayısıyla, proje planlama süreçleri, yalnızca teknik gereklilikleri değil, aynı zamanda iş gücünün yetenekleri ve dağılımını da dikkate alacak şekilde detaylandırılmaktadır.

Projelerin birçoğu farklı nedenlerden dolayı başarısızlıkla sonuçlanabilmektedir. Ar-Ge projeleri de yapıları gereği çoğunlukla belirsizlik içeren ve anlık karar değiştirmek gereken projelerdir. Bu nedenle, Ar-Ge projelerinde yalnızca bütçe ve teslim tarihlerini aşma ya da beklenen ticari getiriyi sağlayamama riski değil, aynı zamanda projenin tamamen başarısızlıkla sonuçlanma riski de bulunmaktadır. Bu durumda, hiçbir somut kazanım elde edilemeden zaman ve kaynakların tüketilmesi söz konusudur. Bu durum, projelerin yönetimi ve risk değerlendirme süreçlerinde özel bir dikkat ve öngörü gerektirmektedir.

Ar-Ge ve İnovasyon birimi uçak üzerinde yapısal ve tasarimsal değişiklikler yapma yetkisine sahiptir. Bu birimde tasarım, üretim ve sertifikasyon hizmeti verilmektedir. Bu hizmetler proje olarak yürütülür. Yürütülen projeler müşterinin talebine göre şekillendiği için her proje birbirinden bağımsız ve farklı olabilmektedir. Bazı projelerde sıfırdan bir ürün tasarlanıp sertifikaya edilirken, bazı projelerde mevcut ürün için tamir prosedürü hazırlanabilir. Bu birim altında her disiplinin kendi yöneticisi olan beş farklı müdürlük bulunmaktadır. Ar-Ge ve İnovasyon biriminin organizasyon şeması Şekil 5.1’ de gösterilmiştir. Projelerde teknik işleri yapan kabiniçi, yapısal ve aviyonik birimlerdir. Tasarımı yapılan ürünlerin üretilebilirliğini üretim birimi değerlendirmektedir ve nihai ürünün hazırlanmasından sorumludur. Proje yönetim ofisi ise, projelerin sistematik bir şekilde yürütülmesi için destek olmaktadır.



Şekil 5.1: Organizasyon Şeması.

Ar-Ge biriminde yılda ortalama 60-70 proje eş zamanlı olarak yürütülmektedir. Bu projeler, yapılarına göre tamir projeleri, ürün yerleştirme projeleri, uçak içi modifikasyon projeleri ve kabin dönüşüm projeleri olarak sınıflandırılmaktadır. Projeler, ay ve yıl bazında takvimlendirilmektedir. Çalışmalar; kabin içi, yapısal ve aviyonik işler olmak üzere üç ana disipline ayrılmaktadır. Her projede, ihtiyaca göre ilgili disiplinden tasarım mühendisleri ve onaylayıcı mühendisler görevlendirilmektedir.

Proje yönetim sürecini başlatan ana unsur, müşteri talebidir. İç ve dış müşteri olmak üzere iki farklı müşteri kategorisi bulunmaktadır ve bu müşterilerden gelen talepler iki farklı şekilde projelendirilmektedir. İç müşteri talepleri, şirket içindeki birimlerden (özellikle atölyelerden) gelmektedir. Dış müşteri talepleri ise şirket dışındaki özellikle havayolu işletmeleri ve özel jetler için gelmektedir.

Başlamasına karar verilen her proje için bir proje yöneticisi atanır ve bu proje yöneticisi, bağlı olduğu amirin denetiminde projeyi yürütür. Her projenin bir sponsoru bulunmaktadır ve bu sponsor, her zaman bölüm yöneticilerinden seçilir. Örneğin, proje yapısal ağırlıklı ise yapısal birimin yöneticisi proje sponsoru olarak atanır.

Proje yöneticisi, projenin başlangıcında proje ekibini oluşturur ve faaliyetleri detaylandırarak iş atamalarını gerçekleştirir. Yürütülen projeler arasında doğrudan bir öncelik ilişkisi bulunmamaktadır; ancak, bir projenin tamamlanması yeni projelerin başlatılmasına yol açabilir. Projelerin yürütülmesi sırasında iş kapsamı ve içeriğinde küçük değişiklikler olabilmektedir. Kaynak atamaları, "ilk gelen, ilk hizmet alır" prensibine göre yapılmaktadır; yani, mevcut projeler yeni başlatılan projelere kıyasla önceliklidir. Sisteme yeni bir proje dahil olduğunda, mevcut projelerde çalışan kaynakların iş planları değiştirilmez. Kaynaklar, yalnızca uygun olduklarında yeni projeye atanır. Acil projeler söz konusu olduğunda, kaynak kapasitesi yetersizse, devam eden kritik olmayan projeler ertelenerek acil projelere kaynak ayrılır.

Projeler, bir proje yönetim yazılımına kaydedilmekte ve ilerlemeleri bu yazılım aracılığıyla takip edilmektedir. Bu yazılım, iş planları ve kaynak atamalarıyla ilgili tüm bilgileri göstermekte olup, kaynaklar iş yüklerini bu yazılım üzerinden görebilmektedir. Projelerin güncel durumları haftalık olarak yazılıma rapor olarak eklenmektedir ve olası bir gecikme, kaynak yetersizliği gibi durumlarda yöneticilere bilgi verilmektedir.

5.1.2. Kaynaklar

Uçak bakımında güvenliğin her şeyden önce gelmesi sebebiyle, tasarım mühendislerinin hazırladığı projeleri kontrol edip uygunluk veren onaylayıcı yetkili mühendisler de görev almaktadır. Bu çerçevede, projelerde toplam altı farklı kaynak türü yer almakta ve bu kaynaklar yalnızca iş gücü kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Üç ana disiplin altında yaklaşık 80 tasarım mühendisi ve 10 onaylayıcı mühendis çalışmaktadır. Projelerde darboğaz oluşturan temel kaynaklar, onaylayıcı personeldir. Tasarım mühendisi projeyi tamamlamış olsa dahi, onaylayıcı personelin projedeki çalışmalarını bitirmemesi durumunda proje tamamlanmış sayılmamaktadır.

Kaynakların planlanan iş programları, proje yönetim yazılımına kaydedilmekte ve her kaynağın planlanan iş yükleri bu yazılım aracılığıyla haftalık olarak izlenebilmektedir. Her insan kaynağı, haftanın sonunda o hafta tamamlanan görevleri sisteme girmekle yükümlüdür. Kaynakların iş yüklerinin kontrol ve takibi ise birim şefleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Birim şefleri, proje yöneticisi ile istişare ederek projeye atanmış kaynağın izin, hastalık veya eğitim gibi durumlarında, projeyi ekibindeki başka bir tasarım mühendisine devredebilir.

Bir proje başlayacağı zaman teknik ekip belirlendikten sonra proje başlatma toplantısı planlanır. Bu toplantıda, proje yöneticisi ve proje ekibi ile birlikte proje faaliyetlerinin öncelik ilişkileri ve iş kırımlarını detaylı bir şekilde çıkarılır. Teklif aşamasında sadece hangi disiplinlerin projede görev alacağı belirlenip faaliyetlerin detayı proje başlatma toplantılarında netleşmektedir. Her faaliyet için ilgili disiplinin tasarım mühendisine işler atanır ve belirli çalışma saatleri boyunca kaynaklar kullanılır. Gerekli kaynaklar aynı anda ya da birlikte çalışmak zorunda değildir, ayrı ayrı ve farklı zamanlarda çalışabilirler. Bunlar tamamen projenin kapsamına ve yapısına bağlı olarak şekillenir.

5.1.3. Proje Yönetim Süreci Aşamaları

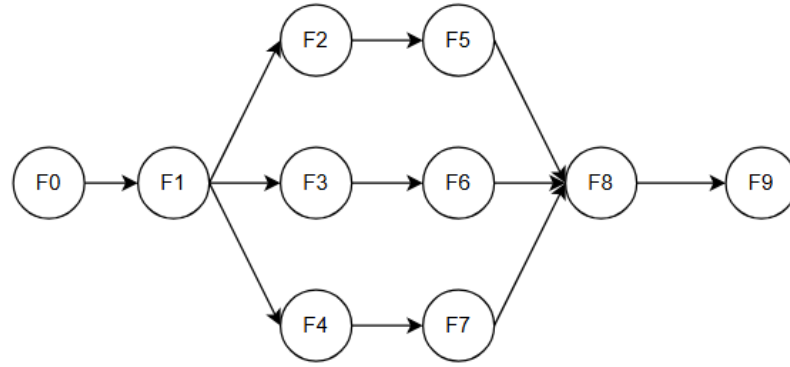
Ar-Ge biriminde proje yönetim süreci aşamaları aşağıdaki gibi yürütülmektedir.

1. Fizibilite ve Teklif Çalışması Aşaması: Mevcut problemlere çözüm getirmeyi amaçlayan proje fikirlerinin projelere dönüştürüldüğü aşamadır. Atölye ziyaretleri ve iş birimlerinin fikirleriyle ortaya çıkan talepler proje yönetimi aşaması için ana fikir kaynaklarıdır. Bu aşamada ilgili problem için fizibilite çalışmaları yapılarak ilgili yöneticilerin onayına sunulur. Sunulan fikir kabul edilebilir, daha sonra değerlendirmek için bekletilebilir ya da reddedilir. Kabul edilmesi durumunda proje yönetim ofisinden bir proje yöneticisi atanır, proje süreçleri başlar. Dış müşteriden gelen teklif çalışması sürecinde ise, resmi olarak iletilen teklifte proje maliyeti ve proje süresi geçmiş tecrübelerle bakılarak tahmini olarak belirlenir. Müşteriye iletilen teklifin kabul edilmesi durumunda projeye proje yöneticisi atanır.

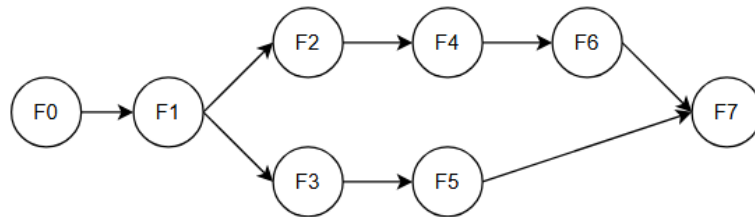
2. Proje Planı Hazırlama ve Başlatma Aşaması: Bu aşamada ilk olarak ilgili birim yöneticilerinden kaynak talep edilir. Belirlenen ekibin de katılımı ile proje başlatma toplantısı planlanır. Bu toplantıda, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için atılacak adımlar, projenin faaliyetleri, projedeki riskler ve kilometre taşları proje

yöneticisi ve proje ekibi ile gözden geçirilir. Kaynak gereksinimleri ayrıntılı bir şekilde tanımlanır ve gelecekte ortaya çıkabilecek kaynak çatışmalarını önlemek için birim yöneticileri ile görüşmeler yapılır. Proje riski ve acil durum planları hazırlanır ve varsa alt yüklenicilerle anlaşmalar ve sözleşmeler düzenlenir. Proje lideri, bu aşamada projeyi planlandığı gibi yürütmekten sorumludur.

Proje faaliyetleri belirlenirken hangi işi hangi disiplinin yapacağı ve ilk önce tamamlanması gereken işler proje ekibi ile birlikte belirlendikten sonra proje akış diyagramları hazırlanır. Proje yönetim programına bu veriler girilir. Şekil 5.2 ve 5.3’de Ar-Ge biriminde yürütülen işlerin örnek proje akış şemaları verilmiştir. Her proje kapsamına uygun planlandığı için diyagramlarda ve faaliyet sayılarında farklılıklar olabilmektedir.



Şekil 5.2: Örnek bir proje akış şeması.



Şekil 5.3: Örnek bir proje akış şeması.

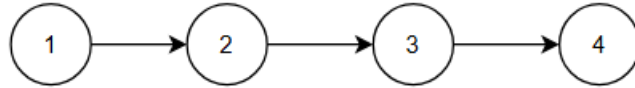
3. Proje Uygulama ve İzleme Aşaması: Bu aşamada proje uygulamaya koyulur ve proje planının geçerliliğinin korunması sağlanır. Projenin ilerleyişi izlenir ve olası aksaklıklar veya beklenmeyen riskler meydana geldiğinde proje planında

güncellemeler yapılır. Projenin kontrolü proje yöneticisinin sorumluluğundadır ve beklenmedik durumlar ortaya çıktığında yöneticilere bilgi verilmesi gerekmektedir.

4. Proje Kapanış Aşaması: Projenin tamamlanmasıyla birlikte proje çıktıları (yeni bir ürün ya da döküman) müşteriye iletilir. Bu teslimat, proje mühendisinin sorumluluğundadır. Proje yöneticisi, projenin müşteriye eksiksiz olarak iletildiğinden emin olduktan sonra, proje yönetim yazılımı üzerinden projenin tamamlandığını gösteren bir rapor hazırlar. Proje süresince yaşanan gecikmeler ve beklenmeyen riskler değerlendirilir; bu kapsamda öğrenilen dersler (*lessons learned*) kaydedilerek proje süreçlerinin geliştirilmesi ve gelecekte benzer sorunların yaşanmaması amaçlanır.

5.2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde küçük bir örnek problem üzerinde ön deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneylerin amacı önerilen metodun ve algoritmaların beklendiği gibi çalışıp çalışmadığını test etmektir. Bu yüzden, algoritma ve metodun işlevselliğini test etmek için en basit şekilde veriler hazırlanmıştır. Örnek veri setindeki tüm projelerin aynı sayıda faaliyete ve öncül ardıl ilişkilerine sahip olduğu varsayılmıştır. Buna göre örnek proje akış şeması ve proje verileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4: Proje akış şeması.

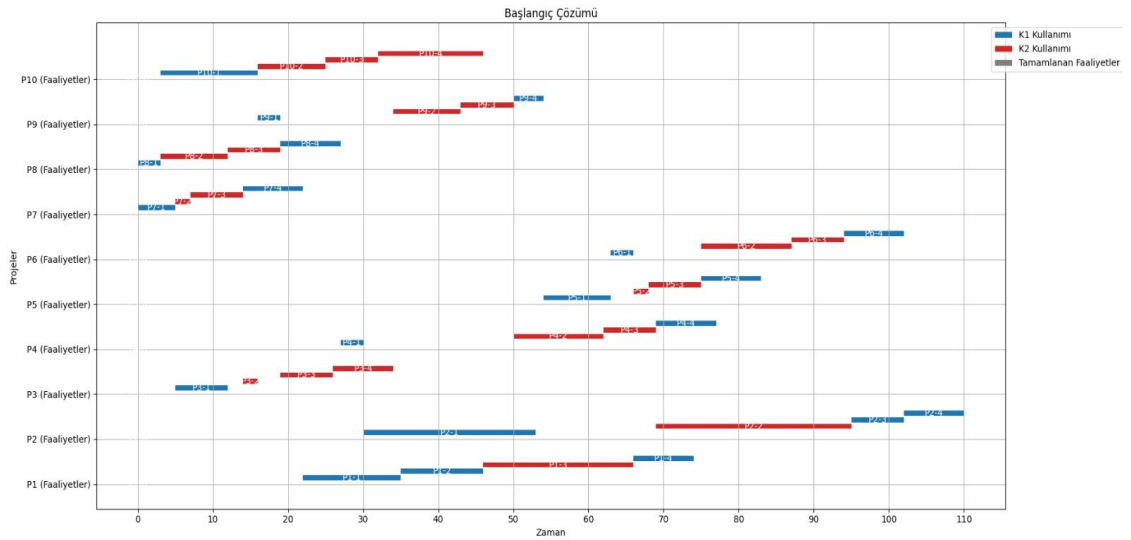
Tablo 5.1: Örnek veri seti

Projeler	Proje Ağırlığı	Proje Faaliyetleri	Öncül-Ardıl İlişkisi	Faaliyet Süresi	Kaynak1 Kullanımı	Kaynak2 Kullanımı
P1	5	P1_F1	-	13	1	0
		P1_F2	P1_F1	11	1	0
		P1_F3	P1_F2	20	0	1
		P1_F4	P1_F3	8	1	0
P2	2	P2_F1	-	23	1	0
		P2_F2	P2_F1	26	0	1
		P2_F3	P2_F2	7	1	0
		P2_F4	P2_F3	8	1	0
P3	3	P3_F1	-	7	1	0
		P3_F2	P3_F1	2	0	1
		P3_F3	P3_F2	7	0	1
		P3_F4	P3_F3	8	0	1
P4	2	P4_F1	-	3	1	0
		P4_F2	P4_F1	12	0	1
		P4_F3	P4_F2	7	0	1
		P4_F4	P4_F3	8	1	0
P5	1	P5_F1	-	9	1	0
		P5_F2	P5_F1	2	0	1
		P5_F3	P5_F2	7	0	1
		P5_F4	P5_F3	8	1	0
P6	2	P6_F1	-	3	1	0
		P6_F2	P6_F1	12	0	1
		P6_F3	P6_F2	7	0	1
		P6_F4	P6_F3	8	1	0
P7	4	P7_F1	-	5	1	0
		P7_F2	P7_F1	2	0	1
		P7_F3	P7_F2	7	0	1
		P7_F4	P7_F3	8	1	0
P8	3	P8_F1	-	3	1	0
		P8_F2	P8_F1	9	0	1
		P8_F3	P8_F2	7	0	1
		P8_F4	P8_F3	8	1	0
P9	2	P9_F1	-	3	1	0
		P9_F2	P9_F1	9	0	1
		P9_F3	P9_F2	7	0	1
		P9_F4	P9_F3	4	1	0
P10	5	P10_F1	-	13	1	0
		P10_F2	P10_F1	9	0	1
		P10_F3	P10_F2	7	0	1
		P10_F4	P10_F3	14	0	1

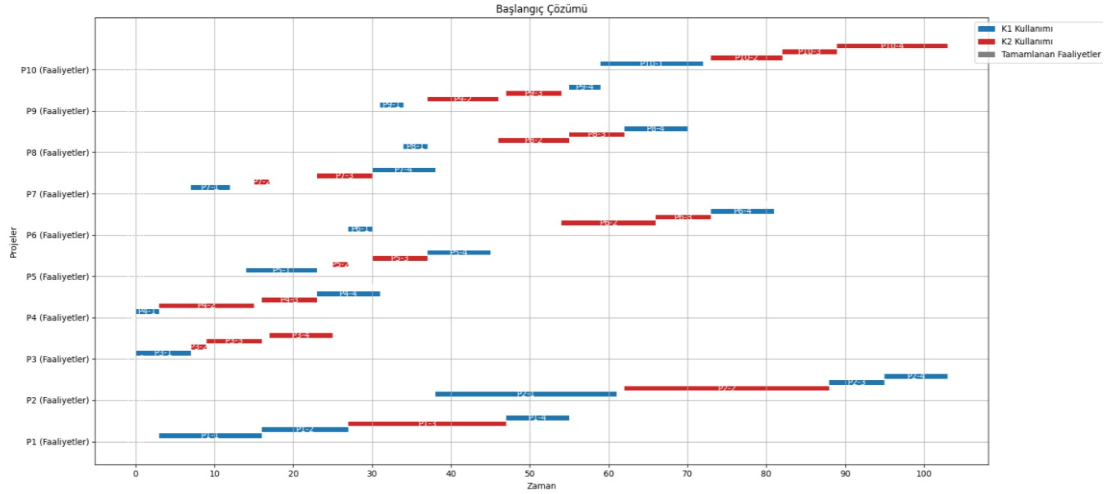
Proje verileri, proje ağırlığı, proje faaliyetleri, öncül-ardıl ilişkileri, faaliyet süreleri ve kaynak kullanımlarından oluşmaktadır. Bu veri setinde iki farklı kaynak türü ve 10 farklı proje olduğu kabul edilerek çözüm yapılmıştır. Çözüm için matematiksel model ve algoritma Python 3.12.0 ile kodlanarak karışık tamsayı programlama alt problemlerinin çözümü Gurobi ile yapılmıştır. Çözüm sonucunu daha iyi anlamak ve görselleştirmek için Python 3.12.0 da Gantt şemaları çizilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar aşağıda gösterilerek Gantt şemaları üzerinde yorumlar yapılmıştır. Kaynak 1 kullanan faaliyetler mavi, kaynak 2 kullanan faaliyetler kırmızı renk ile gösterilmiştir. Kaynak 1 ve kaynak 2 sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışma 1: Proje tekliflerinin ağırlıklarının değiştirilmesi

Bu deneyde, proje ağırlıklarının proje çizelgesini nasıl etkilediği test edilmiştir. Her projeye 1 ile 5 arasında ağırlık verilmiştir. Teklif aşamasında olup henüz kesinleşmeyen projeler için 1, kesinleşmiş ve planlaması yapılmış olan projeler önceliğine göre belirlenen ağırlık değerini alır. Şekil 5.5 de 10 projenin tabloda verilen ağırlıklarla aynı anda çizelgelenmesi gösterilmiştir. Şekil 5.6 da ise aynı t zamanında 5 projenin kesinleşmiş proje, diğer 5 projenin teklif aşamasında olduğu durum şeklinde planlandığı gösterilmiştir. Teklif aşamasında projelerin ağırlıkları 1 olarak verilmektedir.



Şekil 5.5: t=0 anında 10 projenin kesinleşmiş olması durumu.

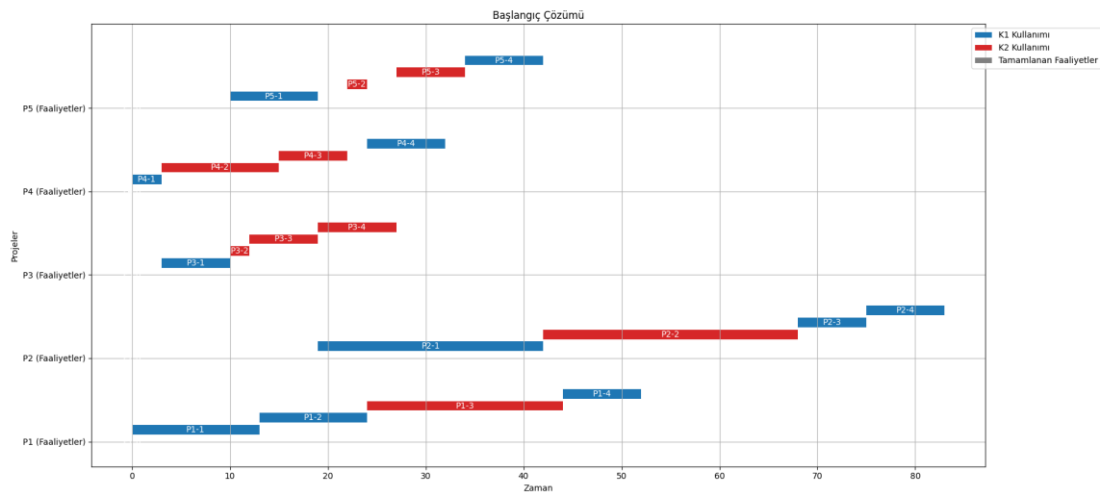


Şekil 5.6: $t=0$ anında ilk 5 projenin kesinleşmiş olması durumu.

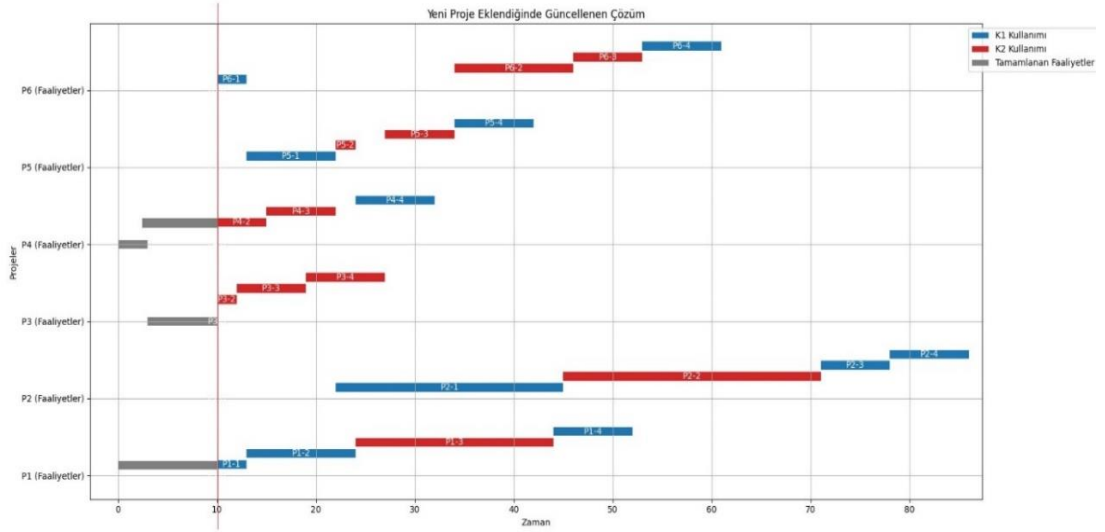
Proje 6,7,8,9 ve 10 için teklif verilmiş ve henüz projeye dönüşmediği için 1 ağırlık ile çizelgeye eklenirse öncelikli projelere göre daha geç tamamlandığı görülmüştür. Bu deneysel çalışmadan öncelikli projelerin tamamlanma zamanlarının diğerlerine göre daha erken olduğu gözlenmiştir.

Deneysel Çalışma 2: Yeni projelerin t zamanlarında çizelgeye dahil edilmesi

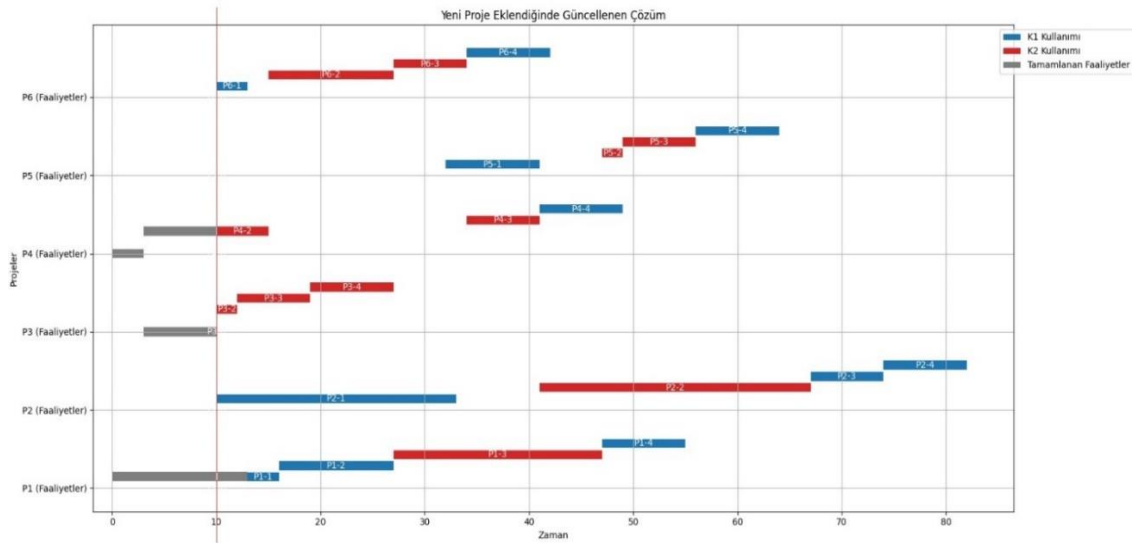
Kesinleşmiş projeler çizelgelendikten sonra belirli t zamanlarında çizelgeye yeni projeler dahil edilir. Yeni projeler eklenirken ağırlığı yüksek ise düşük önceliklere göre daha önce tamamlanması beklenir. Şekil 5.7 de yeni proje eklenmeden önceki çizelge gösterilirken, Şekil 5.8 de 1 ağırlık ile şekil 5.9 da 5 ağırlık ile yeni proje eklenmesi durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Kesinleşmiş 5 projenin ağırlıklarına göre çizelgelenmesi durumu.



Şekil 5.8: t=10 anında 6. projenin çizelgeye 1 ağırlığı ile dahil edilmesi.



Şekil 5.9: t=10 anında 6. projenin çizelgeye 5 ağırlığı ile dahil edilmesi.

Başlangıç çözümünde projelerin tamamlanma zamanları aşağıda verilmiştir.

Proje 1 tamamlanma zamanı: 52

Proje 2 tamamlanma zamanı: 83

Proje 3 tamamlanma zamanı: 27

Proje 4 tamamlanma zamanı: 32

Proje 5 tamamlanma zamanı: 42

$t=10$ anında 6. Projenin 1 ağırlık ile eklenmesi ile güncellenen çözümde projelerin tamamlanma zamanları aşağıda verilmiştir.

Proje 1 tamamlanma zamanı: 52

Proje 2 tamamlanma zamanı: 86

Proje 3 tamamlanma zamanı: 27

Proje 4 tamamlanma zamanı: 32

Proje 5 tamamlanma zamanı: 42

Proje 6 tamamlanma zamanı: 61

$t=10$ anında 6. projenin 5 ağırlık ile eklenmesi ile güncellenen çözümde projelerin tamamlanma zamanları aşağıda verilmiştir.

Proje 1 tamamlanma zamanı: 55

Proje 2 tamamlanma zamanı: 82

Proje 3 tamamlanma zamanı: 27

Proje 4 tamamlanma zamanı: 49

Proje 5 tamamlanma zamanı: 64

Proje 6 tamamlanma zamanı: 42

Yeni proje eklendiği anda (burada $t=10$) tamamlanan faaliyetler gri renk ile gösterilmektedir. Devam eden faaliyetlerin tamamlanmayan kısımları ve hiç başlamamış faaliyetler birlikte tekrar çözüme dahil edilmektedir. Burada Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'u karşılaştırdığımız zaman, projenin ağırlığındaki değişimin planlamada önemli sapmalara sebep olduğu; bu bağlamda, teklif aşamasındaki projeler düşük ağırlıkla eklense dahi proje varışı gerçekleştiğinde eğer projenin gerçek ağırlığı yüksek ise çizelgedeki diğer projelerin planlamalarında önemli ölçüde değişiklikler olabileceği görülmektedir.

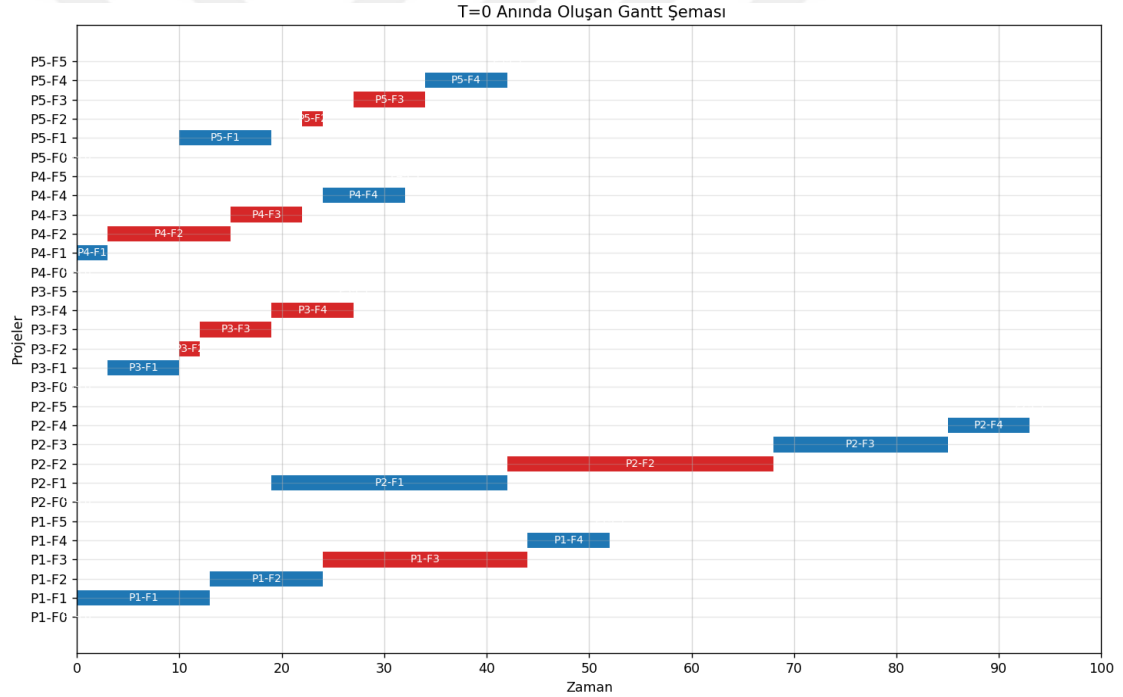
Deneysel Çalışma 3: Kayan ufuk metodunun uygulanması

Bu deneysel çalışma ile kayan ufuk metodunun uygulama adımları ve işlevselliği test edilmektedir. Buradaki deneysel kurguda, 10'ar birimlik zaman dilimlerinde ($T=0$,

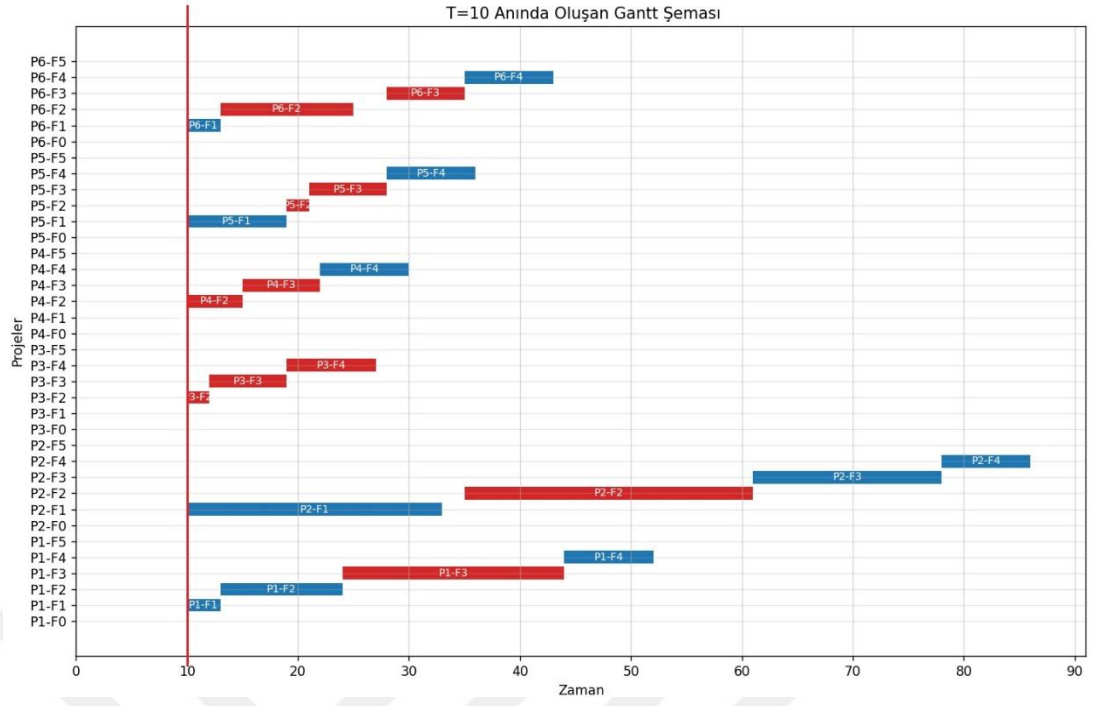
T=10, T=20, ...) yeni bir proje varışları gerçekleşmekte ve çizelge güncellenmektedir. Çizelgeleme T=0'da P1-P5 projeleri ile başlamakta ve T=10' da P6 projesi, T=20'de P7 projesi eklenmektedir. Her yeni proje varışı gerçekleştiğinde;

- Devam eden faaliyetler güncellenir.
- Tamamlanan faaliyetler kaydedilir.
- Yeni başlayacak faaliyetler planlanır.
- Önceki zaman diliminde başlayan faaliyetler bir sonraki dilimde devam eder.

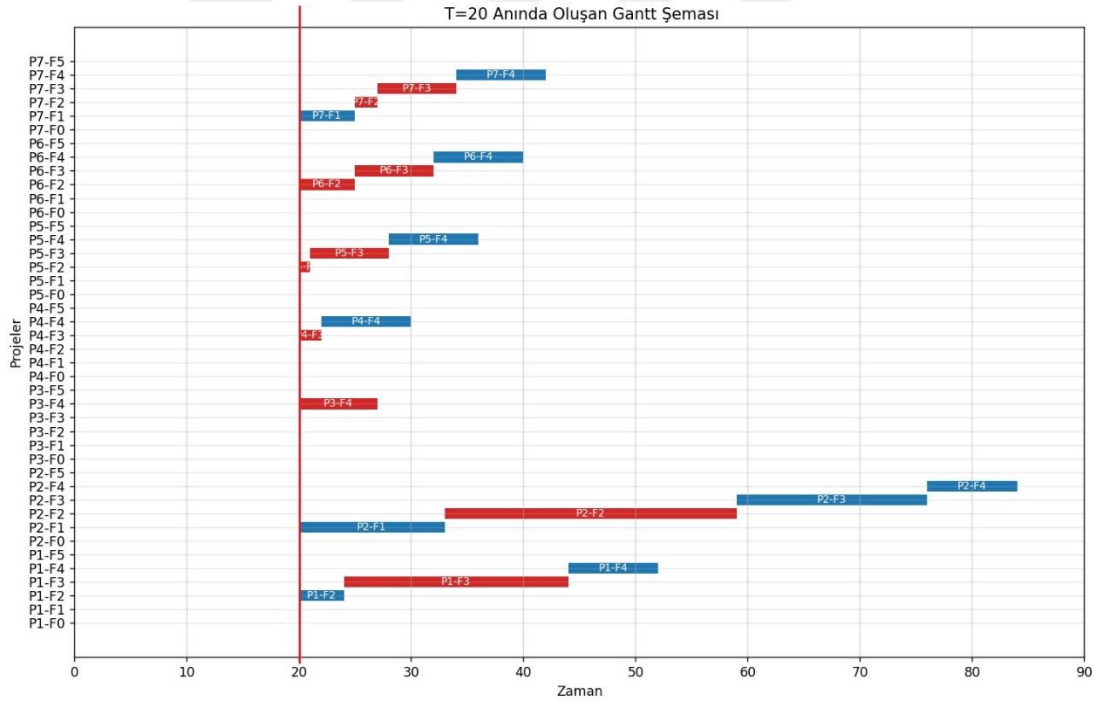
Burada T_window=10 olarak belirlenmiştir. Her 10 birimlik zamanlarda planlama ufku kaydırılarak çözümler yapılacaktır. Bu deneye ait Gantt şemaları ve sonuçlar Şekil 5.10-5.14'de verilmektedir.



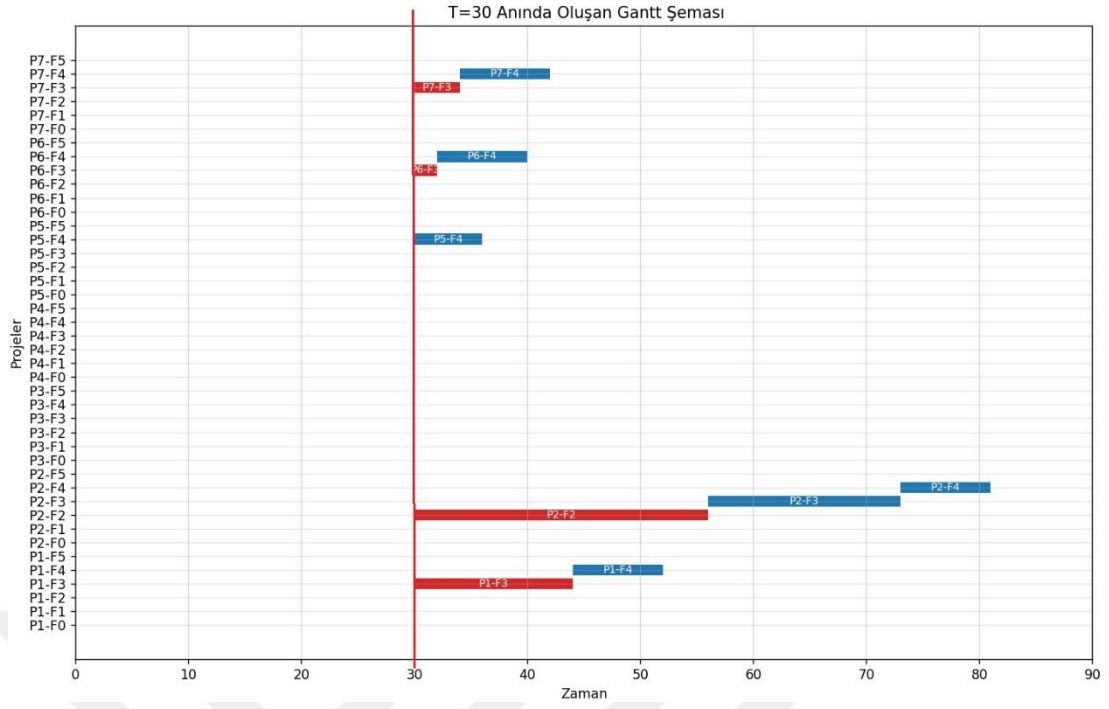
Şekil 5.10: T=0 anında oluşan Gantt şeması.



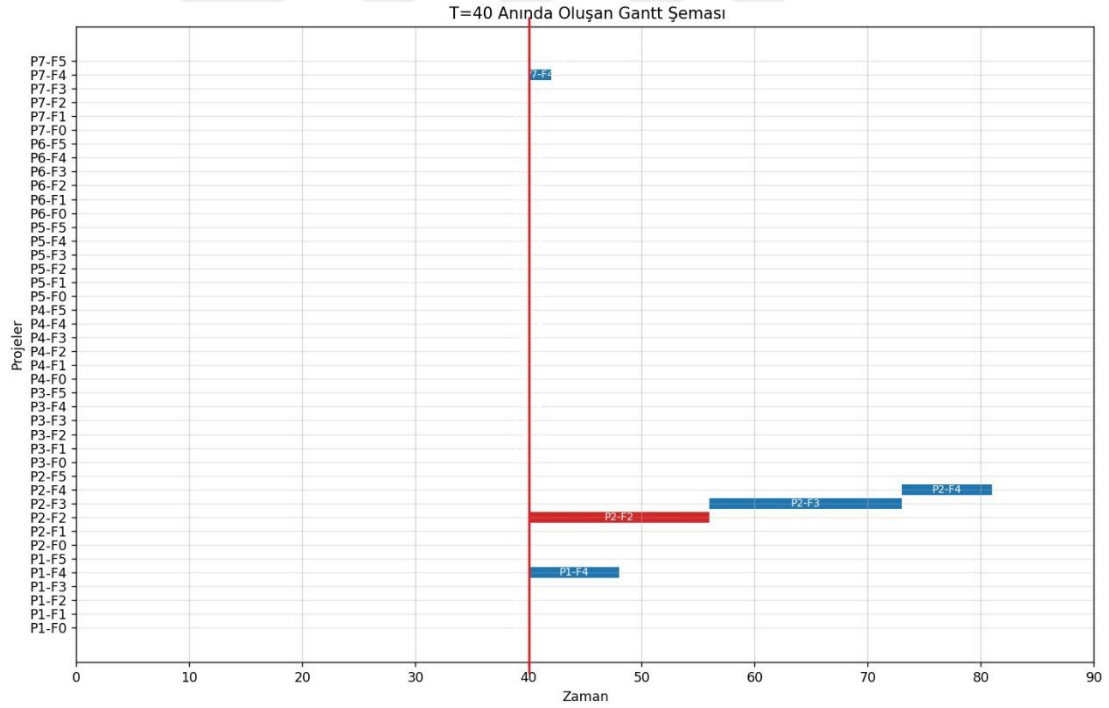
Şekil 5.11: T=10 anında oluşan Gantt şeması.



Şekil 5.12: T=20 anında oluşan Gantt şeması.



Şekil 5.13: T=30 anında oluşan Gantt şeması.



Şekil 5.14: T=40 anında oluşan Gantt şeması.

Projelerin Tamamlanma Zamanları (T=0):

Proje P1: 52

Proje P2: 93

Proje P3: 27

Proje P4: 32

Proje P5: 42

Projelerin Tamamlanma Zamanları (T=10):

Proje P1: 52

Proje P2: 86

Proje P3: 27

Proje P4: 30

Proje P5: 36

Proje P6: 43

Projelerin Tamamlanma Zamanları (T=20):

Proje P1: 52

Proje P2: 84

Proje P3: 27

Proje P4: 30

Proje P5: 36

Proje P6: 40

Proje P7: 42

Projelerin Tamamlanma Zamanları (T=30):

Proje P1: 52

Proje P2: 81

Proje P4: 30

Proje P5: 36

Proje P6: 40

Proje P7: 42

Projelerin Tamamlanma Zamanları (T=40):

Proje P1: 48

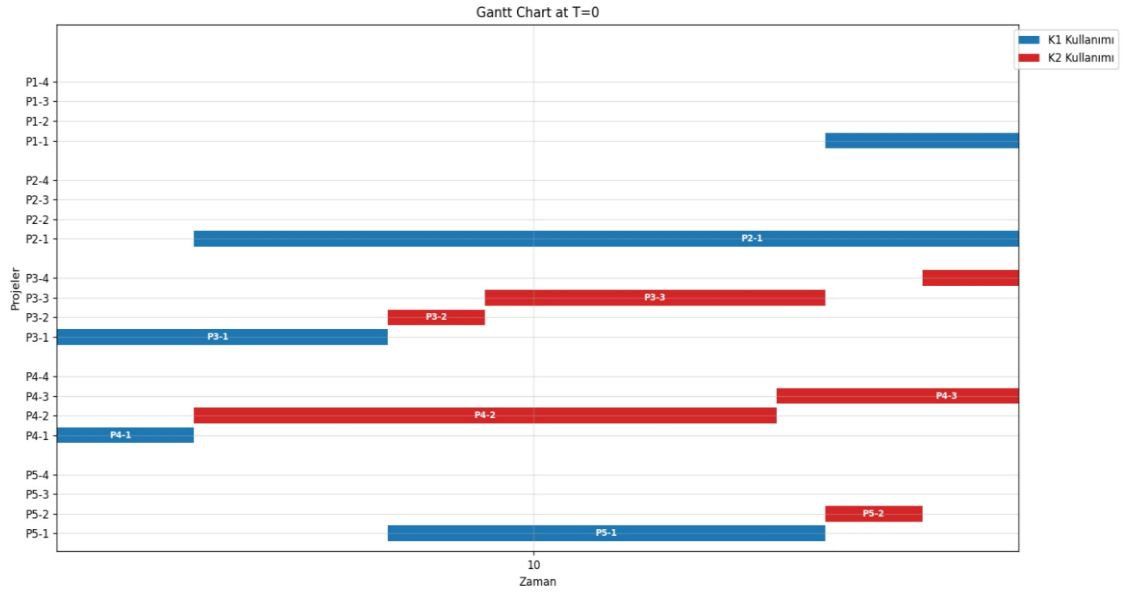
Proje P2: 81

Proje P7: 42

Sonuçlara bakarak kayan ufuk metodunun başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Kayan ufuk yöntemi problemin bütünü için optimal çözümü sağlamadığından, yeni bir proje eklendiğinde mevcut projeler için daha erken tamamlanma süreleri planlanabildiği görülmektedir. Örneğin, $T=0$ 'da elde edilen çizelgeye $T=10$ anında yeni bir çizelge eklenerek çizelge güncellendiğinde mevcut projeler için daha düşük tamamlanma süreleri elde edilmiştir.

Deneysel Çalışma 4: Kayan ufuk için planlama ufkunun 20 seçilmesi durumu

Planlama ufkunun çözüme etkisini gözlemlemek için, bir önceki deneyde $T_{window}=10$ olarak seçilerek çizelgelenen ilk beş proje, bu deneyde $T_{window}=20$ seçilerek tekrar çizelgelenmiştir.



Şekil 5.15: $T=0-20$ arasında yapılan çizelge

$T=0$ ' da çizelgeleme:

Proje P1, Faaliyet 0: Başlangıç=0, Bitiş=0

Proje P1, Faaliyet 1: Başlangıç=16, Bitiş=29

Proje P2, Faaliyet 0: Başlangıç=0, Bitiş=0

Proje P2, Faaliyet 1: Başlangıç=3, Bitiş=26

Proje P3, Faaliyet 0: Başlangıç=0, Bitiş=0

Proje P3, Faaliyet 1: Başlangıç=0, Bitiş=7

Proje P3, Faaliyet 2: Başlangıç=7, Bitiş=9

Proje P3, Faaliyet 3: Başlangıç=9, Bitiş=16

Proje P3, Faaliyet 4: Başlangıç=18, Bitiş=26

Proje P4, Faaliyet 0: Başlangıç=0, Bitiş=0

Proje P4, Faaliyet 1: Başlangıç=0, Bitiş=3

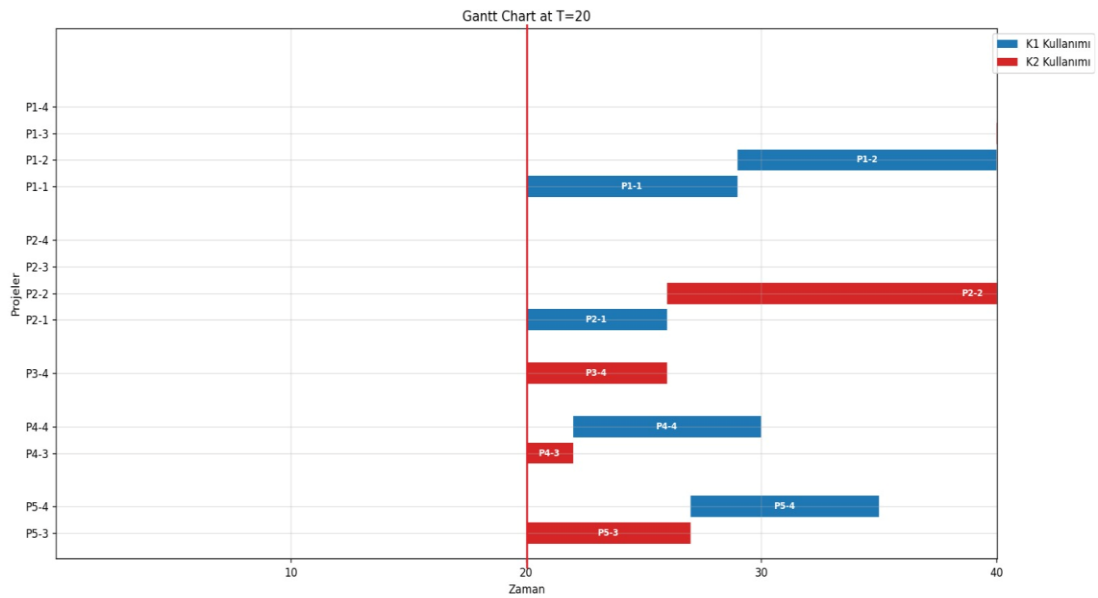
Proje P4, Faaliyet 2: Başlangıç=3, Bitiş=15

Proje P4, Faaliyet 3: Başlangıç=15, Bitiş=22

Proje P5, Faaliyet 0: Başlangıç=0, Bitiş=0

Proje P5, Faaliyet 1: Başlangıç=7, Bitiş=16

Proje P5, Faaliyet 2: Başlangıç=16, Bitiş=18



Şekil 5.16: T=20-40 arasında yapılan çizelge

T=20 'de çizelgeleme:

ProjeP1, Faaliyet 1: Başlangıç=20, Bitiş=29

ProjeP1, Faaliyet 2: Başlangıç=29, Bitiş=40

ProjeP2, Faaliyet 0: Başlangıç=20, Bitiş=20

ProjeP2, Faaliyet 1: Başlangıç=20, Bitiş=26

ProjeP2, Faaliyet 2: Başlangıç=26, Bitiş=52

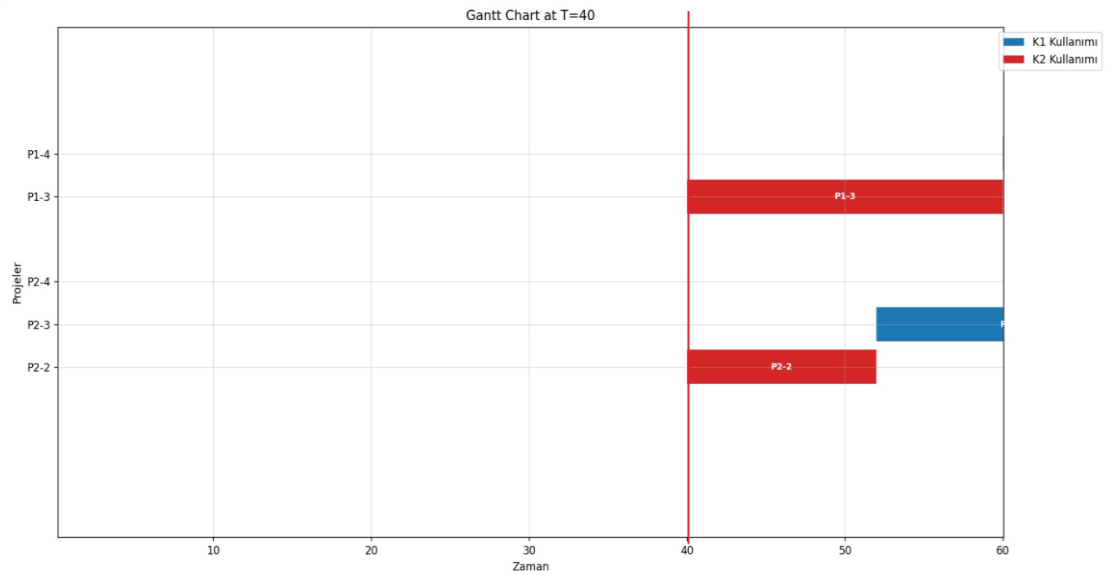
ProjeP3, Faaliyet 4: Başlangıç=20, Bitiş=26

ProjeP4, Faaliyet 3: Başlangıç=20, Bitiş=22

ProjeP4, Faaliyet 4: Başlangıç=22, Bitiş=30

ProjeP5, Faaliyet 3: Başlangıç=20, Bitiş=27

ProjeP5, Faaliyet 4: Başlangıç=27, Bitiş=35



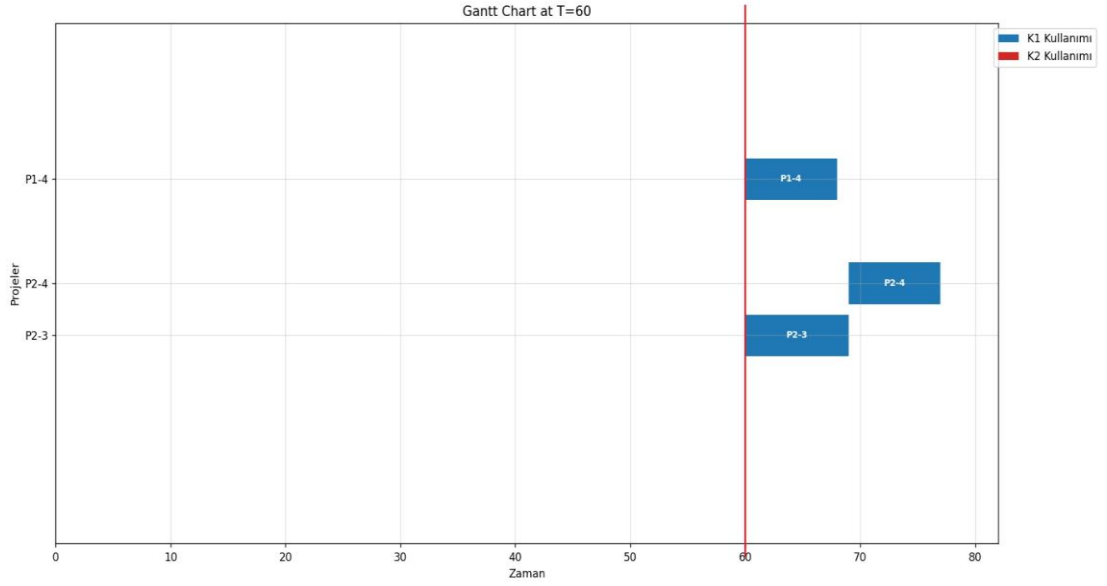
Şekil 5.17: T=40-60 arasında yapılan çizelge

T=40' da çizelgeleme:

Proje P1, Faaliyet 3: Başlangıç=40, Bitiş=60

Proje P2, Faaliyet 2: Başlangıç =40, Bitiş=52

Proje P2, Faaliyet 3: Başlangıç =52, Bitiş=69



Şekil 5.18: T=60-80 arasında yapılan çizelge

T=60' da çizelgeleme:

Proje P1, Faaliyet 4: Başlangıç=60, Bitiş =68

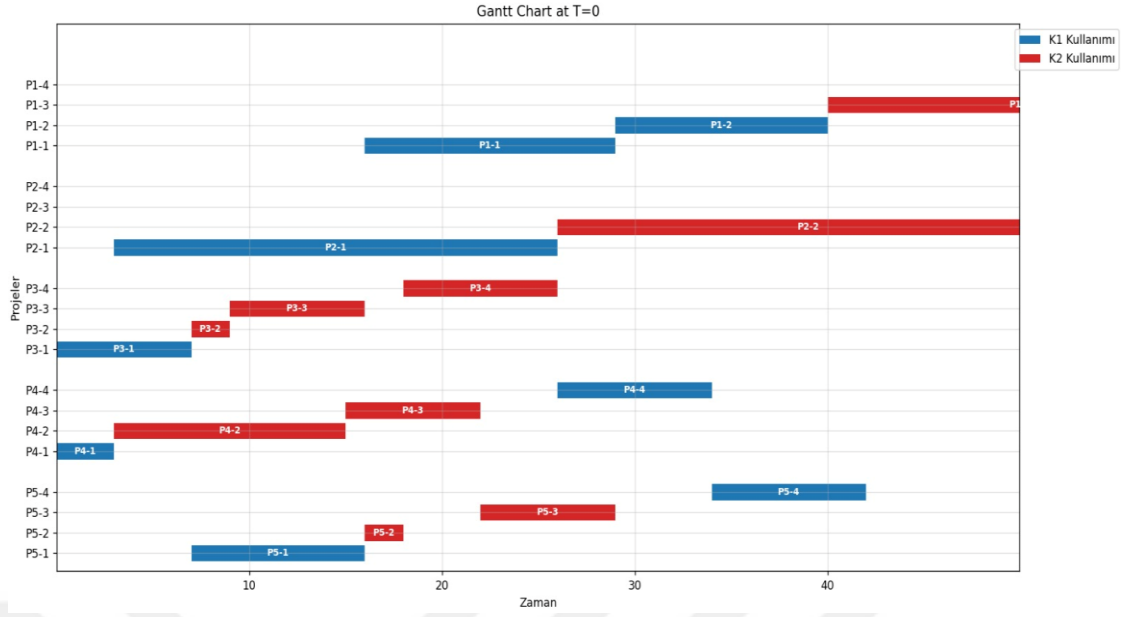
Proje P2, Faaliyet 3: Başlangıç =60, Bitiş =69

Proje P2, Faaliyet 4: Başlangıç =69, Bitiş=77

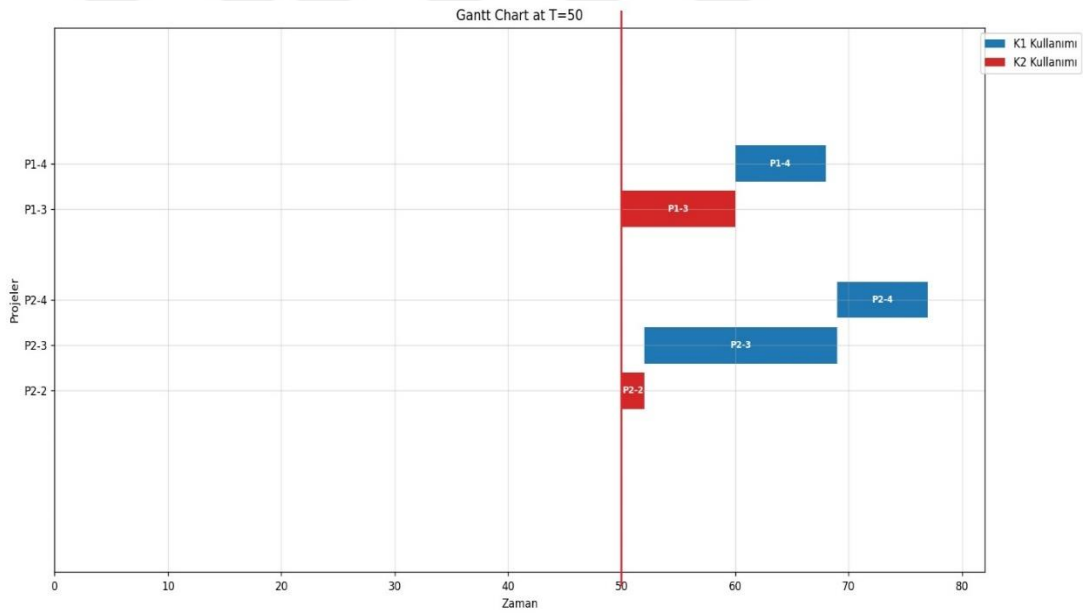
Görüldüğü gibi, tüm projelerin tamamlanması $T_{window}=10$ için 93 gün iken, $T_{window}=20$ seçildiğinde 77 güne düşmüştür.

Deneysel Çalışma 5: Kayan ufuk için planlama ufkunun 50 seçilmesi durumu

Bu deneyde, planlama ufku 50 seçilerek bir önceki deney tekrarlanmıştır.



Şekil 5.19: T=0-50 arasında yapılan çizelge



Şekil 5.20: T=50-100 arasında yapılan çizelge

T=50' de çizelgeleme:

Proje P1, Faaliyet 3: Başlangıç=50, Bitiş=60

Proje P1, Faaliyet 4: Başlangıç=60, Bitiş=68

Proje P2, Faaliyet 2: Başlangıç=50, Bitiş=52

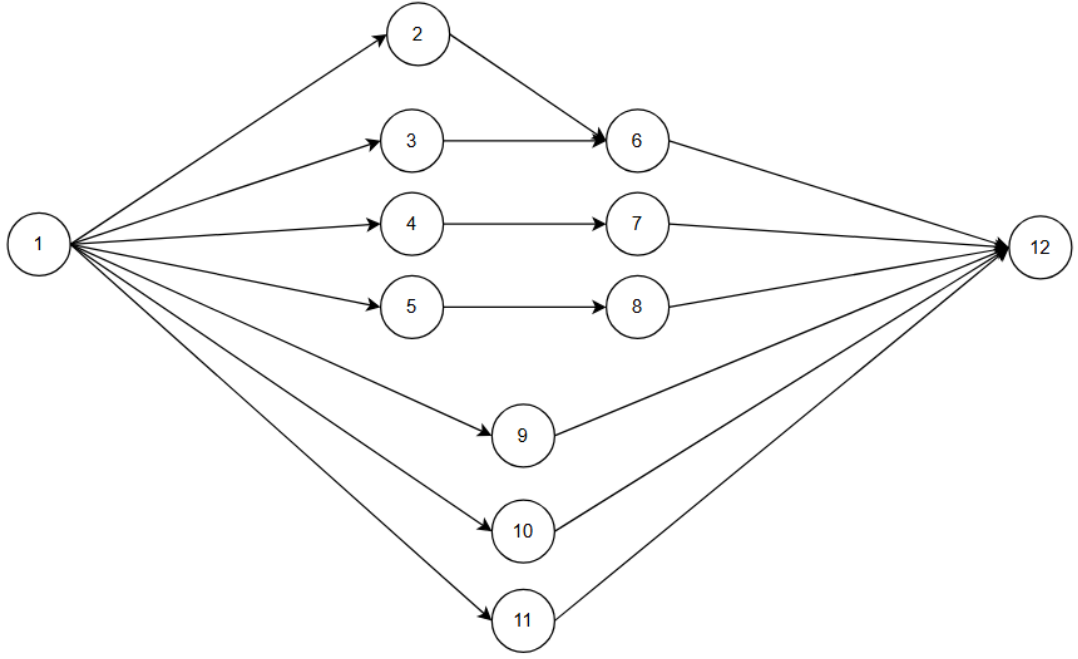
Proje P2, Faaliyet 3: Başlangıç=52, Bitiş=69

Planlama ufku 50 seçildiğinde de projeler 77 günde tamamlanmaktadır. Sonuç olarak görülmektedir ki planlama ufkunun seçimi ortaya çıkan çizelgenin gerçek optimal çözüme yakınlığını etkilemektedir. Planlama aralıkları kısa tutulduğunda, daha fazla sayıda ancak daha küçük boyutlu problemler çözülür. Planlama aralıkları uzun tutulduğunda ise daha az sayıda ancak daha büyük boyutlu problemler çözülür. Kısa planlama aralığı kullanmak, problem boyutları küçüldüğü için daha kısa sürede sonuçlanabilir; ancak bu durum potansiyel olarak optimalden uzak sonuçlar verebilir.

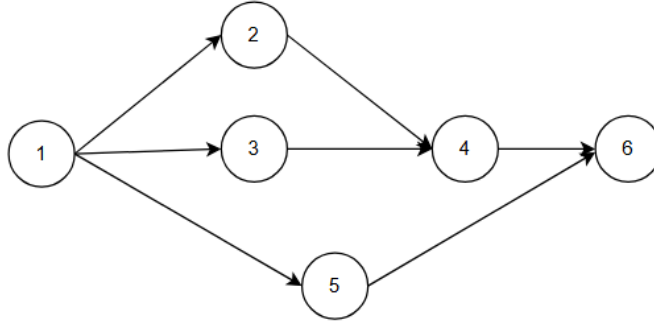
Deneyisel çalışmalar sırasında uygulama 2 ile 3 saniye arasında hızlı çözümler vermiştir. Hızlı çözmesinin en büyük sebebi problemlerin alt problemlere bölünerek çözüm uzayının daraltılmış olmasıdır.

5.3. Problemin Gerçek Veriler Üzerinde Uygulanması

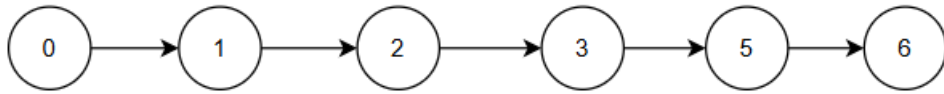
Bu bölümdeki uygulama için, belirli bir t zamanındaki aktif projeler, proje yazılım uygulamasından alınmıştır. 40 proje eş zamanlı olarak devam etmektedir. 10 proje ise henüz projeye dönüşmemiş ve teklif aşamasındadır. Projeler küçük ve büyük olmak üzere iki farklı yapıda olabilir. Şekil 5.15 ve şekil 5.16 da proje akış şemaları gösterilmiştir. Şekil 5.17 de ise teklif aşamasındaki projelerin akışı için genel bir akış hazırlanmıştır. Proje aşamasına geçildiğinde faaliyetler detaylandırılır. Çözümde kullanılan veri seti EK A'da verilmiştir.



Şekil 5.21: Majör proje akış şeması.



Şekil 5.22: Minör proje akış şeması.



Şekil 5.23: Teklif aşamasındaki proje akış şeması.

50 projenin eş zamanlı olarak çizelgelenmesi için Gurobi çözücüsü çalıştırılmıştır. Dört saat içinde çözüm bulunamadığı için uygulama durdurulmuştur.

KKPÇP NP-zor bir problem olduğu için problem boyutu büyüdükçe çözüm süresi üstel olarak artmaktadır. Çözüm için, bu tez çalışmasında önerilen kayan ufuk metodu uygulandığında çıkan sonuçlar ise aşağıdaki gibidir.

En uygun planlama ufku bulmak için 50, 100, 120, 200 gibi zaman pencereleri (t) denenmiştir. Denemeler sonucunda, beklendiği gibi pencere genişliği arttıkça çözüm süresinin de arttığı görülmüştür. Bu problemde planlama ufku $t=100$ olarak seçilerek, $t_1=100$, $t_2=200$, $t_3=300$, $t_4=400$ olmak üzere 4 iterasyon kayan ufuk metodu uygulanmıştır. Bu süreç içinde tamamlanan projeler ve tamamlanma zamanları aşağıdaki gibidir. Zaman içinde yeni proje eklemeleri olduğu için çizelge dinamik olarak sürekli güncellenmektedir. Burada amaç yöntemin uygulanabilirliğini göstermek olduğu için $T=400$ 'de program durdurulmuştur; tüm projeler tamamlanana kadar çözmeye devam etmek mümkündür.

T=400 Anında Projelerin Tamamlanma Zamanları:

Proje P1: 322

Proje P2: 198

Proje P5: 356

Proje P17: 201

Proje P19: 140

Proje P23: 350

Proje P25: 252

Proje P32: 150

Proje P33: 150

Proje P38: 306

Proje P39: 298

$T=400$ anına kadar ağırlığı en yüksek olan projeler ilk olarak çizelgelenmeye başlamıştır. Bu süre içinde tamamlanan 11 proje vardır. Diğer projeler devam etmekte olup tekliflerin ağırlığı 1 olduğu için kesinleşmediği için en son çizelgelenecektir. Eğer bir teklif kesinleşirse ağırlığı değişecek olup ağırlık sırasına göre daha erken çizelgeye dahil edilecektir.

6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, çok projeli ve yenilenebilir kaynak kısıtlı bir proje çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Klasik problem yapısından farklı olarak, çizelgenin gerçekleşmesi sürecinde yeni proje varışları mevcuttur; çizelgenin bu yeni projeler geldikçe güncellenmesi gerekmektedir.

Çalışılan problem yapısını bir havacılık bakım şirketine (MRO) bağlı Ar-Ge merkezindeki uygulama motive etmiştir. Burada, eş zamanlı olarak yürütülen ve aynı kaynak havuzunu paylaşan çok sayıda proje mevcuttur. Dinamik olan iş ortamında, sürekli yeni proje talepleri gelmektedir. Bu taleplere proje süresi ve maliyeti için teklif verilir; teklifler müşteri tarafından kabul edilirse yeni projeler mevcut çizelgeye eklenmek durumundadır. Yapılan inceleme sonucunda problemin genişletilmiş bir kaynak kısıtlı çok projeli proje çizelgeleme problemi kapsamında olduğuna karar verilmiştir.

Literatür çalışmaları sonucunda bu problem tipi için daha çok segisel yöntemlerin çalışıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında ise, kayan-ufuk yaklaşımını yeni proje varışları ile entegre bir şekilde kullanarak problemi ayrıştıran ve tam sayılı programlamaya dayalı bir metodoloji geliştirilmiştir. Çok fazla proje eş zamanlı yürütülmekte ve zaman içinde sürekli yeni proje gelişleri olmaktadır. Belirlenen zaman aralıkları için kayan ufuk metodu ile problemi alt problemlere bölerek çözümü kolaylaştıran ve yeni projelerin eklenmesine uyum sağlayan bir dinamik çizelgeleme aracı hazırlanması amaçlanmıştır.

Önerilen çözüm metodolojisi, Python 3.12.0 betikleri ve Gurobi tamsayı programlama çözücüsü kullanılarak uygulanmış ve çalışmaya konu olan Ar-Ge merkezinin gerçek verileri ile test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu önerilen metodoloji ile problemin etkili bir şekilde çözülebildiği ve kayan ufuk metodunun uygulanabilirliği görülmüştür. Çözümü görselleştirmek için Gantt şemaları eklenmiştir.

Gelecek çalışmalar ile ele alınan mevcut problem yapısını genişleterek bu çalışmada önerilen metodolojiyi geliştirmek ve gerçek hayata daha uygun hale getirmek mümkündür. Problemin mevcut modelinde olmayan durumlar aşağıda listelenmiştir.

1. Projelerin güncellenmesi durumu modele eklenebilir. Ar-Ge projelerindeki belirsizliklerden dolayı projede faaliyet sayısı artabilir, faaliyetler iptal edilebilir.
2. Kaynakların hepsinin aynı yetenekte olduğu varsayılmıştır. Ar-Ge projeleri genellikle tecrübe gerektiren projelerden oluşmaktadır. Proje başarısı için kaynaklar tecrübeli ve tecrübesiz şeklinde ayrılabilir. Bu sayede işe yeni başlayan mühendisler daha temel işler verilirken, tecrübeli personele yüksek teknik bilgi gerektiren işler verilebilir.
3. Her proje başarı ile sonuçlanmayabilir; bu yüzden, Ar-Ge projelerinde proje iptali sık yaşanan bir durumdur. Projenin iptal edilmesi durumu modele eklenebilir. Bu durumda iptal edilen projelerde kullanılan kaynakların kapasitelerinin de güncellenmesi gerekir.
4. Faaliyet sürelerinin değiştiği durumlar olabilir. Proje başında öngörülen süreler zaman içinde artırılabilir ve bu Ar-Ge projeleri özelinde sık yaşanan bir durumdur.
5. Faaliyet kesintilerine izin verilen durum ile model genişletilebilir. Bir faaliyete devam ederken acil tamamlanması gereken bir faaliyet ortaya çıkabilir.
6. Kaynakların izin, hastalık gibi durumları sisteme eklenebilir. Kaynak mevcut olmadığı durumda kapasite yok olarak gösterilerek iş ataması engellenmiş olur.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasının çıktısı olan dinamik proje çizelgeleme yazılımı ile proje yöneticilerinin planlama aşamasında karar vermesini kolaylaştıran bir karar destek sisteminin temeli hazırlanmıştır. Gelecekte bu uygulama geliştirilerek web tabanlı bir ürün haline dönüştürülebilir. Bu sayede kaynak kullanım kapasitesi, atıl duran kapasiteler, kaynakların iş yükü dağılımı ve projelerin tamamlanma oranları gibi raporlar hazırlanıp proje yönetim süreçlerine destek olabilir.

KAYNAKLAR

Abdolshah, M., (2014), "A review of resource-constrained project scheduling problems (RCPSP) approaches and solutions. International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies", 5(4), 253-286.

Addis, Bernardetta, vd., (2016) "Operating room scheduling and rescheduling: a rolling horizon approach", Flexible Services and Manufacturing Journal 28.1: 206-232

Aghileh, Marzieh, vd., (2024), "Multi-project scheduling under uncertainty and resource flexibility: a systematic literature review", Production & Manufacturing Research 12.1: 2319574.

Akçay A., (2017), "Jet Eğitim Uçaklarının Fabrika Seviyesi Bakımında Proje Çizelgeleme", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Albayrak B., (2001), "Proje Yönetimi ve Proje Danışmanlığı", Birinci Baskı, İstanbul: Beta Yayınevi, s.306

Atlı, (2012), "Bulanık çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için matematiksel bir model". Doktora Tezi. İstanbul: Hava Harp Okulu Komutanlığı. 281 pp.

Başlıgil H., (2013), "İş Sıralama ve Çizelgeleme Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi.

Blum, C. ve Roli, A., (2003), "Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison", ACM Computing Surveys, 35(3):268-308.

Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., & Pesch, E., (1999), "Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods", European journal of operational research, 112(1), 3-41

Burke R., (2013), "Project management: planning and control techniques" John Wiley & Sons.

Capa C., ve Gunduz U., (2015), "Proactive project scheduling in an R&D department a bi-objective genetic algorithm", 2015 International conference on industrial engineering and operations management (IEOM). IEEE.

Carlier, J., ve Moukrim, A., (2015), "Storage Resources. In Handbook on Project Management and Scheduling", Vol. 1 (pp. 177-189). Springer International Publishing

Chakraborty, R. K., Ruhul A. S., ve Daryl L. E., (2018), "Single mode resource constrained project scheduling with unreliable resources", Operational Research, 18, 1-35.

Chakraborty, Ripon K., Ruhul A. Sarker, ve Daryl L. Essam., (2016), "Multi-mode resource constrained project scheduling under resource disruptions", *Computers & Chemical Engineering* 88: 13-29.

Chanas, S., & Kamburowski, J., (1981), "The use of fuzzy variables in PERT. Fuzzy sets and systems", 5(1), 11-19.

Chen, HaoJie, vd., (2019), "Research on priority rules for the stochastic resource constrained multi-project scheduling problem with new project arrival", *Computers & Industrial Engineering* 137: 106060

Chen, Haojie, vd., (2022), "A filtering genetic programming framework for stochastic resource constrained multi-project scheduling problem under new project insertions", *Expert Systems with Applications* 198: 116911.

Chen, Lu, and Zhe Zhang., (2014), "A two-stage resource-constrained project scheduling model with proactive and reactive strategies under uncertainty", *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management: Focused on Computing and Engineering Management*. Springer Berlin Heidelberg.

Choi, Jaemin, Matthew J. Realff, and Jay H. Lee., (2007), "AQ-Learning-based method applied to stochastic resource constrained project scheduling with new project arrivals", *International Journal of Robust and Nonlinear Control: IFAC-Affiliated Journal* 17.13: 1214-1231.

Creemers, S., (2019), "The preemptive stochastic resource-constrained project scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 277(1), 238-247.

Deblaere, Filip, Erik Demeulemeester, ve Willy Herroelen., (2011), "Reactive scheduling in the multi-mode RCPSP." *Computers & Operations Research* 38.1: 63-74.

Demasse, S., Artigues, C., & Michelon, P., (2005), "Constraint-propagation-based cutting planes: An application to the resource-constrained project scheduling problem", *INFORMS Journal on computing*, 17(1), 52-65.

Demeulemeester, E. L., ve Herroelen, W. S., (1997), "A branch-and-bound procedure for the generalized resource-constrained project scheduling problem", *Operations Research*, 45(2), 201-212.

Folco, Pietro, vd., (2024), "A Rolling Horizon for Cyclical Rolling Stock Maintenance Scheduling Problem", Available at SSRN 4752906.

Gkiotsalitis, Konstantinos., (2021), "Bus rescheduling in rolling horizons for regularity-based services", *Journal of intelligent transportation systems* 25.4: 356-375.

Glomb, L., Liers, F., & Rösel, F., (2022), "A rolling-horizon approach for multi-period optimization", *European Journal of Operational Research*, 300(1), 189-206.

Gui, Dongdong, vd., (2024), "A metaheuristic algorithm for efficient aircraft sequencing and scheduling in terminal maneuvering areas", Optimization Letters: 1-26.

Güler, Mehmet Güray., (2024), "A Novel Rolling Horizon Based Solution Framework for Scheduling Airplane Maintenance", Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi 15.42: 368-381.

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.

Hazır, Ö., & Ulusoy, G., (2020), "A classification and review of approaches and methods for modeling uncertainty in projects", International Journal of Production Economics, 223, 107522.

Heimerl, C., ve Kolisch, R., (2010), "Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce", OR spectrum, 32, 343-368.

Herroelen, W., & Leus, R., (2005), "Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials", European journal of operational research, 165(2), 289-306.

Houten, Kim van den, vd., (2024), "Proactive and Reactive Constraint Programming for Stochastic Project Scheduling with Maximal Time-Lags." arXiv preprint arXiv:2409.09107.

Kone, O., Artigues, C., Lopez, P., ve Mongeau, M., (2009), "Event-based MILP models for resource constrained project scheduling problems", Computers and Operations Research, 38, 3-13.

Kong, F., ve Dou, D., (2021), "Resource-constrained project scheduling problem under multiple time constraints", Journal of Construction Engineering and Management, 147(2), 04020170.

Kyriakidis, T. S., Kopanos, G. M., ve Georgiadis, M. C., (2012), "MILP formulations for single-and multi-mode resource-constrained project scheduling problems", Computers & Chemical Engineering, 36, 369-385.

Lambrechts, O., Demeulemeester, E., & Herroelen, W., (2008), "Proactive and reactive strategies for resource-constrained project scheduling with uncertain resource availabilities", Journal of scheduling, 11(2), 121-136

Lima, Ricardo, Anabela Tereso, ve João Faria., (2019), "Project management under uncertainty: resource flexibility visualization in the schedule." Procedia Computer Science 164: 381-388.

Luo, L., Luo, Y., You, Y., Cheng, Y., Shi, Y., ve Gong, R., (2016), "A MIP model for rolling horizon surgery scheduling", Journal of medical systems, 40, 1-7.

Payne, J.H., (1995), "Management of multiple simultaneous projects: A state-of-the-art review", *International Journal of Project Management*, 13 (3), 163-168.

Peng, Wuliang, Dongmin Yu, ve Jiali Lin., (2023), "Resource-Constrained Multi-Project Reactive Scheduling Problem With New Project Arrival", *IEEE Access* 11: 64370-64382.

PMBOK® Kılavuzu, PMI, 2013, s. 6

Pritsker, A. A. B., Waiters, L. J., & Wolfe, P. M., (1969), "Multiproject scheduling with limited resources: A zero-one programming approach. *Management science*", 16(1), 93–108.

Romli, A., Ameendeen, M. A., & Ahmad, N., (2006), "Methodology of rolling horizon scheduling under demand uncertainty", In *International Conference on Technology Management 2006*.

Saif, Ullah, Lei Yue, and Mohammed Al Awadh., (2022), "Coordinated planning and scheduling of multiple projects with new projects arrival under resource constraint using Drum buffer rope heuristic", *IEEE Access* 10 (2022): 84244-84266.

Satic, Ugur, Peter Jacko, ve Christopher Kirkbride., (2022), "Performance evaluation of scheduling policies for the dynamic and stochastic resource-constrained multi-project scheduling problem", *International Journal of Production Research* 60.4: 1411-1423.

Sethi, S., & Sorger, G., (1991), "A theory of rolling horizon decision making", *Annals of Operations Research*, 29(1), 387-415.

Seymour, T., Hussein, S., (2014). "The history of project management", *International Journal of Management & Information Systems (Online)*, 18(4), 233-240.

Song, W., Xi, H., Kang, D., ve Zhang, J., (2018), "An agent-based simulation system for multi-project scheduling under uncertainty", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 86, 187-203.

Suwa, Haruhiko, and Daisuke Morita., (2016), "Reactive project scheduling method to enhance project progress under uncertainty." *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* 10.3: JAMDSM0051-JAMDSM0051.

Tang, O. and Grubbstrom, R. W., (2002), "Planning and Replanning The Master Production Schedule Under Demand Uncertainty", *International Journal of Production Economics*. 78. 323-334.

Ulusoy G., (2002), "Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme", *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul*

Van de Vonder, S., Ballestin, F., Demeulemeester, E., ve Herroelen, W., (2007), "Heuristic procedures for reactive project scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, 52(1), 11-28.

Van de Vonder, S., Demeulemeester, E., ve Herroelen, W., (2007), "A classification of predictive-reactive project scheduling procedures", *Journal of scheduling*, 10, 195-207.

Wang, J., Hu, X., Demeulemeester, E., ve Zhao, Y., (2021), "A bi-objective robust resource allocation model for the RCPSP considering resource transfer costs", *International Journal of Production Research*, 59(2), 367-387.

Wang, W., Ge, X., Li, L., ve Su, J., (2019), "Proactive and reactive multi-project scheduling in uncertain environment", *Ieee Access*, 7, 88986-88997.

Yassine, A. A., Mostafa, O., ve Browning, T. R., (2017), "Scheduling Multiple, Resource-Constrained, Iterative, Product Development Projects with Genetic Algorithms". *Computers and Industrial Engineering*, 107, 39–56.

Zaman, F., Elsayed, S., Sarker, R., Essam, D., ve Coello, C. A. C., (2021), "An evolutionary approach for resource constrained project scheduling with uncertain changes", *Computers & Operations Research*, 125, 105104.

Zheng, W., He, Z., Wang, N., ve Jia, T., (2018), "Proactive and reactive resource-constrained max-NPV project scheduling with random activity duration", *Journal of the operational research society*, 69(1), 115-126

Zhu, Y., & Goverde, R. M., (2020), "Dynamic and robust timetable rescheduling for uncertain railway disruptions", *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 15, 100196.

ÖZGEÇMİŞ

Esra ŞENGÜL AKTAŞ, 2016 yılında Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2022 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Kurumsal bir firmanın Ar-Ge merkezi program yönetim ofisinde proje yöneticisi olarak çalışmaktadır.



EKLER

Ek-A: Uygulama Verileri

Projeler

Project	n	weight
P1	10	5
P2	6	5
P3	6	3
P4	6	5
P5	6	5
P6	6	2
P7	6	1
P8	10	1
P9	6	1
P10	10	2
P11	6	3
P12	6	3
P13	6	2
P14	6	1
P15	6	2
P16	6	3
P17	6	4
P18	6	5
P19	6	4
P20	6	3
P21	6	2
P22	6	3
P23	6	4
P24	6	5
P25	6	4
P26	6	3
P27	6	2
P28	6	2
P29	6	2
P30	6	2
P31	6	3
P32	6	4
P33	6	5
P34	6	1
P35	6	2
P36	6	3
P37	6	4
P38	6	5

P39	6	4
P40	6	3
T41	6	2
T42	6	1
T43	6	2
T44	6	3
T45	6	4
T46	6	5
T47	6	4
T48	6	3
T49	6	2
T50	6	3

Faaliyet Süreleri

Project	Activity	Duration
P1	0	0
P1	1	100
P1	2	40
P1	3	50
P1	4	35
P1	5	29
P1	6	60
P1	7	45
P1	8	68
P1	9	10
P1	10	29
P1	11	0
P2	0	0
P2	1	50
P2	2	60
P2	3	79
P2	4	34
P2	5	67
P2	6	34
P2	7	0
P3	0	0
P3	1	56
P3	2	78
P3	3	98
P3	4	90
P3	5	23
P3	6	3
P3	7	0
P4	0	0
P4	1	250

P4	2	300
P4	3	190
P4	4	60
P4	5	100
P4	6	20
P4	7	0
P5	0	0
P5	1	180
P5	2	170
P5	3	50
P5	4	40
P5	5	50
P5	6	10
P5	7	0
P6	0	0
P6	1	300
P6	2	350
P6	3	400
P6	4	30
P6	5	70
P6	6	10
P6	7	0
P7	0	0
P7	1	100
P7	2	40
P7	3	50
P7	4	35
P7	5	29
P7	6	4
P7	7	0
P8	0	0
P8	1	50
P8	2	45
P8	3	56
P8	4	25
P8	5	78
P8	6	25
P8	7	56
P8	8	20
P8	9	60
P8	10	79
P8	11	0
P9	0	0
P9	1	56
P9	2	78
P9	3	98

P9	4	90
P9	5	23
P9	6	3
P9	7	0
P10	0	0
P10	1	50
P10	2	45
P10	3	56
P10	4	25
P10	5	78
P10	6	25
P10	7	56
P10	8	20
P10	9	60
P10	10	79
P10	11	0
P11	0	0
P11	1	180
P11	2	170
P11	3	50
P11	4	40
P11	5	50
P11	6	10
P11	7	0
P12	0	0
P12	1	300
P12	2	350
P12	3	400
P12	4	30
P12	5	70
P12	6	10
P12	7	0
P13	0	0
P13	1	100
P13	2	40
P13	3	50
P13	4	35
P13	5	29
P13	6	4
P13	7	0
P14	0	0
P14	1	50
P14	2	60
P14	3	79
P14	4	34
P14	5	67

P14	6	34
P14	7	0
P15	0	0
P15	1	56
P15	2	78
P15	3	98
P15	4	90
P15	5	23
P15	6	3
P15	7	0
P16	0	0
P16	1	250
P16	2	300
P16	3	190
P16	4	60
P16	5	100
P16	6	20
P16	7	0
P17	0	0
P17	1	180
P17	2	170
P17	3	50
P17	4	40
P17	5	50
P17	6	10
P17	7	0
P18	0	0
P18	1	300
P18	2	350
P18	3	400
P18	4	30
P18	5	70
P18	6	10
P18	7	0
P19	0	0
P19	1	100
P19	2	40
P19	3	50
P19	4	35
P19	5	29
P19	6	4
P19	7	0
P20	0	0
P20	1	50
P20	2	60
P20	3	79

P20	4	34
P20	5	67
P20	6	34
P20	7	0
P21	0	0
P21	1	56
P21	2	78
P21	3	98
P21	4	90
P21	5	23
P21	6	3
P21	7	0
P22	0	0
P22	1	250
P22	2	300
P22	3	190
P22	4	60
P22	5	100
P22	6	20
P22	7	0
P23	0	0
P23	1	180
P23	2	170
P23	3	50
P23	4	40
P23	5	50
P23	6	10
P23	7	0
P24	0	0
P24	1	300
P24	2	350
P24	3	400
P24	4	30
P24	5	70
P24	6	10
P24	7	0
P25	0	0
P25	1	100
P25	2	40
P25	3	50
P25	4	35
P25	5	29
P25	6	4
P25	7	0
P26	0	0
P26	1	50

P26	2	60
P26	3	79
P26	4	34
P26	5	67
P26	6	34
P26	7	0
P27	0	0
P27	1	56
P27	2	78
P27	3	98
P27	4	90
P27	5	23
P27	6	3
P27	7	0
P28	0	0
P28	1	250
P28	2	300
P28	3	190
P28	4	60
P28	5	100
P28	6	20
P28	7	0
P29	0	0
P29	1	180
P29	2	170
P29	3	50
P29	4	40
P29	5	50
P29	6	10
P29	7	0
P30	0	0
P30	1	300
P30	2	350
P30	3	400
P30	4	30
P30	5	70
P30	6	10
P30	7	0
P31	0	0
P31	1	100
P31	2	40
P31	3	50
P31	4	35
P31	5	29
P31	6	4
P31	7	0

P32	0	0
P32	1	50
P32	2	60
P32	3	79
P32	4	34
P32	5	67
P32	6	34
P32	7	0
P33	0	0
P33	1	56
P33	2	78
P33	3	98
P33	4	90
P33	5	23
P33	6	3
P33	7	0
P34	0	0
P34	1	250
P34	2	300
P34	3	190
P34	4	60
P34	5	100
P34	6	20
P34	7	0
P35	0	0
P35	1	180
P35	2	170
P35	3	50
P35	4	40
P35	5	50
P35	6	10
P35	7	0
P36	0	0
P36	1	300
P36	2	350
P36	3	400
P36	4	30
P36	5	70
P36	6	10
P36	7	0
P37	0	0
P37	1	50
P37	2	20
P37	3	40
P37	4	10
P37	5	15

P37	6	6
P37	7	0
P38	0	0
P38	1	80
P38	2	40
P38	3	15
P38	4	15
P38	5	20
P38	6	9
P38	7	0
P39	0	0
P39	1	190
P39	2	130
P39	3	40
P39	4	50
P39	5	12
P39	6	10
P39	7	0
P40	0	0
P40	1	110
P40	2	80
P40	3	30
P40	4	24
P40	5	56
P40	6	2
P40	7	0
T41	0	0
T41	1	54
T41	2	67
T41	3	12
T41	4	90
T41	5	78
T41	6	40
T41	7	0
T42	0	0
T42	1	30
T42	2	40
T42	3	12
T42	4	20
T42	5	48
T42	6	5
T42	7	0
T43	0	0
T43	1	60
T43	2	40
T43	3	20

T43	4	45
T43	5	12
T43	6	6
T43	7	0
T44	0	0
T44	1	98
T44	2	34
T44	3	56
T44	4	76
T44	5	54
T44	6	34
T44	7	0
T45	0	0
T45	1	40
T45	2	25
T45	3	40
T45	4	50
T45	5	12
T45	6	6
T45	7	0
T46	0	0
T46	1	30
T46	2	40
T46	3	12
T46	4	20
T46	5	48
T46	6	5
T46	7	0
T47	0	0
T47	1	60
T47	2	40
T47	3	20
T47	4	45
T47	5	12
T47	6	6
T47	7	0
T48	0	0
T48	1	98
T48	2	34
T48	3	56
T48	4	76
T48	5	54
T48	6	34
T48	7	0
T49	0	0
T49	1	20

T49	2	40
T49	3	12
T49	4	45
T49	5	67
T49	6	4
T49	7	0
T50	0	0
T50	1	40
T50	2	56
T50	3	90
T50	4	12
T50	5	35
T50	6	6
T50	7	0

Kaynak Kullanımları

Project	Activity	R1	R2	R3	R4	R5	R6
P1	0	0	0	0	0	0	0
P1	1	1	0	0	0	0	0
P1	2	0	0	1	0	0	0
P1	3	0	1	0	0	0	0
P1	4	0	0	0	0	1	0
P1	5	0	0	0	1	0	0
P1	6	0	1	0	0	0	0
P1	7	0	0	0	0	1	0
P1	8	0	1	0	0	0	0
P1	9	0	0	1	0	0	0
P1	10	0	0	0	0	0	1
P1	11	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0
P2	1	1	0	0	0	0	0
P2	2	0	0	1	0	0	0
P2	3	0	1	0	0	0	0
P2	4	0	0	0	0	1	0
P2	5	0	0	0	1	0	0
P2	6	0	0	0	0	0	1
P2	7	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0
P3	1	1	0	0	0	0	0
P3	2	0	0	1	0	0	0
P3	3	0	1	0	0	0	0
P3	4	0	0	0	0	1	0
P3	5	0	0	0	1	0	0
P3	6	0	0	0	0	0	1
P3	7	0	0	0	0	0	0

P4	0	0	0	0	0	0	0
P4	1	1	0	0	0	0	0
P4	2	0	0	1	0	0	0
P4	3	0	1	0	0	0	0
P4	4	0	0	0	0	1	0
P4	5	0	0	0	1	0	0
P4	6	0	0	0	0	0	1
P4	7	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0
P5	1	1	0	0	0	0	0
P5	2	0	0	1	0	0	0
P5	3	0	1	0	0	0	0
P5	4	0	0	0	0	1	0
P5	5	0	0	0	1	0	0
P5	6	0	0	0	0	0	1
P5	7	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	1	0	0	0	0	0
P6	2	0	0	1	0	0	0
P6	3	0	1	0	0	0	0
P6	4	0	0	0	0	1	0
P6	5	0	0	0	1	0	0
P6	6	0	0	0	0	0	1
P6	7	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	0
P7	1	1	0	0	0	0	0
P7	2	0	0	1	0	0	0
P7	3	0	1	0	0	0	0
P7	4	0	0	0	0	1	0
P7	5	0	0	0	1	0	0
P7	6	0	0	0	0	0	1
P7	7	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0
P8	1	1	0	0	0	0	0
P8	2	0	0	1	0	0	0
P8	3	0	1	0	0	0	0
P8	4	0	0	0	0	1	0
P8	5	0	0	0	1	0	0
P8	6	0	1	0	0	0	0
P8	7	0	0	0	0	1	0
P8	8	0	1	0	0	0	0
P8	9	0	0	1	0	0	0
P8	10	0	0	0	0	0	1
P8	11	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0
P9	1	1	0	0	0	0	0

P9	2	0	0	1	0	0	0
P9	3	0	1	0	0	0	0
P9	4	0	0	0	0	1	0
P9	5	0	0	0	1	0	0
P9	6	0	0	0	0	0	1
P9	7	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0
P10	1	1	0	0	0	0	0
P10	2	0	0	1	0	0	0
P10	3	0	1	0	0	0	0
P10	4	0	0	0	0	1	0
P10	5	0	0	0	1	0	0
P10	6	0	1	0	0	0	0
P10	7	0	0	0	0	1	0
P10	8	0	1	0	0	0	0
P10	9	0	0	1	0	0	0
P10	10	0	0	0	0	0	1
P10	11	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0
P11	1	1	0	0	0	0	0
P11	2	0	0	1	0	0	0
P11	3	0	1	0	0	0	0
P11	4	0	0	0	0	1	0
P11	5	0	0	0	1	0	0
P11	6	0	0	0	0	0	1
P11	7	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	0	0
P12	1	1	0	0	0	0	0
P12	2	0	0	1	0	0	0
P12	3	0	1	0	0	0	0
P12	4	0	0	0	0	1	0
P12	5	0	0	0	1	0	0
P12	6	0	0	0	0	0	1
P12	7	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	0
P13	1	1	0	0	0	0	0
P13	2	0	0	1	0	0	0
P13	3	0	1	0	0	0	0
P13	4	0	0	0	0	1	0
P13	5	0	0	0	1	0	0
P13	6	0	0	0	0	0	1
P13	7	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0
P14	1	1	0	0	0	0	0
P14	2	0	0	1	0	0	0
P14	3	0	1	0	0	0	0

P14	4	0	0	0	0	1	0
P14	5	0	0	0	1	0	0
P14	6	0	0	0	0	0	1
P14	7	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0
P15	1	1	0	0	0	0	0
P15	2	0	0	1	0	0	0
P15	3	0	1	0	0	0	0
P15	4	0	0	0	0	1	0
P15	5	0	0	0	1	0	0
P15	6	0	0	0	0	0	1
P15	7	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0
P16	1	1	0	0	0	0	0
P16	2	0	0	1	0	0	0
P16	3	0	1	0	0	0	0
P16	4	0	0	0	0	1	0
P16	5	0	0	0	1	0	0
P16	6	0	0	0	0	0	1
P16	7	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0
P17	1	1	0	0	0	0	0
P17	2	0	0	1	0	0	0
P17	3	0	1	0	0	0	0
P17	4	0	0	0	0	1	0
P17	5	0	0	0	1	0	0
P17	6	0	0	0	0	0	1
P17	7	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	0	0	0	0
P18	1	1	0	0	0	0	0
P18	2	0	0	1	0	0	0
P18	3	0	1	0	0	0	0
P18	4	0	0	0	0	1	0
P18	5	0	0	0	1	0	0
P18	6	0	0	0	0	0	1
P18	7	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	0	0	0	0	0
P19	1	1	0	0	0	0	0
P19	2	0	0	1	0	0	0
P19	3	0	1	0	0	0	0
P19	4	0	0	0	0	1	0
P19	5	0	0	0	1	0	0
P19	6	0	0	0	0	0	1
P19	7	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0	0	0
P20	1	1	0	0	0	0	0

P20	2	0	0	1	0	0	0
P20	3	0	1	0	0	0	0
P20	4	0	0	0	0	1	0
P20	5	0	0	0	1	0	0
P20	6	0	0	0	0	0	1
P20	7	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0
P21	1	1	0	0	0	0	0
P21	2	0	0	1	0	0	0
P21	3	0	1	0	0	0	0
P21	4	0	0	0	0	1	0
P21	5	0	0	0	1	0	0
P21	6	0	0	0	0	0	1
P21	7	0	0	0	0	0	0
P22	0	0	0	0	0	0	0
P22	1	1	0	0	0	0	0
P22	2	0	0	1	0	0	0
P22	3	0	1	0	0	0	0
P22	4	0	0	0	0	1	0
P22	5	0	0	0	1	0	0
P22	6	0	0	0	0	0	1
P22	7	0	0	0	0	0	0
P23	0	0	0	0	0	0	0
P23	1	1	0	0	0	0	0
P23	2	0	0	1	0	0	0
P23	3	0	1	0	0	0	0
P23	4	0	0	0	0	1	0
P23	5	0	0	0	1	0	0
P23	6	0	0	0	0	0	1
P23	7	0	0	0	0	0	0
P24	0	0	0	0	0	0	0
P24	1	1	0	0	0	0	0
P24	2	0	0	1	0	0	0
P24	3	0	1	0	0	0	0
P24	4	0	0	0	0	1	0
P24	5	0	0	0	1	0	0
P24	6	0	0	0	0	0	1
P24	7	0	0	0	0	0	0
P25	0	0	0	0	0	0	0
P25	1	1	0	0	0	0	0
P25	2	0	0	1	0	0	0
P25	3	0	1	0	0	0	0
P25	4	0	0	0	0	1	0
P25	5	0	0	0	1	0	0
P25	6	0	0	0	0	0	1
P25	7	0	0	0	0	0	0

P26	0	0	0	0	0	0	0
P26	1	1	0	0	0	0	0
P26	2	0	0	1	0	0	0
P26	3	0	1	0	0	0	0
P26	4	0	0	0	0	1	0
P26	5	0	0	0	1	0	0
P26	6	0	0	0	0	0	1
P26	7	0	0	0	0	0	0
P27	0	0	0	0	0	0	0
P27	1	1	0	0	0	0	0
P27	2	0	0	1	0	0	0
P27	3	0	1	0	0	0	0
P27	4	0	0	0	0	1	0
P27	5	0	0	0	1	0	0
P27	6	0	0	0	0	0	1
P27	7	0	0	0	0	0	0
P28	0	0	0	0	0	0	0
P28	1	1	0	0	0	0	0
P28	2	0	0	1	0	0	0
P28	3	0	1	0	0	0	0
P28	4	0	0	0	0	1	0
P28	5	0	0	0	1	0	0
P28	6	0	0	0	0	0	1
P28	7	0	0	0	0	0	0
P29	0	0	0	0	0	0	0
P29	1	1	0	0	0	0	0
P29	2	0	0	1	0	0	0
P29	3	0	1	0	0	0	0
P29	4	0	0	0	0	1	0
P29	5	0	0	0	1	0	0
P29	6	0	0	0	0	0	1
P29	7	0	0	0	0	0	0
P30	0	0	0	0	0	0	0
P30	1	1	0	0	0	0	0
P30	2	0	0	1	0	0	0
P30	3	0	1	0	0	0	0
P30	4	0	0	0	0	1	0
P30	5	0	0	0	1	0	0
P30	6	0	0	0	0	0	1
P30	7	0	0	0	0	0	0
P31	0	0	0	0	0	0	0
P31	1	1	0	0	0	0	0
P31	2	0	0	1	0	0	0
P31	3	0	1	0	0	0	0
P31	4	0	0	0	0	1	0
P31	5	0	0	0	1	0	0

P31	6	0	0	0	0	0	1
P31	7	0	0	0	0	0	0
P32	0	0	0	0	0	0	0
P32	1	1	0	0	0	0	0
P32	2	0	0	1	0	0	0
P32	3	0	1	0	0	0	0
P32	4	0	0	0	0	1	0
P32	5	0	0	0	1	0	0
P32	6	0	0	0	0	0	1
P32	7	0	0	0	0	0	0
P33	0	0	0	0	0	0	0
P33	1	1	0	0	0	0	0
P33	2	0	0	1	0	0	0
P33	3	0	1	0	0	0	0
P33	4	0	0	0	0	1	0
P33	5	0	0	0	1	0	0
P33	6	0	0	0	0	0	1
P33	7	0	0	0	0	0	0
P34	0	0	0	0	0	0	0
P34	1	1	0	0	0	0	0
P34	2	0	0	1	0	0	0
P34	3	0	1	0	0	0	0
P34	4	0	0	0	0	1	0
P34	5	0	0	0	1	0	0
P34	6	0	0	0	0	0	1
P34	7	0	0	0	0	0	0
P35	0	0	0	0	0	0	0
P35	1	1	0	0	0	0	0
P35	2	0	0	1	0	0	0
P35	3	0	1	0	0	0	0
P35	4	0	0	0	0	1	0
P35	5	0	0	0	1	0	0
P35	6	0	0	0	0	0	1
P35	7	0	0	0	0	0	0
P36	0	0	0	0	0	0	0
P36	1	1	0	0	0	0	0
P36	2	0	0	1	0	0	0
P36	3	0	1	0	0	0	0
P36	4	0	0	0	0	1	0
P36	5	0	0	0	1	0	0
P36	6	0	0	0	0	0	1
P36	7	0	0	0	0	0	0
P37	0	0	0	0	0	0	0
P37	1	1	0	0	0	0	0
P37	2	0	0	1	0	0	0
P37	3	0	1	0	0	0	0

P37	4	0	0	0	0	1	0
P37	5	0	0	0	1	0	0
P37	6	0	0	0	0	0	1
P37	7	0	0	0	0	0	0
P38	0	0	0	0	0	0	0
P38	1	1	0	0	0	0	0
P38	2	0	0	1	0	0	0
P38	3	0	1	0	0	0	0
P38	4	0	0	0	0	1	0
P38	5	0	0	0	1	0	0
P38	6	0	0	0	0	0	1
P38	7	0	0	0	0	0	0
P39	0	0	0	0	0	0	0
P39	1	1	0	0	0	0	0
P39	2	0	0	1	0	0	0
P39	3	0	1	0	0	0	0
P39	4	0	0	0	0	1	0
P39	5	0	0	0	1	0	0
P39	6	0	0	0	0	0	1
P39	7	0	0	0	0	0	0
P40	0	0	0	0	0	0	0
P40	1	1	0	0	0	0	0
P40	2	0	0	1	0	0	0
P40	3	0	1	0	0	0	0
P40	4	0	0	0	0	1	0
P40	5	0	0	0	1	0	0
P40	6	0	0	0	0	0	1
P40	7	0	0	0	0	0	0
T41	0	0	0	0	0	0	0
T41	1	1	0	0	0	0	0
T41	2	0	0	1	0	0	0
T41	3	0	1	0	0	0	0
T41	4	0	0	0	0	1	0
T41	5	0	0	0	1	0	0
T41	6	0	0	0	0	0	1
T41	7	0	0	0	0	0	0
T42	0	0	0	0	0	0	0
T42	1	1	0	0	0	0	0
T42	2	0	0	1	0	0	0
T42	3	0	1	0	0	0	0
T42	4	0	0	0	0	1	0
T42	5	0	0	0	1	0	0
T42	6	0	0	0	0	0	1
T42	7	0	0	0	0	0	0
T43	0	0	0	0	0	0	0
T43	1	1	0	0	0	0	0

T43	2	0	0	1	0	0	0
T43	3	0	1	0	0	0	0
T43	4	0	0	0	0	1	0
T43	5	0	0	0	1	0	0
T43	6	0	0	0	0	0	1
T43	7	0	0	0	0	0	0
T44	0	0	0	0	0	0	0
T44	1	1	0	0	0	0	0
T44	2	0	0	1	0	0	0
T44	3	0	1	0	0	0	0
T44	4	0	0	0	0	1	0
T44	5	0	0	0	1	0	0
T44	6	0	0	0	0	0	1
T44	7	0	0	0	0	0	0
T45	0	0	0	0	0	0	0
T45	1	1	0	0	0	0	0
T45	2	0	0	1	0	0	0
T45	3	0	1	0	0	0	0
T45	4	0	0	0	0	1	0
T45	5	0	0	0	1	0	0
T45	6	0	0	0	0	0	1
T45	7	0	0	0	0	0	0
T46	0	0	0	0	0	0	0
T46	1	1	0	0	0	0	0
T46	2	0	0	1	0	0	0
T46	3	0	1	0	0	0	0
T46	4	0	0	0	0	1	0
T46	5	0	0	0	1	0	0
T46	6	0	0	0	0	0	1
T46	7	0	0	0	0	0	0
T47	0	0	0	0	0	0	0
T47	1	1	0	0	0	0	0
T47	2	0	0	1	0	0	0
T47	3	0	1	0	0	0	0
T47	4	0	0	0	0	1	0
T47	5	0	0	0	1	0	0
T47	6	0	0	0	0	0	1
T47	7	0	0	0	0	0	0
T48	0	0	0	0	0	0	0
T48	1	1	0	0	0	0	0
T48	2	0	0	1	0	0	0
T48	3	0	1	0	0	0	0
T48	4	0	0	0	0	1	0
T48	5	0	0	0	1	0	0
T48	6	0	0	0	0	0	1
T48	7	0	0	0	0	0	0

T49	0	0	0	0	0	0	0
T49	1	1	0	0	0	0	0
T49	2	0	0	1	0	0	0
T49	3	0	1	0	0	0	0
T49	4	0	0	0	0	1	0
T49	5	0	0	0	1	0	0
T49	6	0	0	0	0	0	1
T49	7	0	0	0	0	0	0
T50	0	0	0	0	0	0	0
T50	1	1	0	0	0	0	0
T50	2	0	0	1	0	0	0
T50	3	0	1	0	0	0	0
T50	4	0	0	0	0	1	0
T50	5	0	0	0	1	0	0
T50	6	0	0	0	0	0	1
T50	7	0	0	0	0	0	0

Öncül-Ardıl İlişkisi

Project	Predecessor	Successor
P1	0	1
P1	0	2
P1	0	3
P1	0	4
P1	1	5
P1	2	5
P1	3	6
P1	4	7
P1	0	8
P1	0	9
P1	0	10
P1	5,6,7,8,9,10	11
P2	0	1
P2	0	2
P2	0	3
P2	1	4
P2	2	4
P2	3	4
P2	5	7
P2	6	7
P3	0	1
P3	0	2
P3	0	3
P3	1	4
P3	2	4
P3	3	4

P3	5	7
P3	6	7
P4	0	1
P4	0	2
P4	0	3
P4	1	4
P4	2	4
P4	3	4
P4	5	7
P4	6	7
P5	0	1
P5	0	2
P5	0	3
P5	1	4
P5	2	4
P5	3	4
P5	5	7
P5	6	7
P6	0	1
P6	0	2
P6	0	3
P6	1	4
P6	2	4
P6	3	4
P6	5	7
P6	6	7
P7	0	1
P7	0	2
P7	0	3
P7	1	4
P7	2	4
P7	3	4
P7	5	7
P7	6	7
P8	0	1
P8	0	2
P8	0	3
P8	0	4
P8	1	5
P8	2	5
P8	3	6
P8	4	7
P8	0	8
P8	0	9
P8	0	10
P8	5,6,7,8,9,10	11

P9	0	1
P9	0	2
P9	0	3
P9	1	4
P9	2	4
P9	3	4
P9	5	7
P9	6	7
P10	0	1
P10	0	2
P10	0	3
P10	0	4
P10	1	5
P10	2	5
P10	3	6
P10	4	7
P10	0	8
P10	0	9
P10	0	10
P10	5,6,7,8,9,10	11
P11	0	1
P11	0	2
P11	0	3
P11	1	4
P11	2	4
P11	3	4
P11	5	7
P11	6	7
P12	0	1
P12	0	2
P12	0	3
P12	1	4
P12	2	4
P12	3	4
P12	5	7
P12	6	7
P13	0	1
P13	0	2
P13	0	3
P13	1	4
P13	2	4
P13	3	4
P13	5	7
P13	6	7
P14	0	1
P14	0	2

P14	0	3
P14	1	4
P14	2	4
P14	3	4
P14	5	7
P14	6	7
P15	0	1
P15	0	2
P15	0	3
P15	1	4
P15	2	4
P15	3	4
P15	5	7
P15	6	7
P16	0	1
P16	0	2
P16	0	3
P16	1	4
P16	2	4
P16	3	4
P16	5	7
P16	6	7
P17	0	1
P17	0	2
P17	0	3
P17	1	4
P17	2	4
P17	3	4
P17	5	7
P17	6	7
P18	0	1
P18	0	2
P18	0	3
P18	1	4
P18	2	4
P18	3	4
P18	5	7
P18	6	7
P19	0	1
P19	0	2
P19	0	3
P19	1	4
P19	2	4
P19	3	4
P19	5	7
P19	6	7

P20	0	1
P20	0	2
P20	0	3
P20	1	4
P20	2	4
P20	3	4
P20	5	7
P20	6	7
P21	0	1
P21	0	2
P21	0	3
P21	1	4
P21	2	4
P21	3	4
P21	5	7
P21	6	7
P22	0	1
P22	0	2
P22	0	3
P22	1	4
P22	2	4
P22	3	4
P22	5	7
P22	6	7
P23	0	1
P23	0	2
P23	0	3
P23	1	4
P23	2	4
P23	3	4
P23	5	7
P23	6	7
P24	0	1
P24	0	2
P24	0	3
P24	1	4
P24	2	4
P24	3	4
P24	5	7
P24	6	7
P25	0	1
P25	0	2
P25	0	3
P25	1	4
P25	2	4
P25	3	4

P25	5	7
P25	6	7
P26	0	1
P26	0	2
P26	0	3
P26	1	4
P26	2	4
P26	3	4
P26	5	7
P26	6	7
P27	0	1
P27	0	2
P27	0	3
P27	1	4
P27	2	4
P27	3	4
P27	5	7
P27	6	7
P28	0	1
P28	0	2
P28	0	3
P28	1	4
P28	2	4
P28	3	4
P28	5	7
P28	6	7
P29	0	1
P29	0	2
P29	0	3
P29	1	4
P29	2	4
P29	3	4
P29	5	7
P29	6	7
P30	0	1
P30	0	2
P30	0	3
P30	1	4
P30	2	4
P30	3	4
P30	5	7
P30	6	7
P31	0	1
P31	0	2
P31	0	3
P31	1	4

P31	2	4
P31	3	4
P31	5	7
P31	6	7
P32	0	1
P32	0	2
P32	0	3
P32	1	4
P32	2	4
P32	3	4
P32	5	7
P32	6	7
P33	0	1
P33	0	2
P33	0	3
P33	1	4
P33	2	4
P33	3	4
P33	5	7
P33	6	7
P34	0	1
P34	0	2
P34	0	3
P34	1	4
P34	2	4
P34	3	4
P34	5	7
P34	6	7
P35	0	1
P35	0	2
P35	0	3
P35	1	4
P35	2	4
P35	3	4
P35	5	7
P35	6	7
P36	0	1
P36	0	2
P36	0	3
P36	1	4
P36	2	4
P36	3	4
P36	5	7
P36	6	7
P37	0	1
P37	0	2

P37	0	3
P37	1	4
P37	2	4
P37	3	4
P37	5	7
P37	6	7
P38	0	1
P38	0	2
P38	0	3
P38	1	4
P38	2	4
P38	3	4
P38	5	7
P38	6	7
P39	0	1
P39	0	2
P39	0	3
P39	1	4
P39	2	4
P39	3	4
P39	5	7
P39	6	7
P40	0	1
P40	0	2
P40	0	3
P40	1	4
P40	2	4
P40	3	4
P40	5	7
P40	6	7
T41	0	1
T41	1	2
T41	2	3
T41	3	4
T41	4	5
T41	5	6
T41	6	7
T41	7	8
T42	0	1
T42	1	2
T42	2	3
T42	3	4
T42	4	5
T42	5	6
T42	6	7
T42	7	8

T43	0	1
T43	1	2
T43	2	3
T43	3	4
T43	4	5
T43	5	6
T43	6	7
T43	7	8
T44	0	1
T44	1	2
T44	2	3
T44	3	4
T44	4	5
T44	5	6
T44	6	7
T44	7	8
T45	0	1
T45	1	2
T45	2	3
T45	3	4
T45	4	5
T45	5	6
T45	6	7
T45	7	8
T46	0	1
T46	1	2
T46	2	3
T46	3	4
T46	4	5
T46	5	6
T46	6	7
T46	7	8
T47	0	1
T47	1	2
T47	2	3
T47	3	4
T47	4	5
T47	5	6
T47	6	7
T47	7	8
T48	0	1
T48	1	2
T48	2	3
T48	3	4
T48	4	5
T48	5	6

T48	6	7
T48	7	8
T49	0	1
T49	1	2
T49	2	3
T49	3	4
T49	4	5
T49	5	6
T49	6	7
T49	7	8
T50	0	1
T50	1	2
T50	2	3
T50	3	4
T50	4	5
T50	5	6
T50	6	7
T50	7	8