



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

BANKALARIN KREDİ TAHSİLAT OPERASYONLARININ ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ İLE OPTİMİZE EDİLMESİ

Hakan GÜRSOY

Doktora Tezi

Ankara, 2023

BANKALARIN KREDİ TAHSİLAT OPERASYONLARININ ÇOK AMAÇLI
OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ İLE OPTİMİZE EDİLMESİ

Hakan GÜRSOY

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Doktora Tezi

Ankara, 2023

KABUL VE ONAY

Hakan GÜRSOY tarafından hazırlanan "BANKALARIN KREDİ TAHSİLAT OPERASYONLARININ ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ İLE OPTİMİZE EDİLMESİ" başlıklı bu çalışma, 15 Haziran 2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yalçın KARATEPE (Başkan)

Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Doç. Dr. Ayşegül ALTIN KAYHAN (Üye)

Prof. Dr. K. Barış ATICI (Üye)

Bu tez çalışmasında Sayın Prof. Dr. Ekrem DUMAN Ortak Danışman olarak görev almıştır.

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof.Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../07/2023

[İmza]

Hakan GÜR SOY

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez danışmanın önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Prof. Dr. Aydın ULUCAN**'ın danışmanlığında ve **Prof.Dr. Ekrem DUMAN**'ın ortak danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

[İmza]

Hakan GÜRSOY

TEŞEKKÜR

Doktora Tezimin hazırlanması sürecinde teşekkür etmeyi borç bildiğim birçok kişi bulunmaktadır.

Öncelikle Doktora sürecimin ilk döneminden itibaren her dönem kendisinden ders alma şansını bulduğum, zorlandığım noktalarda yolumu açan, yeterlik ve tez süreçlerinde sürekli yanımda olan Danışmanım Sn. **Prof. Dr. Aydın ULUCAN**'a;

Doktora tezimin konusuna kaynak teşkil eden, tezin oluşturulma ve yazım sürecinde, birlikte yaptığımız yayınlarda her zaman desteğini hissettiğim, bilgisinden her zaman faydalandığım, ikinci Danışmanım Sn. **Prof. Dr. Ekrem DUMAN**'a ;

Doğu Anadolunun ücra köylerinden birinde doğmuş olmasına rağmen Türkiye Cumhuriyet'inin imkanları ile eğitim almış, benim bugünlere kadar gelmemde her zaman en yüksek emeğin sahibi ve tam bir Cumhuriyet kadını olan değerli annem **Gülperi GÜRSOY**'a;

Doktora sürecinde kendilerinden çaldığım zaman konusunda beni bağışlayacaklarını düşündüğüm çocuklarım **Azra Gönül GÜRSOY** ve **Metin Kasım GÜRSOY**'a;

Beni her zaman yüreklendirmiş olan meslek üstadım, iş arkadaşım Baş Hesap Uzmanı **İsmet Levent ÜNLÜ**'ye;

Ve son olarak, her zaman yanımda, maddi ve manevi olarak destek olan, fedakarlığını hep hissettiğim saygıdeğer eşim **Nezaket GÜRSOY**'a;

Teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

GÜRSOY Hakan, *Bankaların Kredi Tahsilat Operasyonlarının Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemleri İle Optimize Edilmesi*, Doktora Tezi, Ankara, 2023.

Bankacılık sektörü modern ekonomilerin en önemli sektörlerinden birisidir. Tasarruf sahipleri ve yatırım yapanlar arasında fonların aktarılmasına aracılık eden bu sektör, ekonomilerin modern dönemde, daha önceki dönemlere göre daha yüksek büyüme oranlarına sahip olmasının temel nedeni olarak görülür. Bu sektörün daha sağlıklı işleyebilmesi için, sektörün alacaklarını tam ve vaktinde tahsil etmesi hayati önemi haizdir. Bankaların tam ve vaktinde tahsil edemedikleri alacakları gecikmiş alacak olarak bilinir. Gecikmiş alacakların miktarının azaltılması; bankaların, sağlıklı olarak faaliyetlerini sürdürmelerinin temel şartıdır. Gecikmiş alacakların azaltılmasının yolu ise daha kısa sürede ve daha yüksek oranda tahsil edilmeleridir. Bankalar, halihazırda çeşitli yöntemler ile bu tahsilatları artırmaya çalışmaktadır. Her ne kadar bu yöntemlerin bir kısmı sayısal analizi içerse de daha çok bu alanda çalışan personelin tecrübesi ile yürüyen bir süreç mevcuttur. Bu çalışmamızda, bankaların, gecikmiş alacakların tahsilatının artırılması için bir sayısal yöntem önerisi yapılmaktadır. İki aşamadan oluşan bu yöntemin ilk aşamasında güzergah optimizasyonu yöntemleri kullanılarak, borçlarını ödemekte geciken bireysel müşteriler için tek tek aksiyon güzergahları oluşturulmakta; ikinci aşamasında ise bankanın borçlarını ödemekte gecikmiş olan müşterilerinden oluşan gecikmiş alacak havuzunda yer alan bütün müşterilerin aksiyon güzergahlarını bir atama problemini çözülerek süreç optimize edilmektedir. Çalışmamızda ayrıca, problemin dinamik versiyonu için de çözüm önerisi getirilmektedir. Önerdiğimiz çözüm yönteminin her aşaması, veri setleri ve bilgisayar programları kullanılarak analiz edilmektedir. Bu sayede bankaların kendi veri kaynaklarına uyarlayarak, hemen kullanabilecekleri bir yöntem ve yöntemin uygulaması geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Gecikmiş alacaklar, güzergah optimizasyonu, karışık tam sayı programlama, finans sisteminde optimizasyon

ABSTRACT

GÜRSOY Hakan, *Optimization Of Banks Credit Collection Operations By Using Multicriteria Optimization Methods*, PhD Thesis, Ankara, 2023.

The banking sector is one of the most important sectors in modern economies. Acting as an intermediary in the transfer of funds between savers and investors, this sector is considered the key driver behind the higher growth rates of economies in the modern era compared to earlier periods. For this sector to function more effectively, it is vital for it to fully and timely collect its receivables. The receivables that banks fail to collect in a timely manner are known as Non-Performing Loans (NPL). Reducing the amount of NPL is a fundamental requirement for banks to sustain healthy operations. The key to reducing NPL lies in collecting them in a shorter period and at a higher rate. Banks are already employing various methods to increase their collections. While some of these methods involve quantitative analysis, the process largely relies on the experience of personnel working in this field. In this study, a numerical method is proposed for banks to enhance the collection of NPL. This method, consisting of two stages, utilizes path optimization techniques to create individual action paths for customers who are delayed in repaying their debts in the first stage. In the second stage, the process is optimized by solving an assignment problem to determine the action paths for all customers in the NPL Pool, consisting of customers who have delayed payments to the bank. Furthermore, our study provides a solution proposal for the dynamic version of the problem. Each stage of the proposed solution method is analyzed using datasets and computer programs. Consequently, a method and its implementation have been developed that banks can adapt to their own data sources and immediately utilize.

Keywords

Non-Performing Loans, Path Optimization, Mixed Integer Programming, Optimization in Financial System

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
MODEL LİSTESİ.....	xi
GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM: BANKACILIK SİSTEMİ VE GECİKMIŞ ALACAKLAR.....	3
1.1. BANKACILIK SİSTEMİ:	3
1.1.1. Türkiye Bankacılık Tarihi.....	3
1.1.2. Bankacılığın Mevcut Durumu.....	18
1.1.3. Bankacılığın Tabi Olduğu Mevzuat.....	19
1.2. GECIKMIŞ ALACAKLAR.....	19
1.2.1. Gecikmiş Alacaklara İlişkin Mevzuat	20
1.2.2. Gecikmiş Alacaklara İlişkin Bir Örnek.....	43
2. BÖLÜM: GÜZERGAH OPTİMİZASYON PROBLEMLERİ.....	49
2.1. EN KISA YOL PROBLEMI (EKYP).....	49
2.1.1. Genel Olarak En Kısa Yol Problemi	49
2.1.2. İki Kriterli En Kısa Yol Problemi.....	52
2.1.3. Minsum-Minmax Çok Kriterli En Kısa Yol Problemi	79
2.2. EN UZUN YOL PROBLEMI.....	87
2.2.1. Genel Olarak En Uzun Yol Problemi	87
2.2.2. İki Kriterli En Uzun Yol Problemi.....	92
2.2.3. İki Kriterli Maxsum-Minmax En Uzun Yol Problemi.....	95
3. BÖLÜM: TAHSİLAT PROBLEMİNE ÇÖZÜM ÖNERİSİ.....	99
3.1. ÇÖZÜM AŞAMALARI.....	99
3.2. TAHSİLAT PROBLEMİNİN ÇOK KRİTERLİ GÜZERGAH OPTİMİZASYONU PROBLEMI OLARAK ELE ALINMASI	100

3.2.1.	Problemin Tanımlanması	100
3.2.2.	Problemin Genel Çerçevesi	103
3.2.3.	İki Kriterli Güzergah Optimizasyonu Probleminin Çözümü	109
3.3.	KARMAŞIK TAM SAYI PROGRAMLAMASI İLE MÜŞTERİ HAVUZUNUN OPTİMİZE EDİLMESİ	112
4.	BÖLÜM: STATİK, DİNAMİK (SİMÜLASYON) VE SENARYO ANALİZLERİ ÇERÇEVESİNDE UYGULAMA.....	116
4.1.	UYGULAMA AŞAMALARI VE UYGULAMA ÇERÇEVESİ	116
4.2.	STATİK ANALİZ	124
4.3.	SİMÜLASYON (DİNAMİK ANALİZ).....	126
4.3.1.	Kısıtların Yeterliliği	130
4.3.2.	Havuzda Yer Alan Müşterilerin Uzun Dönem Sayıları	131
4.4.	SENARYO ANALİZİ	132
4.4.1.	Çağrı Merkezi Senaryoları	133
4.4.2.	Tahsilatın Acil Olarak Hızlandırılmak İstenilmesi	134
4.4.3.	Aksiyonların Bir Kısımının Dışarıdan Paket Şeklinde Temin Edilmesi .	136
4.5.	DEĞERLENDİRME	137
	SONUÇ	139
	KAYNAKÇA.....	142
	EK 1. ORJİNALLİK RAPORU.....	153
	EK 2. ETİK KURUL/KOMİSYON İZİNİ YA DA MUAFİYET FORMU.....	155
	EK 3. MAXSUM-MINMAX PROGRAMININ KAYNAK KODU:.....	156
	EK 4. SİMÜLASYON OPTİMİZASYONU KAYNAK KODU	160

TABLO LİSTESİ

Tablo 1-Kredilerin Sınıflandırılması ve ayrılacak karşılık tutarı (TFRS 9 uygulanan)....	23
Tablo 2- Kredilerin Sınıflandırılması ve ayrılacak karşılık tutarı (TFRS 9 uygulanmayan)	
.....	23
Tablo 3- Standart Yaklaşımda Kullanılan Risk Ağırlıkları	35
Tablo 4 - Güzergah verileri (Kaynak: Gürsoy ve Duman, 2022).....	54
Tablo 5- İki kriterli en kısa yol probleminde çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması (Kaynak- Gürsoy ve Duman, 2022)	58
Tablo 6 - Martins algoritması çözüm süreci (Kaynak: Gürsoy ve Duman, 2022)	63
Tablo 7 - Etiket Düzeltme Algoritması Birleşme Sözde Kodu (Kaynak: Skriver, 2000b)	
.....	67
Tablo 8 - Namoa* Algoritması Sözde Kodu.....	72
Tablo 9 - BOA* algoritması sözde kodu (Kaynak Ulloa v.d., 2020)	74
Tablo 10 - BOA* Çalışma Süreleri.....	76
Tablo 11 - BOA* regresyon sonuç tablosu	78
Tablo 12 - Eşik Algoritması (Minoux, 1989)	81
Tablo 13 - Minsum-Minmax Çözümü İçin Önerdiğimiz Algoritma.....	84
Tablo 14- Minmax Bulma Algoritması.....	85
Tablo 15 - Çok kriterli Minsum-Minmax çözüm algoritması önerisi	87
Tablo 16 - Topolojik Sıralama Algoritması	90
Tablo 17- En uzun yol algoritması	92
Tablo 18 - İki kriterli en uzun yol çözüm algoritması önerisi	95
Tablo 19 - Maxsum-Minmax çözüm algoritma önerisi.....	97
Tablo 20 - Aksiyon tablosu	106
Tablo 21 - Sözde kod.....	111
Tablo 22 - Aksiyon Tablosu	122
Tablo 23- Aksiyon sınırlamaları	123
Tablo 24 - Statik Optimizasyon Çözüm Çıktısı.....	125
Tablo 25- Dinamik Analiz Metodolojisi.....	128
Tablo 26 - Simülasyon Genel Verileri	129
Tablo 27 – Senaryolar.....	133

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 - En kısa yol örneği	49
Şekil 2 - Alternatif Güzergahlar	53
Şekil 3 - Serpme Diyagram	55
Şekil 4 - Dört kriterli çizge	61
Şekil 5 - K en kısa yol için çizge	69
Şekil 6 - Topolojik Sıralama Şekli	91
Şekil 7 - Topolojik sıralanmış çizge	94
Şekil 8 - Problem çözüm metodolojisi.....	99
Şekil 9 - Bireysel alternatif güzergahlar	105
Şekil 10 - Örnek Çizge	107
Şekil 11- Topolojik sıralanmış çizge	110
Şekil 12 - Güzergah Ataması Örneği.....	115
Şekil 13 - Akış Şeması 1	117
Şekil 14- Akış Şeması 2.....	118
Şekil 15 - Akış Şeması 3.....	119
Şekil 16 - Akış Şeması 4.....	120
Şekil 17 - Örnek bir aksiyon güzergahı.....	122
Şekil 18 - Statik Analiz Serpme Diyagramı.....	126
Şekil 19 - Havuzdaki müşteri sayısı grafiği.....	131
Şekil 20 - Havuza giren müşteri sayısı	132
Şekil 21 - Tahsilat Hızlandırma Serpme Diyagramı	135

MODEL LİSTESİ

Model 1- En Kısa Yol Problemi.....	51
Model 2- İki kriterli en kısa yol matematiksel model.....	56
Model 3- Minsum-Minmax İki Kriterli En Kısa Yol Matematiksel Modeli.....	80
Model 4- Çok Kriterli Minsum-Minmax Modeli.....	85
Model 5- En uzun yol matematiksel modeli.....	88
Model 6- İki kriterli en uzun yol matematiksel modeli.....	93
Model 7- Maxsum-Minmax matematiksel model.....	96
Model 8- Bireysel optimizasyon matematiksel model	101
Model 9- Karışık Tam Sayı matematiksel model.....	114
Model 10- Tahsilat Hızlandırma Modeli	135
Model 11- Aksiyon Paketleri Modeli	137

GİRİŞ

Bankalar modern ekonomik sistemin en önemli kuruluşlarındandır. Bankalar, içinde yer aldığı finansal sistemin ise en önemli kuruluşlarıdır. Bankacılık sistemi sayesinde, ekonomide fon ihtiyacı olanlar ile fon biriktirenler, etkin bir şekilde bir araya gelirler. Modern ekonomilerin ulaştığı büyüklüğün önemli bir kısmının bankacılık sisteminin gelişmesinden kaynaklandığı ileri sürülebilir.

Bankacılık sistemi normal şartlar altında fon biriktirenlerin fonlarını mevduat olarak toplar ve fon ihtiyacı olanlara mevduat olarak sağlar. Bu aracılık faaliyeti sayesinde uzun vadeli fon ihtiyaçları, görece kısa vadeli fonlar ile sağlanır. Büyük fon ihtiyaçları, küçük mevduatların bir araya getirilmesi ile tamamlanır. Ancak her zaman işler istenildiği gibi gitmeyebilir. Kullanılan kredilerin bir kısmı vadesinde geri dönmeyebilir. İşte bu durum bankaların bu kredilerde zarar edip, sermayelerini kaybetmelerine neden olabilir. Bu nedenle de bankaların gecikmiş alacaklarını iyi yönetmeleri, yaşamlarını sürdürmeleri açısından zorunludur.

Gecikmiş alacakların yönetimi genellikle bu alanda tecrübeli çalışan ve yöneticilerin kişisel kararları ya da geliştirdikleri metotlar ile yapılmaktadır. Ancak bankacılık sisteminin bu kadar büyüdüğü, işlemlerin hacminin bu kadar arttığı bir ortamda her kararın kişilere bırakılması hem etkin hem de etkili olmayacaktır. Ayrıca bu kararların tamamen kişilere bırakılması, sistemi suiistimale açık hale getirecektir. Bunun diğer bir zararı ise özellikle bankaların kaderlerinin çalışanların eline bırakılmış olmasıdır. Zira bu alandaki tecrübeli çalışanlarını bir şekilde kaybeden bankalar, büyük riskler altında kalacaktır. İşte bu nedenle bu sistemin, mümkün olduğunca yönetim bilimi teknikleri çerçevesinden otomatikleştirilmesi ve kurallara bağlanması önemlidir.

Bu kapsamda daha önceden kural bazlı çalışmalar, küçük müşteri grupları üzerinde yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada ise yöneylem araştırması, yönetim bilimi ve bilgisayar bilimlerinde yer alan teoriler kullanılarak, daha büyük müşteri kümelerinde kullanılabilen ve geliştirilmeye açık bir metot ortaya konulmaktadır. Çalışmamız bu bağlamda yönetim bilimlerinde yer alan metotların bankacılık sistemine uygulanması

açısından bir yenilik ortaya koymaktadır. Ayrıca bu metot geliştirilirken, literatürde yer alan çeşitli metotlarda geliştirmeler yapılmıştır. Bu geliştirmelerden çalışmanın içerisinde ilgili yerlerde bahsedilecektir.

Çalışmamız; bankacılık sistemi ve gecikmiş alacaklara ilişkin olan birinci bölüm ile başlamaktadır. Ardından güzergah optimizasyonu problemi ve buna ilişkin literatürde yer alan metotlar ile bu metotlarda tarafımızca yapılan geliştirmeler ile bu problemin literatürde çalışılmamış alt problemlerine ilişkin olarak tarafımızca yapılan önerilerin yer aldığı ikinci bölüm yer almaktadır. İkinci bölümün ardından tahsilat problemine ilişkin olarak çözüm önerimizin geliştirildiği üçüncü bölüm yer almaktadır. Bu bölümün ardından tahsilat problemine ilişkin çözüm önerimizin uygulamasının yapıldığı dördüncü bölüm yer almaktadır. Sonuç bölümü ile birlikte çalışmamız tamamlanmaktadır.

1. BÖLÜM: BANKACILIK SİSTEMİ VE GECİKMİŞ ALACAKLAR

1.1. BANKACILIK SİSTEMİ:

1.1.1. Türkiye Bankacılık Tarihi

Bankacılık sistemi bir ülkedeki bankaların yer aldığı yapıyı ifade etmektedir. Osmanlıdan günümüze Bankacılık sistemi önemli gelişmeler göstermiş ve dünya finansal sistemindeki uygulamaların ülkemizde de hayata geçirildiği bir yapıya kavuşmuştur.

Türk bankacılığının tarihsel gelişimini Cumhuriyet öncesi ve Cumhuriyet sonrası olmak üzere iki ana başlık altında incelenecektir.

1.1.1.1. Cumhuriyet Öncesi Dönem

Bankacılık sistemi, normal şartlar altında fon biriktirenlerin fonlarını mevduat olarak toplar ve fon ihtiyacı olanlara mevduat olarak sağlanması suretiyle finansman sisteminin bir aktörüdür. Cumhuriyet öncesi dönemde de gerek tüccar ve şahısların gerekse Osmanlı Devleti'nin finansman ihtiyacının karşılanmasına yönelik yapılar hayata geçmiştir. Bu açıdan bakıldığında Osmanlıda bankacılık işlemlerinin başlangıcının Galata Bankerleri de denen Galata bölgesinde faaliyet gösteren sarrafların esnaf ve tüccara kredi vermesi olarak kabul edilebilir.

Bu yapının XVII. yy. sonlarında örgütsel bir yapıya kavuştuğu ve "Sarraflar Gediği" olduğu görülmektedir. Gerek sarrafların ekonomik sisteme entegre edilmesinin sağlanması gerekse para siyasetinde önemli rolü olan sarrafların çalışmalarının düzene sokulması amaçlarıyla Gediği sistemi içinde faaliyet gösterilebilmesi için kurallar belirlenmiş ve mesleğin icrası devlet onayına bağlanmıştır. Bu tür olgular para trafiğinin bir sistematığa oturtulması ve tarafların güvence altına alınmasına yönelik düzenleyici mekanizmaların oluşturulmasının temellerine de örnek gösterilebilecektir. Ayrıca, sistem içerisinde faaliyet göstermesi uygun görülen sarrafa verilen "gedik" belgesinin de günümüz bankacılık faaliyet izninin atası olduğu da söylenebilir. Sarraflar gediği sisteminde geçerli olan borç verme usulleri, borcun geri tahsiline ilişkin düzenlemeler, borcun tahsilinin teminat altına alınmasına ilişkin hususlar da günümüz bankacılığı ile benzerlik arz etmektedir. Sistemde kredi verilirken "Temessük" denilen borcun tarafı, tutarı ve vadesini

koyan bir nevi kredi kullanım sözleşmesi düzenlenmekte ve borç yazılı bir belgeye dönüştürülmektedir. Ayrıca borcun geri tahsilinin kolaylaştırılması ve garanti altına alınması amacıyla kredinin şahitler huzurunda verilmesi, kefalet verilmesi, teminat gösterilmesi de sistemde görülen uygulamalar arasındadır. (Köse,2016) Galata Sarrafları ya da diğer bir adıyla Galata Bankerleri zaman içinde ticaret hayatında önemli bir yer edinmiş ve Osmanlı Devleti'ne de borç verir bir yapıya dönüşmüştür. Galata Sarraflarının banka olarak faaliyet göstermeleri 1847 yılında kurulan Bank-ı Dersaadet (İstanbul Bankası) ile başlamıştır. (Kaya ve Çöllü, 2020) Osmanlı Devleti'nin ilk resmi bankası olan Dersaadet Bankası Alleon ve Baltazzi adlı bankerlerin ortaklığıyla 1847 yılında kurulmuştur. (Çalışkan v.d., 2021) Bankanın sermayesi 250.000 kuruş olup bunun %40'ı Osmanlı Devleti, kalan %60'lık kısmı ise Jacques Alleon ve Emmanuel Baltazzi tarafından karşılanmıştır. (Ortabağ, 2018) Banka, kredi verme, mevduat toplama gibi bankacılık hizmetlerinin yanı sıra kur sabitleme politikası da yürütmüş ve 1851 yılına kadar belirli bir komisyon karşılığında sterlin-kuruş paritesini sabit tutmuştur. Osmanlı Devleti'ne verilen büyük boyutlu avansların vadesinde ödenmemesi bankayı ekonomik açıdan olumsuz etkilemiş, Banka, 1852 yılında kapanmıştır. (Erdinç, 2021)

Osmanlı Devleti'nde bankacılık sisteminin devreye girmesi, yabancı sermayeli bankaların kurulmasının yanı sıra yerel halkın finansman ihtiyacının sağlanması, daha dar kapsamlı destekleme mekanizmaları da uygulamaya konulmuştur. İslam hukukunda faizin uygun olmaması göz önünde bulundurularak oluşturulan Para Vakıfları ve Ahilik Sandıkları, Lonca teşkilatlarının sandıkları ve 1863 yılında Mithat Paşa tarafından kurulan Memleket Sandıkları ve Emniyet Sandıkları bunların örnekleridir. (Uluyol, 2018a) Para Vakıfları, Ahilik ve Lonca teşkilatı sandıklarının üyelerin kendi içlerinde bir yardımlaşma ve finansman sistemi olarak şekillendiği görülmektedir. Diğer taraftan Memleket Sandıkları ve Emniyet Sandıklarında devletin de sistemin içerisinde yer aldığı görülmektedir. Mithat Paşa tarafından kurulan İstanbul Emniyet Sandığı, halkın tasarruflarını toplamak ve saklamak ve ihtiyaç sahiplerinin faydasına sunulması amacıyla oluşturulmuştur. Keza yine Mithat Paşa tarafından kurulan ve Ziraat Bankasının temellerini oluşturan Memleket Sandıkları, Çiftçinin finansman ihtiyacının devlet kontrolü altında, ilk dönemler imece usulüyle sonrasında her çiftçinin gücü oranında sandığa buğday vermeleri ve bunun sandığa gelir elde edilmesi için kullanılması prensibi üzerine inşa edilmiştir. Kurulan Sandıkların faaliyetleri ekonomik açıdan faydalı çözümler üretmiş bunun sonucu olarak 1867 yılında Memleket Sandıkları Nizamnamesi yayınlanarak sandıkların ülke genelinde uygulanmasına başlanmıştır.

1883 yılında imece usulü bırakılmış, sandık faaliyetleri yeniden düzenlenerek Menafi Sandıkları olarak faaliyet göstermeye başlamıştır. (Erdinç, 2021) 1888 yılında Menafi Sandıkları faaliyetleri sonlandırılmış Ziraat Bankası kurulmuştur. Sermayesi Menafi Sandıklarının alacaklarından oluşan Ziraat Bankası ilk Osmanlı devlet bankasıdır. (Yetiz, 2016) İstanbul Emniyet Sandığı da Menafi Sandıkları gibi sonradan Ziraat Bankasına devredilmiştir. (Uluyol, 2018a)

Tanzimat Dönemiyle başlayan Osmanlı Devleti'nde bankacılık faaliyetleri; gelir gider dengesinin bozulması ve ardından Kırım Savaşının başlaması ile büyük ekonomik sorunların baş göstermesi, harcamaların finansmanı için dış borçlara başvurulması gibi sebeplerle ivme kazanmıştır. Osmanlı Devleti, borçlanmada Galata bankerlerine alternatif oluşturmak ve böylelikle daha uygun koşullu kredi bulmak, yabancı sermayedarların katılımıyla Avrupa finans piyasasına dahil olunmasıyla uzun vadeli borçlanmalarla altyapı yatırımlarını gerçekleştirme, vergi gelirlerinin tek merkezde toplanması ve bu sayede harcamaların bir kaynaktan yapılabilmesinin sağlanması ve bankaya verilecek görevlerle mali yapının ve maliye idaresinin yeniden şekillendirilmesi gibi amaçlara hizmet etmek üzere milli bir banka kurulması için çalışmalara başlanmıştır. (Apak ve Tay, 2012) 1856 yılında dış borçların temini ve ödenmesi konusunda aracılık etmesi amacıyla, İngiliz sermayesiyle Osmanlı Bankası (Ottoman Bank / Bank-ı Osmani) kurulmuştur. (Uluyol, 2018a) Osmanlı Devleti'nde bankacılığın 1856 yılında kurulan Osmanlı Bankası ile başladığı kabul edilmektedir. (Yetiz, 2016) Aradan geçen zaman içerisinde Milli bir banka kurulması düşüncesi şekillenmiş gerek finans sektöründe ihtiyaç duyulan reformların hayata geçirilmesi gerek merkez bankası gerekse bir ticaret bankası gibi faaliyet gösterecek bir bankanın teşkil edilmesi amacıyla arayışlar içine girilmiştir. Fransız ve İngiliz finans kuruluşları, Osmanlı Bankası ve yapılan görüşmeler neticesinde imtiyaz sözleşmesi 4 Şubat 1863 tarihinde Sultan Abdülaziz tarafından onaylanarak Bank-ı Osmani-i Şahane kurulmuştur. Milli Banka olma imtiyazına sahip Banka, Osmanlı bankacılık sektörünün ana kuruluşlarından biri olmuş, Osmanlı Devleti'nin sona ermesinden sonra Cumhuriyet Döneminde de faaliyetine devam etmiştir. Osmanlı Bankasının faaliyete geçmesi ile devletin finans sektöründe ihtiyaç duyduğu reformlardan biri daha hayata geçmiş ve bankacılık sektöründe yeni bir dönem başlamıştır. (Ortabağ, 2018) Yabancı sermaye ile kurulan Banka, kağıt para ihracı ve parasal istikrar sağlanması yönündeki görevleri çerçevesinde milli bir banka hüviyetine kavuşmuştur. (Uluyol, 2018) Bank-ı Osmani-i Şahane'nin kurulmasından sonra birçok yabancı sermayeli banka kurma girişimi gerçekleşmiş bunların bazıları hayata geçerken

bazısı, yaşanan olumsuzluklar sonucunda faaliyete başlamadan sona ermiştir. Kimisi de hayata geçmesine rağmen çok kısa ömürlü olmuştur. Bu bankalar, büyük sermayeli olmayan, faaliyet alanları kambiyo işlemleri, simsarlık/komisyonculuk ve borsa işlemleri olan kurumlardı. (Ortabağ, 2018)

Osmanlı Devleti'nin dış borçlarının giderek artması ve gelir kaynaklarının borcu karşılamakta yetersiz kalması neticesinde bütçe dengesi telafi edilemez bir biçimde bozulmuş ve sonucunda 30 Ekim 1875 tarihli Ramazan Kanunnamesi ile moratoryum ilan edilmiştir. Nisan 1876 tarihinden sonra ise borç geri ödemeleri tamamen durdurulmuştur. (Adiloğlu ve Yücel, 2021) Moratoryum ilanının ardından çalışmamızın da konusunu teşkil eden gecikmiş alacakların tahsiline ilişkin düzenlemeler yapılmıştır. Bunların ilki 1879 yılında kurulan Rüşum-i Sitte İdaresi'dir. 1879-1880 yılları arasında faaliyet gösteren bu İdare aracılığıyla, Galata Bankerlerine olan iç borçların ödenmesi amaçlanmıştır. (Can, 2021) İdarenin kuruluşuna ilişkin anlaşma çerçevesinde Osmanlı Devleti, tuz, ipek, içki, balık avı, tütün ve damga vergisi gelirlerinin bir bölümünü geçici bir süreliğine İdareye bırakmıştır. İdare yönetimi kendilerine bırakılan vergileri toplamış, anlaşma ile belirlenen oran kadar kısmını alacakları için tutmuş, kalan tahsilatı ise Hükümet'e teslim etmiştir. (Sağlam, 2011)

İç borçların ödenmesi için yöntem geliştirilmesinin ardından dış borçların ödenmesi için de bir mekanizma kurulması ihtiyacı ortaya çıkmış ve Osmanlı Devleti ve yabancı alacaklılar arasında 1881 yılında varılan anlaşma çerçevesinde Duyun-u Umumiye İdaresi kurulmuştur. (Kartopu, 2012) 1881 Muharrem Kararnamesi ile kurulan İdare, yabancı finans kurumlarınca Osmanlı Devleti'ne açılan ancak vadesinde ödenmeyen kredilerin tahsili sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Kredi borçlarının bir bölümünün silinmesini de içeren anlaşma çerçevesinde Osmanlı Devleti'nin gelir kaynaklarının denetimi ve borçlarının yönetimi İdare tarafından yürütülmüştür. (Yılmaz, 2007)

1.1.1.2. Cumhuriyet Dönemi

Cumhuriyetin ilanı ile birlikte ekonomik hayat Osmanlı Devletinden alınan mirasın üzerine inşa edilmeye başlanmıştır. Bankacılık sektörünün yapısal dönüşümü için çalışmalar yürütülmüş, sektörün yabancı sermaye odaklı yapısının değiştirilmesi için çaba sarf edilmiştir. Ekonomik yapının yeniden şekillendirilmesi için ilk olarak 1923 yılında İzmir İktisat Kongresi tertip edilmiştir. Kongrede ülke gelişimi açısından milli bir

kredi verme kurulmasının önemi görüşülmüş ve buradan hareketle milli bankaların kurulması çalışmalarına başlanmıştır. (Kaya ve Çöllü, 2020) Diğer taraftan Kongre’de ayrıca, büyük ekonomik zorluklar geçiren özel kesimin banka kurmak için yeterli sermayeye sahip olmadığı görüşülmüş ve devletin banka kuruluşunda yer alması gerektiği ifade edilmiştir. (Yetiz, 2016)

1.1.1.3. Milli Bankalar Dönemi (1923-1933)

Cumhuriyetin ilan edildiği 1923 yılında, Türkiye’de 22 tanesi ulusal, 13 tanesi yabancı olmak üzere toplam 35 banka faaliyet gösterdiği görülmektedir. (Yetiz, 2016) Ülke ekonomisinde ana unsur tarım sektörüdür. Bu çerçevede tarım sektörünün güçlendirilmesi ve finans olanaklarının artırılması önem arz etmiştir. Bu amaçla kurulan ve Osmanlı Devletinden miras kalan Ziraat Bankasının sermayesi artırılarak yapısı güçlendirilmiştir. İzmir İktisat Kongresinde görüş birliğine varılan milli ticaret ve sanayi bankaları kurulması ihtiyacı çerçevesinde yeni bankaların kurulması için hazırlıklara başlanmıştır. Bu kapsamda Cumhuriyet Döneminin sermayesinin tamamı özel kesim tarafından karşılanan ilk ulusal bankası olan Türkiye İş Bankası 1924 yılında faaliyete geçmiştir. (Durer, 1982) Bankanın kuruluş sözleşmesinde her türlü bankacılık işleminin yürütülmesinin yanı sıra ülkenin genel kalkınma planlaması ile uyumlu bir biçimde tarım, sanayi, madencilik, bayındırlık, nakliyecilik, sigortacılık, turizm ve ihracat gibi birçok alanda faaliyet gösterecek teşebbüslerde bulunulması da düzenlenmiştir. Türkiye İş Bankası 1 milyon lira yerli sermaye ile kurulmuş, sermayenin 250 bin lirası, Kurtuluş Savaşı sırasında Hindistan’daki Müslümanlarca gönderilen paradan Gazi Mustafa Kemal Atatürk tarafından karşılanmıştır. (Bozoklu, 2003) (İşbank web sitesi) Banka 4 yıl içinde Anadolu’nun çeşitli illerini de kapsayacak şekilde şube sayısını 27’ye çıkarmış, İtibarı Milli Bankası ile birleşerek sermayesini 4 milyon lira seviyesine yükseltmiştir. (Erdinç, 2021) Türkiye İş Bankası amaçlandığı şekilde, ülkenin ekonomik olarak kalkınmasına sanayi alanında ilerlemesine büyük katkı sağladığı gibi yurt çapında tasarruf kültürünün gelişmesi ve yerleşmesi için ikramiye ve kumbara sistemini uygulamaya koyan bir banka olmuştur. (Bozoklu, 2003) Banka, milli iktisat hamlesi çerçevesinde iştirakleri vasıtasıyla kalkınmaya destek olmuştur. Banka, Anadolu Anonim Türk Sigorta Şirketi, Milli Reasürans T.A.Ş., Ankara Sigorta T.A.Ş. kuruluşları ile sigortacılık sektöründe, Maden İşleri T.A.Ş., Kozlu Kömür İşleri T.A.Ş., Ergani Bakır T.A.Ş. ile madencilik sektöründe, Bursa Dokumacılık ve Trikotaj T.A.Ş., Ankara Mensucat Fabrikası T.A.Ş., Malatya Bez ve İplik Fabrikası T.A.Ş. ile dokumacılık sektöründe, İstanbul ve Trakya Şeker Fabrikaları

T.A.Ş., Anadolu Şeker Fabrikaları T.A.Ş., Turhal Şeker Fabrikası T.A.Ş. ile tarımsal sanayileşme, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları T.A.Ş. ile cam sektöründe faaliyette bulunmuştur. (Erdinç, 2021)

1924 yılında TBMM’de kabul edilen “Ziraat Bankası Kanunu” ile daha önce sermaye artırımı yapılarak yapısı güçlendirilen Ziraat Bankası yeniden yapılandırılmıştır. Yeni kanunla Banka özel hukuk hükümlerine tabi bir Anonim Şirket olarak yeniden düzenlenmiş, her türlü bankacılık işlemini yapmaya yetkili kılınmıştır. Böylelikle Banka sadece zirai alanlarda kredi vermekle görevli bir kredi kuruluşu olmanın ötesine geçmiş, kalkınmanın ve tarımsal sanayileşmenin öncülerinden olmuştur. (Bozoklu, 2003) 1925 yılında ise devlet eliyle, sanayi alanında kurulmuş olan şirketleri işletmek, ulusal sanayinin gelişmesine katkıda bulunacak girişimlerde bulunmak amaçlarıyla ilk kalkınma bankası olan Türkiye Sanayi ve Maadin Bankası kurulmuştur. (Durer, 1982) Banka kaynak yetersizliği nedeniyle 1932 yılında, Devlet Sanayi Ofisine ve Sanayi Kredi Bankası’na devredilmiştir. (Kaya ve Çöllü, 2020)

Yapı stokunun artırılması, inşaat işlerinin desteklenmesi amacıyla yine devlet eliyle Emlak ve Eytam Bankası 1927 yılında faaliyete geçirilmiştir. (Durer, 1982) Yetimlere düşük faizli kredi verilmesi amacıyla oluşturulan Yetim Sandıklarında biriken para, uzun vadeli mevduat olarak bu Bankaya yatırılmış ve böylelikle ülkenin inşai olarak yenilenmesi için ihtiyaç duyulan fon oluşturulmuştur. Bu bankayı diğer milli bankalardan ayıran en önemli fark, sahip olunan gayrimenkullerin teminat gösterilmesi suretiyle kredi verilmesine imkan sağlayan yapısıdır. (Bozoklu, 2003) Banka daha sonra 1946 yılında Emlak ve Kredi Bankasına dönüştürülmüştür. (Kaya ve Çöllü, 2020)

Milli bankacılık açısından önemli dönüm noktalarından olan, kurulması gerekliliği İzmir İktisat Kongresinde de gündeme gelen Merkez Bankası 1930 yılında kurulmuştur. Osmanlı Devleti döneminde merkez bankası imtiyazları verilen Osmanlı Bankası’nın olumsuz girişimlerine rağmen Cumhuriyet yönetiminin kararlı tutumuyla hazine işlemlerini yapmak, milli para politikasını hayata geçirmek, banknot ihraç etmek, kredilerin düzenlenmesi, iskonto oranının belirlenmesi, Türk parasının istikrarının sağlanması amaçlarıyla 11 Haziran 1930 tarihli 1715 sayılı yasa ile Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası kurulmuştur. T.C Merkez Bankası hisseleri 4 ana gruba ayrılmış ve hisseler hazine, milli bankalar, milli bankalar dışındaki bankalar ve Türk Ticaret Kurumları

ve Türk vatandaşlarına pay verilmiştir. 15 milyon TL sermaye ile kurulan Merkez Bankasında Hazine'ye ait olan hisseler A sınıfı, Milli Bankalara ayrılan hisseler B sınıfı, Milli Bankalar dışındaki Bankalara ayrılan C sınıfı hisseler, Türk Ticaret Kurumları ve Türk vatandaşlarına ayrılan hisseler D sınıfı olarak düzenlenmiştir. Uygulayacağı politikalarda Bankanın bağımsız yapısının güçlendirilmesi amacıyla A sınıfı hisselerin payı toplam sermayenin %15'i ile sınırlandırılmıştır. Merkez Bankası'nın özel mevduat işlemleri yapmasına izin verilmemiş, Hazine ve İhisar İdaresi kaynaklarının ise Merkez Bankasında mevduat olarak tutulması düzenlenmiştir. Ayrıca Bankanın, Merkez Bankacılığı dışında bankacılık faaliyetleri yürütmesine izin verilmemiş böylelikle Bankanın tezimizde de konusunu oluşturan risklerden korunması amaçlanmıştır. (Kazgan, 1996)

1.1.1.4. Kamu Bankaları Dönemi (1933-1945)

1929 yılında Dünya çapında yaşanan büyük ekonomik buhranın etkileri ülkemizde de görülmüş cumhuriyetin ilanı ile başlayan özel kesim ağırlıklı liberal politikalar yerini devletçilik ilkesi çerçevesinde faaliyetlere bırakmıştır. (Durer, 1982) Ayrıca Osmanlı Devletinden miras alınan dış borçların 1929 yılında ödenmeye başlanması zaten, zorluklar içinde olan milli ekonominin daha da bozulması sonucunu ortaya çıkarmıştır. (Aktan, 1998) Devletçilik politikasının ekonominin her alanında görülmesinin başlıca sebepleri arasında, özel sektörün birikimi ve sermaye yapısının köklü bir değişimi destekleyecek seviyede olmaması bulunmaktadır. Bu ekonomik konjonktürde devletin piyasada düzenleyici ve planlayıcı olarak faaliyette bulunması, özel teşebbüslerin ekonomide var olmasını, faaliyet yürütebilmesini sağlayacak alt yapı yatırımlarını yapması bir gereklilik haline gelmiştir. Devletçilik ilkesi Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK'ün ifadesiyle "*Devletçiliğin bizce manası şudur: fertlerin hususi teşebbüslerini ve faaliyetlerini esas tutmak, fakat büyük bir milletin bütün ihtiyaçlarını ve birçok şeylerin yapılmadığını gözönünde tutarak, memleketin iktisadiyatını devletin eline almak. Bizim takip ettiğimiz yol, görüldüğü gibi liberalizmden başka bir sistemdir.*" Şeklinde tanımlanmaktadır. (Yılmaz, 2007) Bu görüşten hareketle öncelikle kalkınmaya esas teşkil etmek üzere yabancı uzmanların da katkılarıyla yapılması gerekenler bir Rapor haline getirilmiş ve içinde bulunulan zorlu ekonomik koşullarda yetersiz olan kaynakların en verimli nasıl kullanılabileceğine ilişkin olarak Birinci Beş Yıllık Sanayi Planı hazırlanmıştır. 1932 yılında hazırlanan planın uygulanmasına ilişkin hazırlıklar yürütülmüş ve 1934 yılında uygulamaya başlanmıştır. (Bozoklu, 2003) Planda öncelikle

un, şeker, pamuk üretimi gibi ithalata bağımlı olunan ürünlerin yerli üretimi ile petrol, kömür, demir gibi ülkenin doğal kaynakları kaynaklı sanayileşmenin hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. (Yılmaz, 2007) Projelerin %5'nin İş Bankası, geri kalanının ise Sümerbank tarafından gerçekleştirilmesi planlanmıştır. (Eşiyok, 2009)

Planlama çerçevesinde belirlenen sektörlerin desteklenmesi amacıyla büyük devlet bankaları kurulmuştur. Devlet Sanayi Ofisi ve Sanayi Kredi Bankası faaliyetleri sonlandırılarak, sınıai kalkınma hedeflerini desteklemek üzere 1933 yılında Sümerbank kurulmuştur. Beş Yıllık Sanayi Planı kapsamında hayata geçirilmesi öngörülen projelerin %95'nin Sümerbank tarafından gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Sümerbank, daha önce Devlet Sanayi Ofisi tarafından işletilen sınıai tesisleri işletmeye devam etmenin yanı sıra 13 yeni sınıai tesisi faaliyete geçirerek planın hayata geçirilmesinin en temel aktörlerinden olmuştur. (Eşiyok, 2009) 1933 yılında kabul edilen bir diğer kanunla, yerel yönetimleri kalkındırmak, şehir imar planlarını hazırlamak, su, elektrik-havagazı kanalizasyon gibi altyapı hizmetlerini fonlamak üzere Belediyeler Bankası kurulmuştur. Belediyeler Bankası 1945 yılında İller Bankasına dönüştürülmüştür. (Durer, 1982) 1935 yılında memleketin yer altı kaynaklarının çıkarılması, işlenmesi ve satışa sunulması, elektrik üretim santrallerinin hayata geçirilmesi amacıyla Etibank kurulmuş ve Bankanın yalnızca kendi iştirakleri veya kurduğu işletmelere kredi verebileceği düzenlenmiştir. (Bozoklu, 2003) 1937 yılında ise deniz taşımacılığını güçlendirmek, düzenli seferlerin yapılmasını desteklemek amacıyla Denizbank kurulmuştur. Devlet Bankacılığında küçük esnaf ve zanaatkarlar da göz ardı edilmemiş, bu kesimin finansman ihtiyacının karşılanması amacıyla 1938 yılında Halk Bankası hayata geçirilmiştir. (Yetiz, 2016)

Bu dönemde Bankacılık alanında mevzuat düzenlemeleri de kabul edilmiş ve sistemin düzenlenmesi için gerekli altyapı oluşturulmuştur. 1933 yılında çıkarılan 2243 sayılı Mevduatı Koruma Kanunu, 2279 sayılı Ödünç Para Verme İşleri Kanunu ve 2999 sayılı Bankalar Kanunu bu dönemde çıkarılmıştır. (Durer, 1982) Bu mevzuata çalışmamızın bir sonraki bölümünde yeniden değinilecektir.

1.1.1.5. Özel Bankalar Dönemi (1945-1960)

2. Dünya Savaşının yarattığı olumsuz ekonomik koşullar, Bankacılık sektörünü de etkilemiş 1938 ila 1944 yılları arasında durgun bir seyir gözlenmiştir. 1944 yılında Yapı Kredi Bankasının faaliyete geçmesi ile sektör yeniden canlanmaya başlamış ve 2. Dünya

Savaşın sona erdiği 1945 yılından itibaren devlet desteği olmayan özel teşebbüslerce kurulan bankaların hayata geçtiği görülmüştür. (Durer, 1982)

Uygulanan kalkınma politikaları etkisini göstermiş, sanayi üretimi ve özel teşebbüsler ekonomik hayatta yer almaya başlamıştır. Özel teşebbüslerin var olmaya başlaması ile büyüme ve büyüme için finansman arayışları artmıştır. Kredi piyasasındaki canlılık Bankacılık sektörünü de etkilemiş, ortaya çıkan kredi pazarı özel bankacılığın gelişmesinde büyük rol oynamıştır. 1944-1960 döneminde birçok özel bankanın kurulduğu görülmüştür. (Yetiz, 2016) 1944'te kurulan Yapı ve Kredi Bankası'nın ardından 1946'da Garanti Bankası, 1948'de Akbank, Türkiye Kredi Bankası ve Tutumbank, 1955'te Pamukbank; 1950'de Türkiye Sınai Kalkınma Bankası; 1952'de Doğubank; 1953'te İstanbul Bankası ve Türk Express Bank; 1954'te Şekerbank, Vakıflar Bankası ve Yapı Bankası; 1955'te İşçi ve Kredi Bankası, Turizm Bankası, Pamukbank ve Buğday Bankası; 1956'da Raybank; 1957'de Tümsübank ile Esnaf ve Kredi Bankası; 1958'de Sanayi Bankası, Çaybank, ve Maden Kredi Bankası; 1959'da Türkiye Öğretmenler Bankası faaliyete geçmiştir. (Kaya ve Çöllü, 2020, Altay, 2010) Bu bankalardan Türkiye Sınai Kalkınma Bankası mevduat kabul etmeyen yapısı ile diğer bankalardan ayrılmıştır. Bu dönemde yapılan bir düzenleme ile 1935 yılında kurulan ve yalnızca kendi kurduğu veya iştiraki olan şirketlere kredi verebileceği düzenlenen Etibank'ın faaliyet alanı yeniden düzenlenmiş ve herkese kredi verebilen bir ticaret bankası haline dönüştürülmüştür. (Durer, 1982)

Bu dönemde, 2999 sayılı Bankalar Kanunu'nda görülen eksiklikler çerçevesinde revizyonlara gidilmiş ve 1958 tarih ve 7129 sayılı Bankalar Kanunu yürürlüğe konulmuştur. Aynı yılda Bankalar Birliği kurulmuş ve sektörün tek çatı altında temsil edilmesine başlanmıştır. (Şeyhoğlu, 2009) 2006/10681 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı eki Bankalar Birliği Statüsünde Birliğin kuruluş amacı "*Serbest piyasa ekonomisi ve tam rekabet ilkeleri çerçevesinde, bankacılık düzenleme ilke ve kuralları doğrultusunda bankaların hak ve menfaatlerini savunmak, bankacılık sisteminin büyümesi, sağlıklı olarak çalışması ve bankacılık mesleğinin gelişmesi, rekabet gücünün artırılması amacıyla çalışmalar yapmak, rekabetçi bir ortamın yaratılması ve haksız rekabetin*

önlenmesi için gerekli kararları almak/alınmasını sağlamak, uygulamak ve uygulanmasını talep etmek" olarak düzenlenmiştir¹.

1.1.1.6. Planlı Dönem (1960-1980)

Milli kalkınma hamlesi ile Türkiye ekonomisinde görülen büyüme hamlesi gittikçe istikrarsız bir hal almış, dış ticaret açıkları büyümüş üretimde gerileme yaşanmıştır. Piyasada görülen fazla para arzı sonucunda enflasyon ortaya çıkmış ekonomik sorunlar yaşanmaya başlanmıştır. (Kaya ve Çöllü, 2020)1958 İstikrar Paketi devreye alınmış ancak sorunları ortadan kaldırmakta yetersiz kalmıştır. Liberal ekonomi modelinin ortaya çıkardığı istikrarsız piyasa koşullarının ortadan kaldırılması amacıyla üretime yeniden devlet müdahalesine başlanmış devlet-özel sektör katımlı ekonomi modeline geçilmiştir. (Keskin v.d., 2008) 1960 yılında yaşanan askeri darbe ile beraber "Sosyal Devlet" anlayışı Anayasaya girmiş, kaynaklar bu anlayışa uygun politikaların yürütülmesi için yönlendirilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda ilk milli kalkınma hamlesinde olduğu gibi sosyal devlet anlayışına hizmet edecek alanlara öncelik verilme ihtiyacı yeniden planlı bir dönemin başlamasına yol açmıştır. (Altay, 2010) 1963 yılında yayınlanan 1. Kalkınma Planı ile başlayan planlı kalkınma döneminde ithal edilen malların yerine muadil yerli ürünlerin üretimi anlamına gelen ithal ikameci sanayileşme politikaları devreye sokulmuştur. Kalkınma planları beşer yıllık dönemler için hazırlanmış ve her bir kalkınma planı ile öncelikli sanayi alanları belirlenerek bu sektörlerin finansman ihtiyacının düşük maliyetle karşılanabilmesi için bu sektörlerle verilecek kredilerde düşük faiz politikası izlenmiştir. Ayrıca hedef sektörlerin ihtiyaç duyduğu ithal hammaddelerin daha ucuz teminine uygun döviz kurları belirlenmiştir. (Keskin v.d., 2008) İthal ikameci politikalar sırasında ekonomi ana unsurlarıyla devlet tarafından domine edilmiş ve faiz oranları ve döviz kurları devlet tarafından belirlenmiştir. Devletin ekonomi üzerindeki düzenleyici gücü Bankacılık sektörünü de etkilemiş, Bankalarca uygulanacak kredi faizleri ve bankaların kullanılabilecekleri kredi miktarları Devlet tarafından belirlenmiştir. (Coşkun v.d., 2012) Devletin Bankacılık sektörüne müdahalesi bunlarla sınırlı kalmamış, Esnaf ve Kredi Bankası, T. Birleşik Tasarruf ve Kredi Bankası, Doğubank, Tutum Bankası ve

¹ (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/07/20060717-1.htm>) Erişim tarihi : 14.04.2023

Sanayi Bankası tasfiye edilmiştir. (Kaya ve Çöllü, 2020) Planlarla uyumlu bir biçimde yatırımların finanse edilmesi amacıyla Bankacılık sektöründe yatırım bankacılığına önem verilmiştir. Bu kapsamda 1962 yılında Turizm Bankası, 1963 yılında Sınai Yatırım ve Kredi Bankası, 1964 yılında Devlet Yatırım Bankası, 1968 yılında Türkiye Maden Bankası, 1976 yılında Devlet Sanayi ve İşçi Yatırım Bankası olmak üzere 5 yeni yatırım bankası kurulmuştur. Planlı dönemde piyasada çok fazla ticaret bankası olduğu değerlendirilmiş ve istisnai haller haricinde yeni ticari banka açılışına izin verilmemiştir. Bu dönemde ticaret bankası olarak sadece 1964 yılında Bank of America ile Banca d'America d'Italiana ortaklığında Amerikan-Türk Dış Ticaret Bankasının, 1977 yılında da Arap-Türk Bankasının kurulmasına izin verilmiştir. (Altay, 2010)

Planlı dönem, bir süre kalkınmayı önemli ölçüde desteklemiş olmakla birlikte, sunulan para arzının artması enflasyonist ortam oluşmasına sebep olmuş, bu durum sektörün ihracattan ziyade iç pazara yönelmesini doğurmuştur. Azalan ihracat hacmi, ülkeye döviz girişinin azalmasına, bunun sonucunda oluşan döviz yetersizliği, ithal hammadde tedarikinde sıkıntılara yol açmıştır. Sanayi tedarik sıkıntısına girmiş, üretim aksamıştır. Uygulanan politikaların sorunlara çözüm olmayacağı ortaya çıkınca politika değişikliğine gidilmesi elzem hale gelmiştir. (Keskin v.d., 2008)

1.1.1.6.1. Bankacılıkta Serbestleşme ve Dışa Açılma Dönemi (1980-2001)

1. Kalkınma Planınının 1963 yılında yayınlanması ile başlayan devlet eliyle domine edilen planlı dönem, yaşanan döviz darboğazı, kapalı ekonomiden kaynaklı sorunlar gibi problemlerin çözüme kavuşturulması amacıyla 1980lere gelindiğinde yerini yeniden liberalleşmeye bırakmıştır. 24 Ocak 1980 Kararları ile daha önce uygulanan kapalı ekonomi politikalarını tamamen değiştirmiş, ithal ikame politikalar yerine ihracata dayalı bir sanayileşme ve büyüme modeli benimsenmiştir. (Sümer, 2016)

24 Ocak 1980 Kararları ülkedeki enflasyon, döviz sıkıntısı, ekonomik daralma gibi ekonomik alandaki sorunların çözülmesinin yanında Türkiye'nin dünya ekonomisi ile entegrasyonuna imkan sağlamıştır.

Alınan Kararlar Bankacılık sektörünü de etkilemiş 1 Temmuz 1980 itibariyle Bankaların uygulayacakları faiz oranlarının piyasa koşulları içinde belirlenmesine izin verilmiş, Bankalar uygulayacakları oranlarda serbest bırakılmıştır. Yeni bankaların açılması,

yabancı bankaların ülkede faaliyet göstermesi teşvik edilmiş ve böylelikle bankacılık sektöründe rekabetin artırılarak piyasanın sağlıklı bir biçimde çalışması amaçlanmıştır. (Coşkun v.d., 2012) Kambiyo serbestisi getirilmiş, Türk Parasının Değerini Koruma Hakkındaki Kararlar ile Bankaların döviz işlemleri yapmasına olanak sağlanmış ve TL'nin konvertibilitesi sağlanmıştır. (Sümer, 2016)

Bankacılık faaliyetlerine getirilen kısıtlamaların hafifletilmesinin ardından sektöre girişler kolaylaşmıştır. 1980 yılında Bank of Credit and Commerce, 1981 yılında Bank of Melland ve Türk Bankası Ltd, 1982 yılında Habib Bank, 1984 yılında The First National Bank of Boston, Manufacturers Hanover Trust Company, Suudi American Bank, 1985 yılında Bank of Bahrain and Kuwait BSC ve Standard Chartered Bank, 1988 yılında Kıbrıs Kredi Bankası Ltd ve 1989 yılında Societe Generale S.A. Türkiye'de faaliyet göstermeye başlamıştır. (Yetiz, 2016)

Bu dönemde gelişen Bankacılık ve finansal piyasaların faaliyetlerinin regüle edilmesi, tasarruf sahiplerinin korunması, sektörün istikrarlı bir biçimde faaliyet yürütmesi amaçlarıyla Kurumsal kapasite artırılmış yeni mevzuat düzenlemelerine gidilmiştir. Bu kapsamda 1982 yılında Sermaye Piyasası Kanunu kabul edilmiş, 1985 yılında Bankalar Kanunu yenilenmiş, 1986 yılında İstanbul Menkul Kıymetler Borsası açılmıştır.

Liberalleşme politikalarının ardından Bankacılık sektörü önemli gelişmeler kaydetmiş, sektör büyümüştür. Ancak Sermaye Piyasası Kanununun kabul edilmesi ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsasının açılmasıyla; tasarruflar hisse senedi, tahvil, hazine bonusu gibi yatırım araçlarına yönelmiş, bu durum Bankaların mevduat toplama kabiliyetlerini azaltarak Bankacılık sektörünü olumsuz yönde etkilemiştir. (Kaya ve Çöllü, 2020)

1990'lı yıllara gelindiğinde uygulanan para politikaları, makroekonomik görünümün giderek kötüleşmesine, kamunun gelir gider dengesinin bozulmasına yol açmıştır. Bozulan dengeler bütçe açıklarını artırmıştır. Bütçe açıkları, üretime değil ranta yönelen kaynaklar, reel sektörde baş gösteren kayıt dışı ekonomi gerçeği ve döviz kurunda yaşanan dengesizlikler 1994 krizi ile sonuçlanmıştır. (Ardıç, 2004) Kriz Bankacılık sektörünü de etkilemiş 1994-1999 döneminde 11 bankaya el konulmuştur. (BDDK, 2012)

Krizin etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla 1999 yılında 5 Nisan kararları açıklanmıştır. 1999 yılı Programında; Finans sektöründe öncelikli yasal düzenlemelere gidileceği belirtilerek, öncelikle bankacılık ve sigortacılık sektörlerinin yeniden yapılandırılacağı hedefi açıklanmıştır. Yeniden yapılandırma ile birlikte, sektörlerin yapıları ve denetim mekanizmaları güçlendirilecek, sermaye yapıları sağlamlaştırılacak ve daha şeffaf ve rekabetçi bir ortam sağlanması amaçlanmıştır². Bankacılık sisteminin yönetimindeki parçalı yapıya son verilerek, Hazine Müsteşarlığı Bankalar Yeminli Murakıpları Kurulu ile Banka ve Kambiyo Genel Müdürlüğünün bankacılıkla ilgili birimleri ve TCMB Bankalar Gözetim Müdürlüğü tarafından yürütülen bankacılık sisteminin denetlenmesi ve düzenlenmesi görev, yetki ve sorumlulukları, 1999 yılında kabul edilen 4389 sayılı Bankacılık Kanunu ile kurulan Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu'na (BDDK) devredilmiştir. (BDDK, 2009) Kurul faaliyetlerine 2000 yılı ağustos ayı itibarıyla başlamıştır. 5 Nisan kararları ile alınan makroekonomik tedbirler ile ekonominin toparlanması sağlanmıştır. Alınan önlemler ve uygulanan politikalar kısa vadede olumlu sonuçlar ortaya çıkarmış, bütçe açıklarının azaldığı, döviz rezervlerinin arttığı bir döneme girilmiştir. Diğer taraftan, alınan kararların enflasyon üzerindeki etkisi sınırlı kalmış, tasarrufa yönelmeyen gelirlerin ortaya çıkardığı iç talep cari açığın artmasına neden olmuştur. Döviz kuru üzerindeki baskının artması, yüksek enflasyon yeni bir mali krize zemin hazırlamıştır. IMF ile yapılan stand by anlaşması krizin önüne geçememiş, 1999 yılında gerçekleşen Gölcük Depreminin ortaya çıkardığı ilave ekonomik güçlükler sonrasında Kasım 2000 krizi patlak vermiştir. Kriz sonrasında IMF'den 10,4 milyar dolarlık finansman sağlanmıştır. Ayrıca Dünya Bankası'ndan bankacılık sektörü için 778 milyon ve kamu bankaları için ise 500 milyon dolarlık kredi sağlanarak, sektörde yaşanan olumsuz görünümün ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Alınan önlemler ve sağlanan dış finansman sorunları çözüme kavuşturamamış, Bankacılık sektöründe büyük bir yıkıma sebep olan Şubat 2001 ile karşı karşıya kalınmıştır. Krizin etkileri ile bankacılık sektöründe 23 banka TMSF'ye devredilmiş, 23

²https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/1999_Y%C4%B1%C4%B1_Program%C4%B1.pdf Erişim Tarihi: 14.04.2023

bankanın 14'ü birleştirilmiş, 5 banka satılmış ve 3 banka ise tasfiye edilmiştir. (Kaya ve Çöllü, 2020)

1.1.1.7. Bankacılık Sektöründe Yeniden Yapılanma Dönemi ve Yeni Gelişmeler (2001-)

Türkiye ekonomisinin 2001 yılında yaşadığı krizin ardından, Dünya Bankası desteğiyle desteklenen Güçlü Ekonomiye Geçiş Programı, 14 Nisan 2001 tarihinde hayata geçirilmiştir. Bu programın amacı, finansal sektörün yeniden yapılandırılması, kamu açıklarının azaltılması ve kamu finansmanının düzenlenmesi ile birlikte Türkiye'nin uluslararası rekabet gücünün artırılmasıdır. Program kapsamında uygulanan kur politikalarında değişikliğe gidilerek sabit kur rejiminden dalgalı kur rejimi uygulamasına geçilmiştir. (Sümer, 2016)

Güçlü Ekonomiye Geçiş programı, 2000 ve 2001 krizlerinin oluşumunda önemli rol oynayan bankacılık sektörünün yeniden düzenlenmesi ve sektörün güçlü bir hale getirilmesine yönelik yapısal reformları gündeme getirmiştir.

Bu dönemde BDDK tarafından yayınlanan "Bankacılık Sektörü Yeniden Yapılandırma Programı" ile sektörün istikrarlı ve krizlere dayanıklı bir yapıya kavuşturulması hedeflenmiştir. 2008 yılında dünya finans piyasalarında görülen büyük ölçekli krizin etkilerinin Türk Bankacılık sektörüne etkilerinin sınırlı seviyede kalmasının, BDDK tarafından uygulanan programın başarılı sonuçlara ulaştığı şeklinde yorumlanabilmektedir.

Bankacılık Sektörü Yeniden Yapılandırma Programı kapsamında BDDK tarafından;

- Kamu Bankalarına ilişkin olarak; gecelik işlemler/kısa vadeli borçların sınırlandırılması, bilançolarının küçültülmesi, görev zararlarının tasfiyesi, yönetimlerinin profesyonel yönetim kurullarına bırakılması, şube sayıları ve personel sayılarının optimize edilmesi gibi bir dizi önlem alınmıştır. Programda ayrıca, Emlak Bankası'nın tasfiye edilerek Ziraat Bankası'na devredilmesi, Vakıflar, Ziraat ve Halk Bankasının özelleştirilmesi hedeflerine yer verilmiştir.

-Tasarruf Mevduatı Sigorta Fonuna devredilen Bankalara ilişkin olarak; bankaların ortak yönetimin sağlanması ve birleştirilmesi, bilanço yapılarının düzeltilmesi ve sermayelerinin güçlendirilmesi, şube sayıları ve personel sayılarının optimize edilmesi, Bankaların iştiraklerinin ve taşınır malların satışı, kötü aktiflerin Fon bünyesindeki tahsilat dairesine devredilmesi, alacaklarının tahsil kabiliyetinin artırılması gibi önlemlere yer verilmiştir. Programda ayrıca Fon bankalarının 2001 yılı sonuna kadar satış ve tasfiye yolları ile çözümlenmesi hedefine yer verilmiştir.

BDDK ayrıca özel bankaların gerek sermaye yapıları gerekse bilanço yapılarının daha sağlıklı bir yapıya kavuşturulması amacıyla sektörle yapılan istişareler neticesinde, karşılıklı anlayış ve iş birliği içerisinde çalışılacağına vurgu yapılmıştır.

Özel bankacılık sektörü program çerçevesinde gerek sermaye artırımını gerek sermaye benzeri kredi temini gerekse dönem karlarını sermayeye ilave etmek suretiyle yapılarını, güçlendirmiştir. Ayrıca şube ve personel sayısının optimizasyonu ve elektronik bankacılık sistemlerinin geliştirilmesi suretiyle maliyetlerin düşürülmesi için taahhütte bulunmuş ve çalışmalara başlamıştır. Diğer taraftan yoğunlaşmış kredilerin yeniden yapılandırılması, iştirak ve gayrimenkul satışı gibi yöntemlerle ilave gelir temini yoluna gidilmiştir. (BDDK,2001)

2001 yılında başlanan Bankacılık sektörünün risklerden arındırılması ve bilançolarının daha sağlıklı yapıya kavuşturulması amacıyla yapılan bir diğer düzenleme; 4743 sayılı “Mali Sektöre Olan Borçların Yeniden Yapılandırılması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” ve bu Kanun kapsamında çıkarılan 1/10/2002 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan “Varlık Yönetim Şirketlerinin Kuruluş ve Faaliyet Esasları Hakkında Yönetmelik’tir. (Kaya ve Uzay, 2020)

Düzenleme ile; Bankaların takipteki alacaklarını, BDDK izni ile kurulan Varlık Yönetim Şirketlerine satmaları ve böylelikle hem bilançolarını sadeleştirme hem alacağın takibi ile ilgili operasyonel giderlerden tasarruf etme hem de alacakların daha düşük değerlerle de olsa gelire dönüştürmeleri sağlanmıştır. (Kaya ve Uzay, 2020)

Gecikmiş alacaklarının varlık yönetimine devri, çalışmamızın genelini ilgilendiren bir konudur. Çalışmamızın 3’üncü Kısımında yapacağımız sayısal analizde, gecikmiş

alacakların varlık yönetim şirketlerine devrinden önce yapılacak işlemler yer almaktadır. Gecikmiş alacaklar varlık yönetim şirketlerine devredilirken, alacağın düşük bir yüzdesi karşılığı devredildiği için, bu şirketlere devir öncesi tahsilat, bankalar açısından zararın azaltılması açısından çok önemlidir.

TMSF ve BDDK'nın Bankacılık sektörünün düzenlenmesi için aktif şekilde faaliyet göstermesi neticesinde bankacılık sistemi etkin ve sağlıklı bir yapıya kavuşmuş, yabancı bankaların sektöre girişi hızlanmıştır. Düzenlemelerin yanı sıra BDDK tarafından kararlılıkla yürütülen denetleme süreçlerin sektörün finansal şoklara hazırlıklı, istikrarlı bir yapıya kavuşmasını desteklemiştir. (Kaya ve Çöllü, 2020) Günümüzde Türk Bankacılık Sektörü güçlü mali yapısı, bağımsızlıktan alınan güçle yürütülen etkin denetim ve kontrol faaliyetleri, teknolojik yeniliklerin bankacılık uygulamalarında etkin kullanımı, kaliteli insan kaynağı ile Avrupa ve dünya devletleri bankalarını aratmayacak seviyeye ulaşmıştır. (Sümer, 2016)

1.1.2. Bankacılığın Mevcut Durumu

Mart 2023 itibariyle Türk Bankacılık sektöründe BDDK tarafından faaliyet izni verilen 57 banka bulunmaktadır. Bunların 32 tanesi Mevduat, 6 tanesi Katılım, 16 tanesi Kalkınma ve Yatırım Bankasıdır. 3 adet Banka ise Tasarruf Mevduatı Sigorta Fonu bünyesindedir. Bankacılık sektörünün aktif toplamı 29 Mart 2023 verileri itibariyle Türk Parası cinsinden 9.073.895 milyon TL, Yabancı Para cinsinden 5.960.476 milyon TL olmak üzere 15.034.371 milyon TL seviyesindedir. Faaliyetteki Bankaların Özsermaye büyüklüğüne bakıldığında Türk Parası cinsinden 1.522.307 milyon TL, Yabancı Para cinsinden-34.583 milyon TL olmak üzere toplam 1.487.723 milyon TL'ye ulaştığı görülmektedir.

Diğer taraftan, yine 29 Mart 2023 verileri itibariyle, çalışmamızın konusu ile doğrudan ilişkili olan Bankalar nezdindeki Takipteki Alacaklar 153.799 milyon TL'si Türk Parası cinsinden, 5.956 milyon TL'si yabancı para cinsinden olmak üzere 159.755 milyon TL olarak görülmektedir. Takipteki Alacakların (Brüt) Toplam Nakdi Kredilere oranı %1,93; Takipteki Alacaklar için ayrılan karşılıkların Brüt Takipteki Alacaklara oranı %87,49 seviyesindedir. Yasal Özkaynak Tutarının Risk Ağırlıklı Kalemler Toplamına oranı (ilerde

açıklanacak olan Asgari Sermaye Yeterlilik Oranı veya Sermaye Yeterliliği Standart Oranı) ise %17,15 olarak gerçekleşmiştir³.

1.1.3. Bankacılığın Tabi Olduğu Mevzuat

Medeni Kanun, Borçlar Kanunu, Türk Ticaret Kanunu, İcra ve İflas Kanunu gibi kanunlarda Bankalara ve banka işlemlerine ilişkin hükümler yer almaktadır. Bunlar gibi genel kanunlar bankaları da içine alacak şekilde üçüncü kişilerle yapılacak olan akitleri ve bunların doğurduğu ilişki biçimlerini konu alırken, bankacılık işlemlerini doğrudan doğruya düzenleyen yasal düzenlemelerin başında Bankacılık Kanunu gelmektedir. Bankaların; kuruluş aşamasından başlayarak yönetim, çalışma esasları, devir, birleşme ve tasfiyeleriyle denetlemeleri Bankacılık Kanunu ile düzenlenmiştir. Türkiye Bankalar Birliği tarafından 1998 yılında yapılan “Cumhuriyet Dönemi Bankalar Kanunları ve İlgili Yasal Düzenlemeler” başlıklı çalışmada, 1933 yılında kabul edilen ve üç yıl yürürlükte kalan 2243 sayılı Mevduatı Koruma Kanunu’nun ülkemizde çıkarılan ilk Bankalar Kanunu olarak kabul edilebileceği ifade edilmiştir. (Taşçıoğlu, 1998). Bankalar Kanunu adıyla yayımlanan ilk düzenleme ise 22 yıl yürürlükte kalan 1936 tarihli 2999 sayılı Kanundur. Söz konusu düzenleme 1958 yılında kabul 7129 sayılı Bankalar Kanunu ile yürürlükten kaldırılmıştır. 7129 sayılı Kanun, 1979 ve 1983 tarihli 28 ve 70 sayılı Kanun Hükmünde Kararnameler ile önemli değişikliklere uğramış, nihayetinde 1985 yılında kabul edilen 3182 sayılı Bankalar Kanunu ile yürürlükten kaldırılmıştır. 3182 sayılı Kanun ise 01.11.2005 tarihli 25983 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan 5411 sayılı Bankalar Kanunu ile yürürlükten kaldırılmıştır.

1.2. GECİKMIŞ ALACAKLAR

Gecikmiş alacaklar, kredi alan tarafın borcunu vadesinde ödememesi, ödemeyi geciktirmesi veya kısmen ödemesi olarak açıklanmaktadır. Bankacılık işlemleri

3

[http://www.bddk.org.tr/BultenAylik/%20BDDK%20Ayl%C4%B1k%20Bankac%C4%B1l%C4%B1k%20Sekt%C3%B6r%C3%BC%20Verileri%20\(Temel%20G%C3%B6sterim\)](http://www.bddk.org.tr/BultenAylik/%20BDDK%20Ayl%C4%B1k%20Bankac%C4%B1l%C4%B1k%20Sekt%C3%B6r%C3%BC%20Verileri%20(Temel%20G%C3%B6sterim)) Erişim tarihi 14.04.2023

açısından kullanılan bir kredinin vadesinde ödenmemesi hali Bankalar için kredi riskini ortaya çıkarmakta olup, kredi riskinin ne olduğu ve Bankalar açısından oluşturduğu risk Çalışmamızda “Basel Düzenlemeleri” başlığı altında irdelenecektir.

1.2.1. Gecikmiş Alacaklara İlişkin Mevzuat

1.2.1.1 Türk mevzuatı

Türkiye’de Bankalarca kullanılan krediler ve bunlar için ayrılması gereken karşılıklar, 22/6/2016 tarih ve 29750 sayılı “Kredilerin Sınıflandırılması ve Bunlar İçin Ayrılacak Karşılıklara İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik” ile düzenlenmiştir.

Söz konusu Yönetmelikte, Bankalarca kullanılan krediler Canlı ve Donuk Alacaklar olmak üzere 2 grup altında 5 türde sınıflandırılmıştır. Canlı Alacaklar grubunda sınıflandırılan krediler; “Standart Nitelikli Krediler” ve “Yakın İzlemedeki Krediler” olarak tanımlanmıştır. Ödemeleri zamanında veya 30 günde fazla geciktirilmeksizin yapılan, TFRS 9’a göre on iki aylık beklenen kredi zarar karşılığı uygulamasına tabi olan, önceki dönemlerde olduğu gibi ileriki dönem ödemelerinde de gecikme yaşanmayacağı, teminatlara başvurulmaksızın borcun tümüyle tahsil edilebileceği tahmin edilen krediler **Standart Nitelikli Krediler** olarak sınıflandırılmıştır. Gerek makroekonomik koşullar gerekse borçlunun kendisi ile ilgili nedenlerle, borçlunun ödeme gücünün zayıflayacağı tahmin edilen, kredi verilirken borçlunun finansal açıdan riskli görülmesi nedeniyle yakından izlenmesi gerektiği değerlendirilen, borçlunun Kredi değerliliğinin zayıflaması olarak yorumlanamayacak nedenlerle taksit ödemesi vade tarihinden itibaren otuz günden fazla geciken ancak doksan günü geçmeyen veya, ödemelerin kredi sözleşmesine uygun olarak yapılmasında sorunla karşılaşılabilen, teminatlara başvurulmaksızın borcun tümüyle tahsil edilememe riski bulunduğu değerlendirilen krediler ise **Yakın İzlemedeki Krediler** olarak sınıflandırılmıştır.

Donuk Alacaklar grubunda sınıflandırılan krediler; Tahsil İmkânı Sınırlı Krediler, Tahsili Şüpheli Krediler, Zarar Niteliğindeki Krediler olarak tanımlanmıştır. **Tahsil İmkânı Sınırlı Krediler** grubu altında; borçlusunun kredi değerliliği bozulan, taksit ödemesi vade tarihten itibaren doksan günden fazla geciken ancak yüzseksen günü geçmeyen, makroekonomik koşullar veya borçlunun kendisi ile ilgili nedenlerle nedeniyle işletme

sermayesi finansmanında veya ilave likidite yaratmada sıkıntılar yaşanması gibi nedenlerle kredi ödemesinin vadesinden veya ödenmesi gereken tarihten itibaren doksan günden fazla gecikeceğine kanaat getirilen, daha önce donuk alacak olarak sınıflandırılan ancak yeniden yapılandırılarak canlı alacak grubuna dahil edilen ve bir yıllık izleme süresi içerisinde kredi ödemesi otuz günden fazla geciken veya bu izleme süresi içinde bir kez daha yeniden yapılandırmaya tabi tutulan krediler yer almaktadır. **Tahsili Şüpheli Krediler** ise borçlusunun kredi değerliliği ciddi biçimde bozulan fakat birleşme, yeni finansman bulma veya sermaye artırımını gibi düzenlemelerle borçlusunun kredi değerliliğini ve ödeme imkanını artırabilmesi ihtimali çerçevesinde henüz tam anlamıyla zarar niteliği taşımadığı düşünülen, taksit ödemesi vade tarihten itibaren yüzseksen günden fazla geciken ancak bir yılı geçmeyen, borcun kredi sözleşmesi çerçevesinde teminata başvurulmaksızın tahsilinin sağlanamayacağı değerlendirilen, makroekonomik koşullar veya borçlusunun kendisi ile ilgili olumsuz gelişmeler nedeniyle taksit ödemesinin vade tarihinden itibaren tahsilindeki gecikmenin yüz seksen günü geçmesi beklenen kredilerdir. Donuk Alacaklar grubundaki son sınıf ise Zarar Niteliğindeki Kredilerdir. **Zarar Niteliğindeki Krediler** grubunda; borçlusunun kredi değerliliğinin tümüyle ortadan kalkmış olması nedeniyle tahsil beklentisi bulunmayan veya ihmal edilebilir bir kısmının tahsil edilebileceği değerlendirilen, Tahsil İmkânı Sınırlı Krediler ve Tahsili Şüpheli Krediler ile aynı özellikleri taşıyan ve ödenmesi gereken alacak tutarlarının tamamının bir yılı aşacak bir sürede tahsilinin sağlanamayacağı değerlendirilen, taksit ödemesinin vade tarihten itibaren tahsili bir yıldan fazla gecikmiş krediler sınıflandırılmıştır.

Kredilerin Sınıflandırılması ve Bunlar İçin Ayrılacak Karşılıklara İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik ile yukarıda bahsedilen kredi grupları için Bankaların ayırmaları gereken karşılıklar da düzenlenmiştir.

Bankaların kullandıkları krediler için karşılık ayırması, finansal istikrarı sağlamak ve risk yönetimini gerçekleştirmek için alınan bir önlemdir. Bu işlem, bankaların bilançolarında bir pasif hesapta gösterilen bir fon ayrılarak, müşterilerine kredi verirken ortaya çıkabilecek zararları karşılamalarını sağlar. Karşılık ayırma sonucunda, bankalar müşterilerinin borçlarını ödeyememe veya ödemelerini geciktirme durumunda bu fonları kullanarak zararlarını karşılayabilirler. Bu sayede, bankalar finansal güvenilirliğini artırır ve müşterilerine daha güvenli bir kredi ortamı sağlar. Karşılık ayırmanın sonucu ayrıca, bankaların kredi risklerine bağlı olarak belirlenir. Kredi riski yüksek olan müşteriler için

daha fazla karşılık ayrılması, bankaların risklerini yönetmelerine ve olası zararları en aza indirmelerine yardımcı olur. Ayrıca, karşılık ayırma işlemi, bankaların düzenleyici otoriteler tarafından belirlenen sermaye yeterliliği oranlarına uygun hareket etmelerini sağlar.

Bankaların karşılık ayırma işlemi bilanço yönetimi ile ilgilidir ve bu işlem sonucunda ayrılan karşılıklar bankaların sermayesinden düşülür. Bankalar, krediler için ayırdıkları karşılıkları bir pasif hesapta göstererek bilançolarında muhasebeleştirirler. Bu pasif hesaplar, bankaların sermayesinden düşülerek bankanın aktif toplamını azaltır. Bu nedenle, karşılık ayırma işlemi, bankanın özkaynak oranlarını ve sermaye yeterliliği oranlarını da etkiler. Karşılık ayırma işlemi sonucunda ayrılan karşılıklar, bankanın sermayesinden düşülerek bankanın özkaynaklarını azaltır ve sermaye yeterliliği oranlarını etkiler. Özetle, bankaların krediler için ayırdıkları karşılıklar, bankaların bilanço yönetiminde önemli bir rol oynar ve bankaların sermayelerinden düşülür.

Yönetmelik ile krediler için ayrılacak karşılıkların hesaplanmasında iki yöntem belirlenmiştir. Bankaların ve diğer finansal kuruluşların finansal araçlarını nasıl muhasebeleştireceği ve ölçeceği konusunda rehberlik sağlayan Türkiye Finansal Raporlama Standartları (TFRS) 9'u uygulayan Bankaların karşılık ayırma işlemlerini, söz konusu standartta belirtilen şekilde yapacağı düzenlenmiştir.

TFRS 9'da Bankaların kullandıkları krediler için Genel Yaklaşım ve Basit Yaklaşım olmak üzere iki usulle karşılık ayırabileceği düzenlenmiştir. **Genel Yaklaşım**da, kredinin ilk muhasebeleştirme işleminden sonra, kullanılan krediye ilişkin riski önemli ölçüde artmadığının gözlenmesi halinde 12 aylık beklenen kredi zararı kadar karşılık ayrılacağı, riskin önemli ölçüde arttığı gözlenmesi halinde ise kredi ömrü boyunca beklenen kredi zararı kadar karşılık ayrılacağı; **Basit yaklaşım**da ise Bankaların kullandıkları krediler için her raporlama döneminde kredi ömrü boyu beklenen kredi zararı tutarında karşılık ayırmaları gerektiği düzenlenmiştir. (Fidan, 2019) Aşağıda Tablo-1'de TRFS-9 uygulanan alacaklar için alacak sınıfları, yaklaşım türleri ve ayrılması gereken karşılıklar yer almaktadır.

Alacağın Sınıfı	Kredinin Türü	Yaklaşım Türü	Ayrılması Gereken Karşılık (En az)
-----------------	---------------	---------------	------------------------------------

Canlı Alacak	Standart Nitelikli Krediler	Basit	Kredi ömrü boyu beklenen kredi zararı toplamı
	Yakın İzlemedeki Krediler		
Donuk Alacak	Tahsil İmkani Sınırlı Krediler		
	Tahsili Şüpheli Krediler		
	Zarar Niteliğindeki Krediler		
Canlı Alacak	Standart Nitelikli Krediler		
	Yakın İzlemedeki Krediler		
Donuk Alacak	Tahsil İmkani Sınırlı Krediler		
	Tahsili Şüpheli Krediler		
	Zarar Niteliğindeki Krediler		

Tablo 1-Kredilerin Sınıflandırılması ve ayrılacak karşılık tutarı (TFRS 9 uygulanan)

Yönetmelik ile TFRS 9 uygulamayan Bankalarca Standart nitelikli nakdi kredileri toplamının en az binde on beşi (%1,5) oranında, Yakın izlemedeki nakdi kredileri toplamının en az yüzde üçü (%3) oranında, olmak üzere, gerçekleşmiş olmakla birlikte henüz kredi bazında tespit edilmemiş kredi zararlarını karşılayacak düzeyde genel karşılık ayrılacağı, bu karşılıklara ek olarak ülke ve transfer riskleri için de ayrıca genel karşılık ayrılacağı düzenlenmiştir. Yönetmelik ile ayrıca yukarıda Donuk Alacak olarak sınıflandırılan kredilerden; **Tahsil İmkani Sınırlı Kredilerin** en az yüzde yirmisi (%20), **Tahsili Şüpheli Kredilerin** en az yüzde ellisi (%50), **Zarar Niteliğindeki Kredilerin** yüzde yüzü (%100), oranında olmak üzere gerçekleşen kredi zararını karşılayacak tutarda özel karşılık ayrılacağı hükme bağlanmıştır. Aşağıda Tablo-1'de TRFS-9 uygulanmayan alacaklar için alacak sınıfları ve ayrılması gereken karşılıklar yer almaktadır.

Alacağın Sınıfı	Kredinin Türü	Gecikme süresi	Ayrılması Gereken Karşılık (En az)
Canlı Alacak	Standart Nitelikli Krediler	< 30 gün	%1,5
	Yakın İzlemedeki Krediler	>30 gün, <90 gün	%3
Donuk Alacak	Tahsil İmkani Sınırlı Krediler	>90 gün, <180 gün	%20
	Tahsili Şüpheli Krediler	>180 gün, < 1 yıl	%50
	Zarar Niteliğindeki Krediler	> 1 yıl	%100

Tablo 2- Kredilerin Sınıflandırılması ve ayrılacak karşılık tutarı (TFRS 9 uygulanmayan)

Hanişoğlu ve Altınbaş (2022) tarafından yapılan çalışmada, Bankaların kullandırdıkları krediler içindeki gecikmiş alacakların diğer bir ifadeyle takibe dūřen alacakların oranının Bankaların sermaye yeterlilik oranlarına etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) tarafından yapılan benzer bir çalışmanın sonuçlarına yer verilmiş ve kendilerince yapılan benzer analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. (Hanişoğlu ve Altınbaş, 2022) TCMB tarafından, 2008 Bankacılık Krizinin ardından gecikmiş/takipteki alacaklarda olası bir artış neticesinde Bankacılık sektöründe ortaya çıkabilecek kredi riskini değerlendirmek amacıyla, Tahsili Gecikmiř Alacak dönüşüm oranında 1-15 puanlık artışın sermaye yeterlilik oranı üzerindeki olası etkileri incelenmiş ve tahsili gecikmiş alacakların toplam krediler içindeki payının 15 puan artması halinde 2008 Eylül ayı için toplu bazda sektörün sermaye yeterlilik oranının yaklaşık 7,6 puan, 2009 Eylül ayı için 6,7 puan azalacağı belirlenmiştir. (TCMB 2009 Finansal İstikrar Raporu) Benzer Őekilde Berger ve DeYoung (1997) ve Salas ve Saurina (2002) alışmalarında, Bankaların gecikmiş alacaklarının artması halinde Bankaların sermaye yeterlilik oranlarının azalacağı sonucuna ulaşmışlardır (akt. Hanişoğlu ve Altınbaş, 2022). Söz konusu analiz sonuçlarının aksine Hanişoğlu ve Altınbaş, Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu'nun Aylık Bülten'inden elde edilen 2005-2016 yılları arasındaki göstergeler dikkate alınarak yaptıkları çalışmada, gecikmiş alacak oranının artmasının toplu bazda Türk Bankacılık sektörü, sermaye yeterlilik oranı üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını sonucuna varmıştır. (Hanişoğlu ve Altınbaş, 2022).

Türk Bankacılık sektöründe tahsili gecikmiş alacaklara ilişkin bir başka çalışmada, gecikmiş alacaklara ilişkin bankalarca yapılabilecek işlemler incelenmiştir. (Selçuk ve Darıca, 2003) Selçuk ve Darıca makalelerinde, Bankalarca kullandırdıkları bir kredinin riskli hale geldiklerinde almaları gereken ilk aksiyonun borçlunun kredi ödeme kabiliyetinin artırılması için çaba sarf edilmesi olduğu belirtilmektedir. Bunun sağlanabilmesi halinde, hem kredinin geri ödenmesi garanti altına alınacak hem de müşteri memnuniyeti sağlanarak, müşteri portföyü korunacaktır. Kullandırılan kredinin tahsilatının riskli hale geldiğinin anlaşılması halinde Bankalar için 3 seçenek bulunmaktadır. Ya tavsiye edildiği gibi müşterinin bulunduğu darboğazdan kurtulması için çözüm yolları önerilecek ya kredi için borçlu tarafından verilen teminatlara başvurulacak ya da herhangi bir işlem yapılmaması tercih edilecektir. (Selçuk ve Darıca, 2003) alışmada her bir aksiyonun artıları ve eksileri paylaşılmış ve tahsili gecikmiş alacakların tasfiyesinin iyi yönetilmesinin taraflar açısından ekonomik çıkarların en iyi

biçimde korunması için ortak çıkarlara hizmet edecek çözümlere başvurulmasının en sağlıklı yöntem olduğu vurgulanmıştır. (Selçuk ve Darıcı, 2003)

Ayrılacak karşılıkların büyüklüğü ve bunun Bankanın krediye dönüştürülebilir aktiflerine olan etkisi, Çalışmamız ile ortaya konulan kredi tahsilatlarının optimizasyonunun Banka karlılığını artırmak yönünde önemli ölçüde etkili olduğu görüşümüzü destekler niteliktedir. Zira tahsilatın süresi geciktikçe, ayrılması gereken karşılık tutarı artmakta, bu durum ise sermaye yeterlik rasyosu yoluyla verilebilecek kredi tutarını azaltarak karlılığa olumsuz etkide bulunmaktadır.

1.2.1.2 Basel I, II, III, IV

Ülkelerde yaşanan ekonomik krizlerin sebepleri arasında makro ekonomik politikalarda görülen aksamaların yanı sıra reel sektör firmalarının ödeme kabiliyetini kaybetmesi ve bankaların alacaklarını tahsil edememesi gibi faktörler yer almaktadır. Bu durumlar kriz yaşanan ülkelerde bankacılık sektörünün yeniden yapılandırılmasını gerektirmiş ve ülkelerin maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. Diğer bir ifadeyle finansal krizler sadece makroekonomik sebeplerle değil, mikro düzeyde bir bankanın kötü yönetimi gibi faktörlerle de tetiklenebilmekte ve derinleştirilebilmektedir. Finans sektöründe, mevduat sahiplerinden elde edilen yabancı kaynakların yönetilebilme kalitesi ve etkin risk yönetimi, finans sektörünün istikrarı açısından kritik önem taşımaktadır. Bu sebeple, bankaların etkin risk yönetimi kalitesi ile finansal sistemin istikrarı arasında önemli bir ilişki vardır. Kredi, piyasa, likidite ve diğer risklerin etkili bir şekilde yönetilememesi, bankalarda oluşabilecek zafiyetlerin diğer sektörlere sıçrama riskini artırabilir. Günümüz Bankacılık ve Finans Piyasasının uluslararası faaliyet gösterdiği, bir banka ya da finans kuruluşunda yaşanan krizin, global etkileri olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, finansal sektörde ve ekonomide sürdürülebilir istikrar sağlamak için, bankaların kendi içlerinde oluşturdukları risk yönetimi prosedürlerinin yanı sıra, uluslararası finans çevrelerinde kabul edilen genel kabul görmüş düzenlemelere tabi tutulmaları ve risk yönetimini güçlendirecek önlemler alınması bir gereklilik olarak ortaya çıkmıştır. (Yayla ve Kaya, 2005)

Basel Anlaşmaları olarak da bilinen Basel düzenlemeleri, İsviçre'de 1974 yılında G10 ülkelerinin katılımıyla, üyelerin bankacılık konusunda fikir alışverişinde bulunmaları,

deneyimlerin karşılıklı olarak aktarılması amacıyla oluşturulmuş olan Basel Bankacılık Denetim Komitesi (Komite) tarafından geliştirilen bir dizi uluslararası bankacılık denetim standardıdır. Düzenlemeler, bankaların üstlendikleri riskleri karşılamak ve finansal istikrarı desteklemek için yeterli düzeyde sermaye bulundurmalarını sağlamayı amaçlamaktadır.

1930 yılında kurulan Uluslararası Ödemeler Bankası (BIS) bünyesinde faaliyet gösteren Komite'de hali hazırda; ABD, İngiltere, Avrupa Birliği, Almanya, Kanada, Avustralya, İsveç, Belçika, Lüksemburg, İsviçre, Hollanda, İtalya, Fransa, İspanya, Hong Kong, Japonya, Meksika, Rusya, Singapur, Kore, Çin, Arjantin, Hindistan, Endonezya, Brezilya, Güney Afrika, Türkiye ve Suudi Arabistan olmak üzere 28 ülke temsil edilmektedir. (BIS web sitesi)

1988 yılında açıklanan "Basel Sermaye Uzlaşısı" (Basel I) olarak da bilinen ilk Basel düzenlemesi ile bankaların maruz kaldıkları risk düzeyine göre asgari sermaye gereksinimleri belirlenmiştir. 2004 yılında, düzenlemelerin kapsamını genişleten ve daha gelişmiş risk değerlendirme teknikleri getiren Basel II, 2008 yılında yaşanan küresel finansal kriz sonrasında düzenlemelerde güncelleme yapılmış ve bankaların yüksek kaliteli sermayeye odaklanarak daha fazla sermaye tutmasını ve yeterli likidite tamponunu korumasını gerektiren düzenlemeleri içeren Basel III ve 2017 yılında Basel IV Uzlaşıları yayınlanmıştır⁴.

Basel düzenlemeleri yasal olarak bağlayıcılık içermemekle birlikte, dünya çapındaki ulusal bankacılık düzenleyicileri tarafından geniş çapta benimsenmiş ve banka denetimi için küresel bir standart haline gelmiştir. Diğer taraftan, düzenlemelerin uygulanmadığı ülkeler riskli olarak görülmekte, yüksek risk primleri ile karşılaşmaktadır. (Köksal v.d., 2020)

⁴ <https://www.bddk.org.tr/Sss/Liste/108> Erişim tarihi : 14.04.2023

Basel Uzlaşlarına ilişkin Türk Bankacılık Mevzuatındaki düzenlemeler ilk olarak mülga Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı tarafından başlatılmış, ardından mülga Hazine Müsteşarlığı tarafından yapılmaya devam edilmiş günümüzde ise Bankacılık Düzenleme ve Denetleme kurumu tarafından sürdürülmektedir.

Basel Bankacılık Denetim Komitesi tarafından, komite üyesi ülkelerin Bankacılık Mevzuatlarının Basel Uzlaşları ile uyumlu olup olmadığı konusunda değerlendirmelerde bulunmak üzere 2012 yılında Düzenleme Tutarlılığı Değerlendirme Programı'nı devreye almıştır. Söz konusu Program çerçevesinde Türk bankacılık mevzuatı da 2016 yılında gözden geçirilmiş ve risk bazlı sermaye düzenlemeleri ile likidite düzenlemeleri Basel Uzlaşları ile tam uyumlu olarak değerlendirilmiştir⁵.

1.2.1.2.1 Basel I Uzlaşısı

1988 yılında açıklanan ve Basel Düzenlemelerinin ilki olan Basel I uzlaşısı ile bankaların risk düzeyi ile ilgili olarak sürdürmesi gereken asgari sermaye gereklilikleri belirlenmekte diğer bir ifadeyle uluslararası bankacılık sektöründe sermaye yeterliliği standartlarını ortaya koyulmaktadır.

Basel I'in temel amacı, bankaların risklerine göre yeterli sermaye ayırmalarını sağlamaktır. Diğer bir ifadeyle, karşılaşılabilecek bir finansal kriz durumunda Bankaların ayakta kalabilmeleri için hazırda bulundurmaları gereken sermaye tutarının belirlenmesi Basel uzlaşısının temelini ifade eder. Basel I kriterlerine göre, bankalar kredi risklerine göre ağırlıklandırılmış varlık tutarını hesaplamak zorundadırlar. Basel I düzenlemelerine göre, bankaların risk ağırlıklı varlıklarının en az %8'i kadar bir asgari sermaye tutmaları gerekmektedir. Sermaye Yeterlilik Rasyosu olarak adlandırılan bu oran Bankaların Sermaye tabanının kredi riskine (Risk Ağırlıklı Varlıklar, Gayrinakdi Krediler ve

⁵ <https://www.bddk.org.tr/Sss/Liste/108> Erişim tarihi : 14.04.2023

Yükümlülükler toplamı) bölümünün %8'i aşmaması gerektiği anlamına gelmektedir. (Cicoğlu ve Çil, 2019)

$$\text{Sermaye Yeterlilik Rasyosu} = \frac{\text{Toplam Sermaye}}{\text{Kredi Riski}} \geq 8.$$

Basel I uzlaşısında üç tür sermaye tanımlanmıştır. Çekirdek Sermaye (Core Capital) olan adlandırılan sermaye türü, bankanın ortaklık sermayesi ve kalıcı öz sermayesi gibi kalıcı ve geri ödenemeyen sermaye kaynaklarını içerir. İkincil Sermaye (Secondary Capital) olarak tanımlanan sermaye türü, özsermaye olmayan finansal araçlar gibi kalıcı olmayan sermaye kaynaklarını içerir. Örneğin, banka tahvilleri veya tercihli hisse senetleri gibi araçlar ikincil sermaye olarak kabul edilir. Tamamlayıcı veya Katkı Sermaye (Supplementary Capital) sermaye ise, özkaynaklardan veya ikincil sermaye araçlarından kaynaklanmayan finansal araçları içerir. Örneğin, değer artışı tahvilleri veya belirli türde dönüştürülebilir borçlar gibi araçlar tamamlayıcı sermaye olarak kabul edilir. Sermaye tabanı; Ödenmiş Sermaye, Dağıtılmamış Karlar, Yedek Akçelerden oluşan Banka ana sermayesi ve Karşılıklar, Rezervler, Fonlardan oluşan katkı sermaye toplamından, aktifleştirilmemiş giderler ve mali iştirakler toplamının indirilmesi ile hesaplanmaktadır. (Tanyıldız, 2007) Bu, bankaların, banka bilançosundaki her varlığa bir risk ağırlığı atayarak hesaplanan riskli varlıklarının en az %8'ine eşdeğer sermayeye sahip olmaları gerektiği anlamına gelmektedir. (Yıldırım, 2015) Basel I uzlaşısı ile belirlenen %8'lik Sermaye yeterlilik rasyosunun sağlanabilmesi için yüksek oranda sermaye ayrılması gerekliliği olmaması açısından Bankaların verecekleri kredilerde güçlü risk analizi yapmaları sonucu ortaya çıkmaktadır. Bankaların kredi verirken, risk ağırlığı, her varlıkla ilişkili algılanan kredi riskine bağlıdır ve daha riskli varlıklara daha yüksek bir risk ağırlığı atanır. Kredi riskinden kasıt, kredi verilen kurum veya özel sektör kuruluşunun krediyi zamanında, sözleşme şartlarına uygun bir biçimde ödeyip ödemeyeceğine ilişkin zarar algısıdır. Basel I de kredilerin risk ağırlığı 5 grupta sınıflandırılmıştır. Buna göre OECD üyesi ülke Hazine ve, Merkez Bankalarına açılan kredilerin risk ağırlığı % 0, OECD üyesi ülke kamu kuruluşlarına açılan kredilerin risk ağırlığı % 10, Çok taraflı Kalkınma Bankaları ve OECD üyesi ülkelerin bankalarına açılan kredilerin risk ağırlığı % 20, Konut ipoteği karşılığı açılan kredilerin risk ağırlığı % 50, OECD üyesi olmayan ülkelere ve

bankalarına açılan krediler ile özel sektör kuruluşlarına açılan kredilerin risk ağırlığı %100 olarak düzenlenmiştir. (Aykut, 2008)

Bu ağırlıklandırmadan görüldüğü üzere Basel I Uzlaşısı riski temel olarak verilen krediler boyutuyla ele almış ve kredi riskinin boyutunu ülkenin OECD üyesi olup olmadığı ile ilişkilendirmiştir.

Sermaye gerekliliklerinin belirlenmesinde risk profilinin yalnızca kredi teminatı ile sınırlı tutulması, kredi kullanan ülkelerin mali yapılarından ziyade OECD üyesi olup olmamalarına göre değerlendirilmeleri (Literatürde *“klüp kuralı/club rule”* olarak geçmektedir.), kredi kullanan özel sektör kuruluşlarının farklı finansal durumları göz önünde bulundurulmaksızın yüksek risk grubunda sınıflandırılmış olmaları (Literatürde *“herkese tek beden elbise/one size fits all”* olarak geçmektedir.) Basel I uzlaşısına getirilen eleştirilerin başlıcalarıdır. (Köksal v.d., 2020).

Örneğin, Basel I Uzlaşısı, özel işletmelere verilen tüm kredileri eşit derecede riskli olarak ele almaktadır. Finansal yapısı güçlü, büyük ölçekli yatırımcı bir özel sektör kuruluşuna verilecek kredi ile küçük ölçekli, yüksek borç stoğu bulunan bir özel sektör kuruluşuna verilen kredinin aynı risk ağırlıklandırmasına tabi tutulması gerek piyasaya verilebilecek fonların azalması gerekse Bankaların gelirlerinin önemli bir bölümünü oluşturan piyasaya verebileceği kredi miktarının azalması nedeniyle karlılıkların azalması sonucunu doğurmaktadır.

Benzer şekilde, yüksel potansiyeline sahip ancak OECD üyesi olmayan bir ülke kurumlarına verilen krediler, OECD üyesi olan ancak gelir dengesi durumu iyi olmayan bir ülke kuruluşuna verilen krediden daha yüksek riskli görülmüş ve bu yolla yine yukarıda açıklanan benzer şekilde Bankaların verilebilir kredi havuzunun daralması dolayısıyla karlılıkların azalması sonucu ortaya çıkmıştır.

Basel I uzlaşısında riskin kredi riski ile tutulmasına getirilen eleştiriler karşılık bulmuş, 1996 yılında yapılan güncelleme ile piyasa riski Sermaye yeterlilik rasyosu hesaplamasına dahil edilmiştir. (Yıldırım, 2015) Piyasa Riski; faiz oranları, döviz kurları, hisse senetleri gibi finansal yatırım araçlarında yaşanabilecek dalgalanmalar nedeniyle Bankanın karşı karşıya kalabileceği zarar riskini ifade etmektedir. Sermaye yeterlilik

rasyosu hesabına payda da yer alan kredi riskine sermaye benzeri krediler olarak açıklanan üçüncü kuşak sermayenin eklenmesi şeklinde girmiştir. (Ay, 2010)

Risk ağırlıklandırılmasında ilişkin bu yaklaşımlar, Bankaların olası kriz durumlarında dayanıklılıklarının ölçülmesinde de hatalı sonuçlar ortaya çıkmasına sebebiyet verebilecektir.

Basel I, sınırlamalarına rağmen, bankaların kayıpları karşılamak için minimum düzeyde sermaye bulundurmalarını sağlayarak finansal istikrarın desteklenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Aynı zamanda, bankacılık denetimi için küresel standart haline gelen, getirilen eleştirilen göz önünde bulundurularak geliştirilen müteakip Basel Uzlaşmaları için temel oluşturmuştur.

1.2.1.2.1.1 Basel I Uzlaşısının Türk Mevzuatındaki Yeri

Basel I uzlaşısı dünya bankacılık sisteminde yer bulduğu gibi Türkiye’de de kabul görmüş ve mevzuatımıza aktararak yasal zeminde uygulanması sağlanmıştır. Düzenleyici kurum Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı tarafından 26 Ekim 1989 tarih ve 20234 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan, 3182 sayılı Bankalar Kanunu’na ilişkin 6 sayılı tebliğ ile Basel I uzlaşısı bankacılık mevzuatımıza girmiştir. (Külahi v.d., 2013) Tebliğde, bankaların sermaye artırımlarının ve öz kaynaklarının olası riskler karşısında güçlü tutulmasının ve bu gibi hallerde sermaye yetersizliğinden doğabilecek riskin azaltılmasının amaçlandığı belirtilmiştir. Basel I uzlaşısı ile uyumlu bir biçimde ana sermaye, katkı sermaye tanımlamaları yapılmıştır. Diğer taraftan Sermaye Yeterlilik Oranı belirlenmesinde esnekliğe gidilmiş ve bankacılık sektörünün yeni getirilen düzenlemeye uyumlaştırılması için kademeli geçiş öngörülmüştür. Bu çerçevede Basel I

uzlaşısında %8 olarak öngörülen asgari oran ölkemizde 1989 yılı için %5, 1990 yılı için %6, 1991 yılı için %7, 1992 yılı için %8 olarak belirlenmiştir⁶.

1995 yılında, 6 sayılı Tebliğ gözden geçirilmiş ve 9 Şubat 1995 tarihli 22197 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 3182 sayılı Bankalar Kanunu'na ilişkin 12 sayılı tebliğ ile yürürlükten kaldırılarak, tanımlamalar yeniden yapılmış ve Sermaye yeterlilik rasyosuna ilaveten, Bankanın sermayesinin alt açılımları olan ana ve katkı sermaye tutarlarının analiz edilebilmesi için "katkı sermayenin ana sermayeye oranı" ve "alınan sermaye benzeri kredilerin ana sermayeye oranı" olmak üzere iki yeni oranın da düzenleyici kurum Hazine Müsteşarlığına gönderileceği hükme bağlanmıştır. 12 sayılı Tebliğ ile ayrıca daha önceki tebliğ ile yılda bir kez olarak düzenlenen bildirim sıklığı Mart, Haziran, Eylül ve Aralık ayları sonları olmak üzere yılda 4 kez olarak yeniden düzenlenmiştir⁷. (Külahi v.d, 2013)

1996 yılında Basel Komitesince piyasa riskinin Uzlaşıya eklenmesinin ardından, Hazine Müsteşarlığı tarafından hazırlanan Bankaların Sermaye Yeterliliğinin Ölçülmesine ve Değerlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ ile düzenleme mevzuatımıza aktarılmıştır. 30.06.1998 tarihinde 23388 sayılı Mükerrer Resmi Gazete'de yayımlanan Tebliğ ile 12 sayılı Tebliğ yürürlükten kaldırılmış ve daha önceki düzenlemelerde yer alan tanımlamalara ilaveten Üçüncü Kuşak Sermaye ve Potansiyel Riskler tanımlamalarına yer verilmiştir. "Üçüncü Kuşak Sermaye", sermaye benzeri krediler dışında, detayları Müsteşarlığınca belirlenecek uzun vadeli borçlar olarak tanımlanmıştır. Potansiyel Risklerin ise temel olarak Basel I uzlaşısında belirtildiği gibi Kredi Riski ve Piyasa Riski olduğu belirtilmiştir. Kredi Riskinin standart rasyo hesabına nasıl dahil edileceği diğer düzenlemelerde olduğu gibi aktarılmış, piyasa riskinin standart rasyo hesabına nasıl aktarılacağı ise ileride yapılacak düzenlemelere bırakılmıştır⁸.

⁶ <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20234.pdf> Erişim tarihi 14.04.2023

⁷ <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/22197.pdf> Erişim tarihi 14.04.2023

⁸ https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/23388_1.pdf Erişim tarihi 14.04.2023

1.2.1.2.2 Basel II Uzlaşısı

Basel I uzlaşısının yayınlanması ve uygulamaya konmasından sonra yaşanan Bankacılık krizleri, düzenlemenin gözden geçirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu çerçevede Komite tarafından Basel II uzlaşısı hazırlanmıştır. Basel II uzlaşısına nihai hali verilmeden önce 1999, 2001 ve 2003 yıllarında istişari metinler açıklanmış, Uzlaşının nihai metni 2004 yılında yayınlanmıştır. 2006 yılında ise Uzlaşının gözden geçirilmiş kapsamlı revizyonu yayınlanmıştır. (Topçu, 2007)

Basel II uzlaşısı, bankaların daha iyi bir risk yönetimi kültürü oluşturmasını ve finansal istikrarı sağlamak için daha sağlam bir bankacılık sistemi oluşturmasını hedefler. Basel II düzenlemeleri ile bankaların risk yönetimi süreçlerinin daha iyi ve daha etkili hale getirilmesi suretiyle, risklerin daha iyi anlaşılması ve yönetilmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bankaların risklerini daha iyi ölçebilmesi, sermaye yeterliliği gereksinimlerini daha doğru bir şekilde belirleyebilmelerine olanak sağlayacaktır.

Bunun yanı sıra, Basel II'nin bir diğer önemli hedefi de finansal istikrarı sağlamaktır. Bu, bankaların daha iyi bir risk yönetimi kültürü oluşturmasına ve finansal piyasaların daha şeffaf ve güvenli bir hale gelmesine yardımcı olacak şekilde, sermaye yeterliliği ölçümlerinin etkinliğini artırmakla mümkündür. (Tanyıldız, 2007)

Basel II Uzlaşısında, daha önce Basel I uzlaşısına getirilen eleştiriler göz önünde bulundurularak bu alanlarda geliştirme yapılmıştır.

İki uzlaşısı arasındaki temel farkları incelersek;

- Basel II kriterleri ile Basel I kriterlerinde yer alan, kredi riski ağırlıklandırmasında kredi kullanan tarafın OECD ülkesi olup olmamasına dayanan “kulüp kuralı” (club rule) kaldırılmaktadır.
- Basel I Uzlaşısında sermaye ayrılma zorunluluğu yalnızca kredi ve piyasa riskleri için getirilmişken Basel II kriterleri ile sermaye ayrılma zorunluluğu olan risklere operasyonel riskler eklenmiştir.
- Basel I Uzlaşısında kredi riskine ilişkin ağırlıklandırma, kredinin kullanıldığı ülke ve kuruma göre statik olarak belirlenmişken Basel II uzlaşısında bu durum

daha esnek hale getirilmiştir. Krediyi kullanan kurum için Uluslararası Derecelendirme Şirketleri tarafından oluşturulan nota göre risk ağırlıklandırması değişmektedir. Diğer taraftan bir başka esneklik daha getirilerek, ülkelerinin bankacılık düzenleme otoritelerinin izin vermesi halinde Bankaların kendi bünyelerinde yapacakları risk değerlendirme süreçleri ile kredi riskini belirleyebileceklerine yer verilmiştir.

- Basel II Uzlaşısı ile Basel I uzlaşısında olmayan bir düzenlemeye gidilmiş ve ülkelerin bankacılık denetim otoritesince; Bankaların kendi içlerinde yapacakları sermaye yeterliliği değerlendirme sürecinin ve Bankalarca belirlenen sermaye yeterliliğinin, denetlenmesi ve değerlendirilmesi mekanizması getirilmiştir.
- Basel II Uzlaşısı ile Bankaların yeni uzlaşma çerçevesindeki sermaye yeterliliklerine ilişkin bilgileri kamuoyuyla paylaşmaları gerekliliği getirilmiştir. Basel I uzlaşısında böyle bir düzenleme bulunmamaktadır.
- Basel I Uzlaşısında esas olan asgari sermaye gerekliliği oranının sağlanması iken Basel II uzlaşısında asgari sermaye yeterliliğine ilaveten Bankaların gözetim ve denetimi ile piyasa disiplininin gerekliliğine de vurgu yapılmaktadır.
- Basel II Uzlaşısında riskin tespitinde esneklik bulunmakta, kredi kullanan kuruluşlar ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Basel I Uzlaşısında ise daha önce belirtilen herkese tek beden elbise yaklaşımı bulunmaktadır.
- Basel I Uzlaşısı sürdürülebilir bir piyasa için banka sermayesinin güçlü olmasına vurgu yapılmıştır. Basel II Uzlaşısında ise bankaların kendi iç risk yöntemleri, denetim otoritesinin incelemesi ve piyasa disiplini gibi ilave mekanizmalar getirilerek finansal sistemin sürdürülebilirliğinin sağlanacağı vurgulanmıştır. (Ay,2010)

Basel II Kriterleri asgari sermaye yeterliliği, denetim otoritesinin inceleme süreci ve piyasa disiplini olmak üzere üç yapısal bloktan oluşmaktadır. (Yıldırım, 2015)

“Birinci Yapısal Blok,” bankaların karşı karşıya oldukları piyasa, kredi ve operasyonel risklere karşılık olarak sağlamaları gereken asgari sermaye gerekliliklerinin belirlenmesini içermektedir. Uzlaşının bu bölümünde piyasa, kredi ve operasyonel risklere karşı Bankaların tutmaları gereken asgari sermaye miktarının hesaplanmasına ilişkin alternatif yöntemlere yer verilmiştir.

Uzlaşının Denetim Otoritesinin İnceleme Süreci başlıklı “İkinci Yapısal Blok” bölümünde Bankalarca hazırlanan gereksinimin ve hesaplamalarının otorite tarafından nasıl denetleneceğine ilişkin düzenlemelere yer verilmiştir.

Uzlaşının Piyasa Disiplini başlıklı “Üçüncü Yapısal Blok” bölümü ise bankaların kamuya açıklamaları gereken hususları belirten ve bu açıklamaların kapsamını, şeklini ve periyodlarını ortaya koyan bölümdür. Bu açıklamalar, piyasa katılımcılarının bankalar hakkında doğru ve yeterli bilgiye sahip olmalarını sağlar ve böylece yatırım kararlarını daha rasyonel bir şekilde vermelerine olanak tanır. Bu blok, bankaların şeffaflığını ve hesap verebilirliğini artırmayı ve piyasa disiplinini güçlendirmeyi amaçlamaktadır. (Köksal v.d., 2020)

1.2.1.2.2.1 Basel II Uzlaşısı – Birinci Yapısal Blok - Asgari Sermaye Gereksinimini

Basel II Uzlaşısının Birinci Yapısal Bloğunda Bankaların tutmaları gereken asgari sermaye tutarının hesaplanmasına ilişkin sayısal ölçümlere yer verilmiştir. Basel I Uzlaşısının temelini teşkil eden Asgari Sermaye Yeterlilik Oranı hesaplama yöntemi bu Uzlaşıda da kullanılmıştır. Bu oranın hesaplanmasında kullanılan kredi riski ve piyasa riskine operasyonel risk de dahil edilmiştir.

$$\text{Sermaye Yeterlilik Rasyosu} = \frac{\text{Toplam Sermaye}}{\text{Kredi Riski} + \text{Piyasa Riski} + \text{Operasyonel Risk}} \geq 8.$$

Basel II’de kredi riskinin tanımı Basel I Uzlaşısı ile aynı olmakla birlikte ağırlıklandırmada risk değerlendirmesine göre farklılıklar bulunmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi “Kredi Riski” kredi verilen kurum veya özel sektör kuruluşunun krediyi zamanında, sözleşme şartlarına uygun bir biçimde ödeyip ödemeyeceğine ilişkin zarar algısıdır.

Basel II kredi riskinin belirlenmesinde uluslararası derecelendirme kuruluşlarınca verilen kredi notlarının risk ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılabileceğini düzenlemiştir. Bu şekilde bir kredi riski hesaplamasına standart yaklaşım denilmektedir. Standart Yaklaşım Çerçevesinde Risk Ağırlıklı Varlıklara İlişkin Oranlar Tablo 3’te yer almaktadır.

VARLIKLAR	Opsiyonlar	AAA/AA-	A+ /A-	BBB+ /BBB-	BB+ /B-	B-'nin Altı	Derecesi Olmayan
Hazine/Merkez Bankalarına Verilen Krediler ⁸	ECAI Notuna Göre	%0	%20	%50	%100	%150	%100
Diğer Kamu Kurum ve Kuruluşlarına Verilen Krediler	Hazine Benzeri	%0	%20	%50	%100	%150	%100
	Opsiyon-1	%20	%50	%100	%100	%150	%100
	Opsiyon-2	%20	%50	%50	%100	%150	%20
Bankalara Verilen Krediler	Opsiyon-1	%20	%50	%100	%100	%150	%100
	Opsiyon-2	%20	%50	%50	%100	%150	%50
	Ops.-2 (Kısa Vade)	%20	%20	%20	%50	%150	%20
VARLIKLAR		AAA/AA-	A+ /A-	BBB+ /BB-	BB-'nin Altı	Derecesi Olmayan	
Şirketlere Verilen Krediler		%20	%50	%100	%150	%100	
VARLIKLAR					Risk Ağırlıkları		
Perakende Krediler					%75		
İkamet Amaçlı Gayri Menkul Kredileri					%35		
Takipteki Alacaklar					Belli koşullara göre %50, %100 veya %150		

Tablo 3- Standart Yaklaşımında Kullanılan Risk Ağırlıkları

Kullanılacak risk ağırlıkları, “Opsiyon-1”de karşı tarafın yer aldığı ülkenin Hazinesine ilişkin risklerin tabi olduğu risk ağırlığının bir derece fazlası olurken, “Opsiyon-2”de karşı tarafın kendi derecelendirme notu dikkate alınarak belirlenmektedir. (Yayla ve Kaya, 2005)

Basel II uzlaşısında Kredi Riskinin İçsel Derecelendirme Yaklaşımı ile de hesaplanabileceği öngörülmüştür. İçsel Derecelendirmeye Dayalı Yaklaşım da kendi içinde Temel Yaklaşım ve Gelişmiş İçsel Derecelendirme Yaklaşımı olarak ikiye ayrılmaktadır. İçsel derecelendirme yaklaşımı, bankaların kullandırılan kredilere ilişkin risklerini değerlendirmek için kendi iç yöntemlerini kullanmalarını sağlamaktadır.

Bu yaklaşım, bankaların müşterilerinin kredi riskini ölçmek için kendi iç verilerini kullanmalarına ve her bir müşteri için ayrı ayrı risk profilleri oluşturmalarına olanak tanımaktadır. Bankaların, müşterilerinin kredi risklerinin derecesini belirlemek için müşterilerinin kredi geçmişi, finansal durumu, ödeme kapasitesi ve iş yapma geçmişi gibi çeşitli faktörleri dikkate almaları gerekmektedir.

Bankaların, kredi riski değerlendirme sürecini kapsamlı bir şekilde yönetmek ve doğru bir şekilde değerlendirmek için kredi süreçlerini sürekli olarak izlemelerini gerektirmektedir. İçsel derecelendirme yaklaşımı, bankaların kredi risklerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine ve sermaye yeterliliklerini daha doğru bir şekilde hesaplamalarına olanak tanımaktadır.

İçsel derecelendirme yöntemi oldukça gelişmiş ve komplike bir hesaplama yöntemi olup kredi riskinin temerrüde düşme olasılığı, temerrüt halindeki kayıp, temerrüt halindeki riskli tutar, vade, beklenen ve beklenmeyen zarar parametrelerinin kullanılması ile hesaplanmasını içermektedir. (Gürel v.d., 2012)

Basel II uzlaşısında yer alan Piyasa riski Basel I uzlaşısı ile paralellik göstermektedir. Piyasa riski, bankaların hisse senetleri, tahviller, dövizler, emtialar ve diğer finansal varlıklar gibi portföylerindeki pozisyonlarının değerinin piyasa dalgalanmalarına bağlı olarak artması veya azalmasıyla ortaya çıkabilmektedir. Bu dalgalanmalar, faiz oranlarındaki değişiklikler, döviz kurlarındaki dalgalanmalar, fiyat hareketleri ve diğer piyasa faktörleri nedeniyle oluşabilir. (Tanyıldız, 2007)

Basel II'ye göre, operasyonel risk, finansal kurumların faaliyetleri sırasında ortaya çıkabilecek kayıplar veya zararlar için olası bir risktir. Operasyonel risk, bir finansal kurumun iç süreçleri, insan faktörleri, sistemler ve harici faktörler nedeniyle meydana gelebilir. İş süreçleri ile ilgili olarak finansal kurumların operasyonel süreçlerindeki hatalar veya eksiklikler, yanlış veya eksik bilgi işlem, iş süreçlerinin doğru şekilde yürütülmemesi veya mevcut iş süreçleri ile ilgili kontrollerin yetersiz olması operasyonel risk yaratabilir. Personel açısından bakıldığında finansal kurumlarda çalışanların yetersizliği, hata yapması, dolandırıcılık ve hırsızlık yapması operasyonel risk oluşturabilir. Sistemler kaynaklı operasyonel risk, finansal kurumların kullandığı sistemlerdeki arızalar, yazılım veya donanım hataları, sistem güvenliği sorunları, yanlış veya eksik veri girişi veya veri kaybı nedeniyle oluşabilecektir. Tüm bunların yanı sıra finansal kurumların faaliyetleri ile ilgili doğal afetler, terör saldırıları, ekonomik krizler, hukuki yasal düzenlemeler veya düzenleyici değişiklikler gibi harici faktörler operasyonel risk yaratabilmektedir. Basel II uzlaşısında bankalardan bu riskleri için de sermaye bulundurmaları istenmektedir. (Özpek, 2014)

Basel II uzlaşısında operasyonel riskin Temel Gösterge Yaklaşımı, Standart Yaklaşım ve İleri Ölçüm Yaklaşımı olmak üzere üç farklı yöntemle hesaplanabileceğine yer verilmiştir. (MAZIBAŞ, 2005) Operasyonel riskin hesaplanmasında kullanılan Temel Gösterge Yaklaşımında, sermaye yükümlülüğü son üç yılın ortalama brüt gelirinin yüzde 15'ne eşittir. Standart Yaklaşımında ise üç yıllık ortalama brüt gelir sekiz ayrı faaliyet kolu olarak ayrıştırılmakta ve faaliyet kollarına ilişkin brüt gelir %12, %15 ve %18 oranındaki katsayılarla çarpılarak toplam sermaye yükümlülüğü bulunmaktadır. Alternatif Standart Yaklaşımında ise perakende ve kurumsal bankacılıkta brüt gelir yerine bu faaliyet kollarındaki alacakların yüzde 3,5'i kullanılmakta, diğer faaliyet kolları için ise yine brüt gelir kavramı benimsenerek Standart Yaklaşımındaki hesaplamanın benzeri yapılmaktadır. (Yayla ve Kaya, 2005) İleri Ölçüm Yaklaşımı için ise bir ölçüm yöntemi belirlenmemiş, riskin ölçümünde Bankaların çeşitli ve derinlemesine ölçüm yöntemi belirlemesini teşvik ederek, ölçüme ilişkin yaklaşımlara yer verilmiştir. (Mazıbaş, 2005)

Diğer taraftan, Çalışmamızın konusu ile doğrudan ilişkili olan "Tahsili Gecikmiş Alacaklar" da Basel II uzlaşısında kredi riskinin hesaplanmasında ayrı bir başlık altında incelenmiştir.

Basel II uzlaşısında tahsili gecikmiş alacaklar için risk ağırlığı "*İkamet amaçlı gayrimenkul ipotek kredileri hariç olmak üzere tahsili 90 günden fazla gecikmiş bulunan teminatsız kısmının özel karşılıklar düşüldükten (zarar kaydedilen kısımlar da dahil) sonra kalan net tutarı için uygulanacak risk ağırlığı;*

- Özel karşılıkların kredinin ödenmemiş kısmının %20'sinden az olması halinde, %150 risk ağırlığı;
- Özel karşılıkların kredinin ödenmemiş kısmının %20'sinden az olmaması halinde, %100 risk ağırlığı;
- Özel karşılıkların kredinin ödenmemiş kısmının %50'sinden az olmaması halinde, %100 risk ağırlığı uygulanacak; ancak denetim otoritesi ulusal uygulama tercihine bağlı olarak bu risk ağırlığı oranını %50'ye düşürebilecektir.

İkamet amaçlı krediler, tahsilinde 90 günden fazla gecikme olduğu takdirde, özel karşılıklardan sonra kalan net tutarı üzerinden %100 risk ağırlığına tâbi tutulacaktır. Bu kredilerin vadesinin geçmesi durumunda, özel karşılıkların bakiyenin %20'sinin altında

olmaması koşuluyla, kalan tutara uygulanacak risk ağırlığı oranı, ulusal uygulama tercihine bağlı olarak, %50'ye düşürülebilir.” şeklinde düzenlenmiştir. (Basel Bankacılık Komitesi, 2004)

1.2.1.2.2.2 Basel II Uzlaşısı – İkinci Yapısal Blok- Denetim Otoritesinin İnceleme Süreci

Basel II, finansal kurumların sermaye yeterliliğini ölçmek için bir dizi standart belirlerken, bu kurumların denetimini de kapsamaktadır. Uzlaşının İkinci Yapısal Blok bölümünde yer alan bu düzenlemeler, finansal kuruluşların faaliyetlerini yürütürken uygun risk yönetimi ve sermaye yönetimi süreçlerini uyguladıklarından emin olmak için ulusal otoritelere denetim ve düzenleme yetkisi vermiştir.

Bu denetim ve düzenleme yetkisi, bankaların faaliyetlerinin güvenliğini ve istikrarını korumak ve finansal sistemin genel sağlığına katkıda bulunmak amacıyla kullanılmaktadır. Ulusal otoriteler, finansal kurumların faaliyetlerini düzenli olarak denetleyerek, finansal kuruluşların risk yönetimi süreçlerini, sermaye yeterliliklerini, likidite yönetimlerini ve risklere maruz kalma durumlarını takip etmektedir.

Bu denetim ve düzenleme yetkisi, finansal kurumların faaliyetlerinin şeffaflığını ve hesap verilebilirliğini artırırken, finansal piyasaların istikrarını ve güvenilirliğini de sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Ulusal otoriteler, hedeflenen sermaye yeterliliği amacına ulaşabilmek için, Asgari Sermaye Yeterlilik Oranına ilave olarak, hedef rasyolar belirleyebilmekte, ayrıca bankaların sermaye gereksinimlerinin asgari düzeyin altına düşmesi durumunda “erken eylem” kapsamında bankalara talimat vererek olaya erken müdahale edebilmektedir. Erken eylem, finansal kurumların sermaye yeterliliklerinin belirli bir seviyenin altına düşmesi durumunda uygulamaları gereken ek önlemleri ifade eder. Bu önlemler, finansal kurumların hızlı bir şekilde sermaye yeterliliklerini artırmalarını sağlamak için tasarlanmıştır. (Gürel v.d., 2012)

1.2.1.2.2.3 Basel II Uzlaşısı – Üçüncü Yapısal Blok – Piyasa Disiplini

Üçüncü yapısal blok, piyasa disiplininin sağlanması amacıyla oluşturulmuştur. Uzlaşının bu bölümünde, bankalar arasında karşılaştırma yapılabilmesi ve şeffaflığın sağlanmasını teminen, bankaların sahip oldukları sermaye ile sermaye yeterliliği ve risk değerlendirme yöntemleri gibi önemli konularda kamuya açıklama yapma (disclosure) gerekliliği getirilmiştir.

Üçüncü yapısal blokta belirlenen açıklama standartlarının, ulusal muhasebe standartları ile uyumlu olacak şekilde diğer bir ifadeyle, açıklama standartlarının ulusal muhasebe standartları ile çelişmeyecek şekilde belirlenmesi gerektiği düzenlenmiştir. Ayrıca, bankaların sermaye yeterliliği ve risk yönetimi konusunda kamuya daha fazla bilgi vermesi, piyasa disiplini sağlayarak finansal istikrarın korunmasına yardımcı olacaktır.

Üçüncü Yapısal Blok, bankaların finansal durumları hakkında daha fazla bilgi vererek yatırımcıların, analistlerin ve diğer paydaşların doğru kararlar vermelerine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Açıklama yapılması gereken konular arasında, risk yönetimi politikaları, sermaye yeterliliği oranları, aktif kalitesi, likidite riski, kredi riski, piyasa riski ve operasyonel riskler gibi konular yer almaktadır. (Yayla ve Kaya, 2005)

1.2.1.2.2.4 Basel II Uzlaşısının Türk Mevzuatındaki Yeri

Basel II uzlaşısı da tıpkı Basel I uzlaşısında olduğu gibi ülkemizde de kabul görmüş ve mevzuatımıza aktarılarak yasal zemine oturtulmuştur. Türkiye'de Basel II kriterleri, 2006 yılında 26333 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Bankaların Sermaye Yeterliliğinin Ölçülmesine ve Değerlendirilmesine İlişkin Yönetmelik"⁹ ile birlikte uygulanmaya başlamıştır. Bu yönetmelik, Basel II Kriterlerinde belirtilen sermaye ölçüm yöntemlerinin Türkiye'deki bankalar tarafından da uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

⁹ <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/11/20061101-20.htm> Erişim tarihi 14.04.2023

Ayrıca, 2007 yılında Türkiye'de Operasyonel Risk kavramı da ölçümlere eklenmiştir. Bu da bankaların risk yönetimi stratejilerini daha kapsamlı bir şekilde ele almalarını sağlamıştır.

Tam anlamıyla uygulamanın başlaması ise 2008 yılına denk gelmektedir. Bu tarihten itibaren Türkiye'deki bankalar, Basel II kriterlerine uygun olarak sermaye yeterliliklerini ölçmekte ve raporlamaktadırlar. Bu sayede Türkiye'de de sağlam ve etkin bir bankacılık sistemi oluşturulması ve finansal istikrarın sağlanması hedeflenmektedir.

Basel II Kriterlerinin uygulanmasıyla ilgili olarak Türkiye'de diğer düzenlemeler de bulunmaktadır. Örneğin, Türkiye Bankalar Birliği (TBB) tarafından hazırlanan "Sermaye Yeterliliği İzleme Raporlaması Rehberi" gibi sektörel rehberler mevcuttur. Ayrıca, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) tarafından da bankaların sermaye yeterliliği ve risk yönetimi konularında düzenlemeler yapılmaktadır.

1.2.1.2.3 Basel III Uzlaşısı

ABD'deki konut piyasasındaki balonun patlamasıyla başlayan 2008 bankacılık krizi, daha önceki Basel Uzlaşıları ile getirilen düzenlemelerin, finansal istikrarı sağlamakta yetersiz kaldığı eleştirilerini gündeme getirmiştir. Kriz öncesinde Bankalar, müşterilerine yüksek riskli konut kredileri vermiş, bu krediler daha sonra diğer finansal araçlara dönüştürülerek yatırımcılara satılmıştır. Konut kredilerinin büyük bir kısmının geri ödenmemesi ve bunun sonucunda diğer finansal araçlar da değer kaybetmiştir. Bu durum, finansal sistemde büyük bir krize yol açmış, Lehman Brothers gibi büyük ölçekli bir yatırım kuruluşunun iflasına ve devamında büyük Bankacılık krizi patlak vermiştir. Basel I ve II düzenlemeleri yürürlükte iken bu denli büyük bir finansal istikrarsızlık yaşanması Basel düzenlemelerinde revizyon çalışmalarını başlatmıştır. Basel III Uzlaşısı, 2008 küresel mali krizi sonrasında, getirilen eleştirilere yanıt olarak Komite tarafından oluşturulmuştur.

Basel III Uzlaşısı ile esasen daha önceki Basel II uzlaşısının devamı niteliğindedir. Basel III Uzlaşısı ile; Basel II Uzlaşısına getirilen eleştiriler çerçevesinde sistemin daha iyi hale getirilmesini teminen bazı yenilikler getirilmiştir (Cicoğlu ve Çil, 2019)

Basel III düzenlemesi ile getirilen yeni düzenlemeler başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır.

Artan sermaye gereksinimleri: Getirilen düzenlemelerle ana sermaye ya da çekirdek sermaye tanımlamaları değiştirilmiş ve en kaliteli sermaye kalemlerinden oluşmaları sağlanmıştır. Bazı sermaye kalemleri ise sermaye hesaplamasında indirim kalemi olarak dikkate alınmıştır. Böylelikle sermayenin niteliği artırılmıştır. Aynı zamanda sermayede niceliksel artışa gidilmiş ve Basel III Uzlaşısı ile bankaların zararları karşılayabilmeleri ve faaliyetlerini destekleyebilmeleri için gerekli asgari çekirdek ve ana sermaye oranları yükseltilmiştir. Asgari Çekirdek Sermaye Gerekliliği %2'den 4,5'e çıkarılmıştır. Ayrıca ortaya çıkabilecek risklere karşı %2,5 sermaye tamponu düzenlemesine gidilerek oran aslında %7'ye çıkarılmış olmaktadır. Asgari Ana Sermaye Gerekliliği ise %8'den %10,5'e çıkarılmıştır. (Cicoğlu ve Çil, 2019)

Likidite gereklilikleri: Basel III, bankaların stres zamanlarında fonlama ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli likiditeye sahip olmalarını sağlamak amacıyla, asgari oranları %100 olan Likidite Karşılama Oranı ve Net İstikrarlı Fonlama Oranı gibi yeni likidite standartları getirilmiş ancak 2018 yılına kadar süren uzun bir uyum süreci verilmiştir. (Özpek, 2014)

$$\text{Likidite Karşılama Oranı} = \frac{\text{Likit Varlıklar}}{\text{30 gün içinde gerçekleşecek net nakit çıkışları}} \geq 1.$$

Kaldıraç oranı: Basel III, aşırı kaldıraç sınırlamak ve sermaye gereksinimlerinin risk duyarlılığını artırmak için bilanço dışı kalemler ve aktifler toplamı ile ana sermaye arasında bir kaldıraç oranı getirilmiştir. Asgari oran kademeli olarak % 3 olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle bilanço büyüklüğünün ana sermayenin yaklaşık 33 katı kadar olabilmesine izin verilmiştir. (BDDK, 2010)

$$\text{Kaldıraç Oranı} = \frac{\text{Ana Sermaye}}{\text{Aktifler + Bilanço dışı kalemler}} \geq 3.$$

Sermaye Tamponu: Basel III Uzlaşısı, bankaların ekonomik genişleme dönemlerinde, stres zamanlarında azaltılabilecek konjonktür karşıtı bir tampon oluşturmasını şart

koşmaktadır. Böylelikle Bankaların ani gelişen şoklar karşısında daha güçle durabilmeleri amaçlanmıştır. (Gürel v.d. 2012)

Sistemik olarak önemli bankalar: Basel III, sistemik olarak önemli bankalar için daha yüksek sermaye tamponları ve daha sık stres testi gibi ek düzenleyici gereklilikler getirdi.

Genel olarak Basel III, sermayenin niteliğini ve niceliğini iyileştirerek, bankaların risk yönetimi uygulamalarını geliştirerek ve şeffaflıklarını ve açıklamalarını artırarak daha dayanıklı bir bankacılık sistemini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Basel III dünya çapındaki Bankacılık Düzenleme otoriteleri tarafından aşamalı olarak uygulanmaya başlanmıştır.

1.2.1.2.3 Basel III Uzlaşısının Türk Mevzuatındaki Yeri

Basel III Uzlaşısı da diğer Basel Uzlaşıları gibi ülkemizde aşamalı olarak uygulanmaya başlanmıştır. Mevzuat hazırlıkları Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) tarafından tamamlanmış ve 5 Eylül 2013 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan tarafından, “Bankaların Özkaynaklarına İlişkin Yönetmelik” ile “Bankaların Sermaye Yeterliliğinin Ölçülmesine ve Değerlendirilmesine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile Basel III düzenlemelerinin mevzuatımıza aktarılmasına başlanmıştır. 2013-2015 yılları arasında yapılan revizyonlarla Basel III Uzlaşısına uyuma dönük olarak ise likidite, kaldıraç ve sermaye tamponlarına ilişkin düzenlemeler mevzuatımıza aktarılmıştır.

1.2.1.2.4 Basel IV Uzlaşısı

Basel Komitesi tarafından Basel III Uzlaşısı çerçevesinde yapılan kredi riski ve operasyon riskinin hesaplama yöntemlerinde görülen aksaklıklar ve bu aksaklıklar sonucunda asgari sermaye yeterlik rasyosunun yanıltıcı sonuçlar vermesinin önüne geçilmesi amacıyla Basel III Uzlaşısında bazı revizyonlara gidilmiştir. (Köksal v.d., 2020) Her ne kadar Komite Genel Sekreteri tarafından yapılan açıklamada, yapılan revizyonların Basel IV olarak sınıflandırılacak kadar köklü değişimler olmadığı, esasen Bankaların risk ağırlıklı varlıklarının modellenmesinde görülen büyük değişkenliklerin ortadan

kaldırılmasının amaçlandığı belirtilse de¹⁰ değişiklikler uluslararası finans çevrelerince “Basel IV” olarak adlandırılmıştır. (Köksal v.d., 2020) Keza BDDK tarafından Basel Uzlaşmalarına ilişkin Sıkça Sorulan Sorular Bölümünde 2017 yılında Basel IV Uzlaşmasının 2017 yılında yayımlandığı belirtilmiştir¹¹.

Söz konusu revizyonlar temel olarak, risk hesaplamalarında Bankalara önemli ölçüde esneklik getiren içsel hesaplama yöntemlerinin sınırlandırılması ve Global Systemically Important Banks (G-SIB) olarak sınıflandırılan, küresel ölçekte faaliyet gösteren Bankalar kaldıraç oranı tamponu uygulamasını içermektedir. (Köksal v.d., 2020) Basel IV ya da Basel 3.1 olarak adlandırılan düzenlemelerin uygulanma başlangıcı 1 Ocak 2022 olarak düzenlenmiş olsa da daha sonrasında tüm dünyayı etkileyen COVID-19 pandemisi nedeniyle 1 Ocak 2023’e ertelenmiş ancak bugün itibarıyla Uzlaşma kapsamında henüz bir uygulama yapılmamıştır. Global ölçekte denetim, vergi ve danışmanlık hizmetleri sunan İsviçre merkezli KPMG Şirketi tarafından düzenlemelerin uygulanmaya başlanmasının 2024 yılını bulabileceği tahmin edilmektedir. (KPMG Web Sitesi)

1.2.2. Gecikmiş Alacaklara İlişkin Bir Örnek

Bu bölümde bir örnek üzerinden gecikmiş alacakların banka bilanço ve gelir tablolarına ilişkisi irdelenecektir.

Aşağıda basitleştirilmiş bir banka bilançosu yer almaktadır. Bu bankanın 3 adet kredisi olduğunu ve bunların toplamının 10.000.000 TL olduğunu varsayılmıştır.

¹⁰ <https://www.bis.org/speeches/sp160405.htm> Erişim tarihi 14.04.2023

¹¹ <https://www.bddk.org.tr/Sss/Liste/108> Erişim tarihi 14.04.2023

Bu örnekte her şeyin yolunda gitmesi ve yıl sonunda alacaklarını tamamen tahsil edebilmesi durumunda 2023 yılı gelir tablosu kabaca şu şekilde olacaktır.

Hesap	Tutar
Faiz Gelirleri	3.300.000
Hazır Değerlerden	800.000
Kredilerden	1.500.000
Yatırım Amaçlı Değerlerden	1.000.000
Faiz Giderleri	2.900.000
Brüt Kar	400.000
Operasyon Giderleri	150.000
Olağan Kar	250.000
Ayrılan Karşılıklar	0
Net Kar	250.000
Kar yüzdesi	%25

İşlerin iyi gitmesi durumunda A bankası 250.000 TL para kazanacak, bu da sermayesi üzerinden %25 kara tekabül edecektir. Bu karın da dağıtılmadan sermayeye eklenmesi

durumunda ise sermaye 2024 yılında 1.250.000 TL'ye çıkacak ve verebileceği kredi tutarı 12.500.000 TL'ye çıkabilecektir. Dolayısıyla, ilerleyen dönemlerde elde edebileceği kar tutarı da artacaktır. Örneğin 2024 döneminde, aynı mevduat kredi marjı olan (%15-%10 =) %5 ile çalışması durumunda $2.500.000 \times \%5 = 125.000$ TL fazladan kar elde etme şansı olacaktır.

Karşılaştırma adına, C kredisinin tahsil edilememesi durumu ele alınmıştır. En küçük kredi olan C kredisinin tahsil edilemediğini ve zarar yazıldığını varsayılırsa, oluşacak gelir tablosu şu şekilde olacaktır:

Hesap	Tutar
Faiz Gelirleri	3.225.000
Hazır Değerlerden	800.000
Kredilerden	1.425.000
Yatırım Amaçlı Değerlerden	1.000.000
Faiz Giderleri	2.900.000
Brüt Kar	325.000
Operasyon Giderleri	150.000
Olağan Kar	175.000
Ayrılan Karşılıklar	500.000

Net Zarar	325.000
Zarar yüzdesi	%32,5

Bu örneğimizde 3 farklı yerden zarar edilmektedir. Birincisi, A bankasının faiz geliri 75.000 TL azalmaktadır (500.000 x %15). Böylece olağan kar 75.000 TL azalmaktadır. İkincisi söz konusu kredi için karşılık ayrılmaktadır. Örneğimizde karşılık tutarı 500.000 TL'dir. Bu karşılık doğrudan gider yazıldığı için karı 500.000 TL azaltmaktadır. Bir önceki senaryoda 250.000 TL kar varken, şu anda 325.000 TL zarar oluşmaktadır. Yani toplamda 575.000 TL karda azalma olmaktadır. Sadece bir kredinin tahsil edilememesi bile sermayede %32,5 zarara sebep olmaktadır. Son zarar ise sermayenin azalması nedeniyle olmaktadır. Bu senaryoda sermaye $1.000.000 - 325.000 = 675.000$ TL'ye inmektedir, bu ise 2024 yılında verilebilecek kredi tutarını 6.750.000 TL'ye azaltmaktadır. Bunun da ileride karı iyice azaltacağı tabidir. Zira bankanın verebileceği kredi tutarı 3.250.000 TL azalmakta, mevduat-kredi marjı olan (%15-%10) %5'lik marj dikkate alındığında bankanın brüt karın 162.500 TL azalmaktadır. Alacakların tamamen tahsil edilebildiği durumda, ertesi yılda fazladan elde edebileceği kar tutarı 125.000 TL iken bu durumda bu karı elde edememekte ve hatta normal karında 162.500 TL azalma olmaktadır.

Sadece bu basit örnek bile, gecikmiş alacakların tahsilatının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Zira alacakların nispeten düşük bir kısmını oluşturan bir alacağın kaybı bile, karlı bir bankayı ciddi zararlı hale getirmekte, bankanın sermayesinin önemli bir kısmını kaybetmesine neden olmaktadır.

2008 ABD Bankacılık krizinde benzer bir durum yaşanmıştır. Söz konusu krizde, bankalar verdikleri kredileri bir süre sonra tahsil edememiş, dolayısıyla zararları büyümüş. Öncelikle kredi verdikleri tutarları azaltmakla kalmamış, verilmiş olan kredileri geri çağırılmışlar ve hatta kredilere bağlı teminatları da satmışlardır. Bu da krizin daha derinleşmesine ve Dünyaya yayılmasına neden olmuştur (Kamin ve DeMarco, 2012).

Çalışmamızın bir sonraki kısmında gecikmiş alacakların tahsilatına ilişkin olarak kullanmayı planladığımız sayısal model olan Güzergah Optimizasyonuna ilişkin teorik ve pratik çalışma yapılacaktır.

2. BÖLÜM: GÜZERGAH OPTİMİZASYON PROBLEMLERİ

2.1. EN KISA YOL PROBLEMİ (EKYP)

2.1.1. Genel Olarak En Kısa Yol Problemi

Güzergah optimizasyon problemlerine ilişkin literatürde en çok çalışılan ve yine en çok bilinen problem EKYP'dir. Bu problemi; herhangi iki nokta arasında, belli şartları sağlayan en kısa güzergah olarak tanımlamak mümkündür. En kısa yolu seçmek insanın doğasında mevcuttur. Aşağıda yer alan fotoğraflardan da görülebileceği üzere, en kısa yol tercih edildikçe, o yolda bulunan çimler ezilmiş, yeni bir yol oluşmuştur. Schrijver'e göre (2012) insanlık bu problemle, ilk dönemlerinden itibaren, uğraşmaktadır.



Şekil 1 - En kısa yol örneği¹²

¹² <https://austinknight.com/writing/desire-paths-and-real-world-ux> Erişim tarihi 05.09.2020

En kısa yolu sadece bir rota ya da güzergah ile kısıtlamak yanlış olacaktır. Farklı problemlere de uyarlanmaktadır. Aşağıdakiler bu tür problemlere örnektir:

- Robot navigasyonu
- Şehir trafik planlama.
- Tramp steamer problem.
- Mikro işlemcilerde elektrik akım problemleri.
- Parça lineer fonksiyonlarda yakınsama problemleri.
- Döviz piyasalarında arbitraj imkanları.
- IP rotalamalarında protokol hesaplamaları (Ahuja, 1993).

EKYP çözüm algoritmaları için 1950'lerden itibaren çalışmalar yapılmaktadır. Problemin çözümü için temelde 3 farklı algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların ilki Bellman-Ford algoritmasıdır (Bellman, 1958; Ford; 1956), Bellman-Ford algoritması bir düğümden başka bir düğüme en kısa yolu bulur. Negatif kenarlar dahil olmak üzere çözüm bulabilen bir algoritmadır. Karmaşıklığı $O(N^2)$ olarak hesaplanmaktadır. İkinci algoritma Dijkstra algoritması olarak bilinir (Dijkstra, 1959). Dijkstra algoritması, bir düğümden başka bir düğüme en kısa yolu bulmak için hızlı bir algoritma olarak geliştirilmiştir ve yığıt gibi uygun bir veri yapısı kullanıldığında, $O(N \log N)$ süre karmaşıklığına sahiptir. Bu algoritmanın zayıf tarafı ise negatif kenarlara müsaade etmemesidir. Sonucusu olan Floyd-Warshall algoritması bütün düğümlerden bütün düğümlere en kısa yolu bulabilen bir yöntemdir. Karmaşıklığı ise $O(N^3)$ olarak hesaplanmıştır. (Floyd, 1962)

EKYP matematiksel modeli aşağıda Model-1 olarak gösterilmektedir. Bu modelde bas, başlangıç düğümünü, bit ise bitiş düğümünü göstermektedir.

Kümeler:

$i \in N$: Düğümler Kümesi

$i, j \in N$ ve $(i,j) \in E$: Kenarlar Kümesi

Parametreler:

w_{ij} $i, j \in N$ ve $(i,j) \in E$: kenar ağırlıkları

Karar değişkenleri:

x_{ij} $i, j \in N$ ve $(i,j) \in E$

Amaç Fonksiyonu:

<p>Min</p> $\sum_{(i,j) \in E} x_{ij} w_{ij} \quad (1.1)$ <p>Kısıtlar:</p> $\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\} \quad (1.2)$ $\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1 \quad (1.3)$ $\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1 \quad (1.4)$ $w_{ij} \geq 0, \forall (i,j) \in E \quad (1.5)$ $x_{ij} \in 0,1, \forall (i,j) \in E \quad (1.6)$

Model 1- En Kısa Yol Problemi

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu, bütün kenarlar için x_{ij} değişkeninin çarpımları ile her kenara atanmış amaç ağırlık değerlerinin toplamından oluşur. Burada x_{ij} , kenarların çözümde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen değişkendir. Amaç fonksiyonu (1.1 numaralı denklem), problemin ana amacı olan güzergahın toplam uzunluğunu minimize etmeyi hedefler.

Yukarıdaki modelde, ilk kısıt (1.2 numaralı denklem) akış korumaya ilişkindir. Bu kısıt, Düğümlere giren ve düğümlerden çıkan kenar sayısının eşit olması gerekmektedir. Döngünün olmadığı güzergahlarda zaten bu sayıların sıfır ya da bir olması gerekir. Bu kısıt bitiş ve başlangıç düğümleri için geçerli değildir. İkinci (1.3 numaralı denklem) ve üçüncü (1.4 numaralı denklem) kısıtlar ise başlangıç düğümü ve bitiş düğümü için akışın korunmasına yöneliktir. Dördüncü kısıt (1.5 numaralı denklem), negatif ağırlıkları olan kenarlara izin vermediği için kenarların ağırlıklarının negatif olmamasını gerektirir. Aslında EKYP'de böyle bir şart bulunmamaktadır. Sadece negatif uzunluklu bir döngünün olmaması yeterlidir. Öte yandan Dijkstra algoritması bu kısıtı içerdiği için bu

algoritma uygulanacaksa bu kısıtın olması gerekmektedir. Diğer algoritmalar kullanılacaksa bu kısıt kullanılmayacaktır. Son kısıt (1.6 numaralı denklem) ise karar değişkeninin binary olduğunu belirtmektedir (Gürsoy ve Duman, 2022).

Öte yandan her zaman yolun kısalığı, o yolun tercih edilmesi için tek kriter olmamaktadır. Gerçek hayat problemlerinde genellikle yolun kısalığı haricinde kriterler de öne çıkmaktadır. Bu kriterlere yolun maliyeti, aracın ilgili yoldan geçiş kolaylığı, trafik yoğunluğu, yolun süresi, yolun tehlikeli bir güzergahı içerip içermemesi gibi birçok örnek verilebilir.

2.1.2. İki Kriterli En Kısa Yol Problemi

2.1.2.1. Giriş ve Literatür Taraması:

İki kriterli EKYP, çok kriterli güzergah optimizasyonu problemlerinden üzerinde en çok araştırma yapılanıdır. Çalışmamızda bu problem ile başlamamızın nedeni de bu problem üzerinde literatür ve çözüm yöntemlerinin genişliğidir. Konu ile ilgili birçok kavramı, bu problem üzerinde açıklayacağız.

İki kriterli EKYP'de, aranan güzergahın iki kriterde de minimum olması amaçlanmaktadır. Ancak genellikle bulunan güzergahlar her kriterde en iyi sonucu içermemektedir. Bu nedenle çok kriterli EKYP'de, tek kriterlilerin aksine, tek bir güzergah değil oluşmamakta, genellikle birden çok güzergahı içeren bir Pareto yüzeyi ortaya çıkmaktadır.

Basit bir örnek ile konumuzu anlatalım. Aşağıda yer alan Şekil-2'de normal bir iş günü, iş çıkışında Sıhhiye'den Ümitköy'e Google Maps internet uygulaması ile yapılan güzergah hesaplaması sonucu ortaya çıkan 3 alternatif güzergah görülmektedir. 18,4 km uzunluğundaki A güzergahı 16-26 dk arası bir sürede, 17,9 km uzunluğundaki B güzergahı 20-35 dk arası bir sürede 15,5 km uzunluğundaki C güzergahı ise 22-40 dk arası bir sürede tamamlanmaktadır.



Şekil 2 - Alternatif Güzergahlar¹³

Burada zaman kriterine göre en kısa olan yol, mesafe kriterine göre en kısa yol değildir. Mesafe kriterine göre en kısa yol ise zaman kriterine göre en kısa olmamaktadır. Bu durumda güzergahların seçimi kişilerin tercihlerine göre belli olacaktır. Bu tercihler ise zaman ve mesafe kriterleri birlikte dikkate alınarak yapılacaktır. Bu tercihlerin yapılabilmesi için ortaya çıkan güzergahların kriterlerin ağırlıklarına göre belirlenmesi ve listelenmesi gerekmektedir. Yukarıdaki basit çift kriterli güzergah problemi için üç adet güzergah ortaya çıkmıştır. Bunlar aşağıdaki yer alan Tablo-4'te gösterilmektedir (Gürsoy ve Duman, 2022).

Güzergahın Adı	Mesafe (km)	Ortalama süre (dk)
A	18,4	22
B	17,9	27,5
C	15,5	31

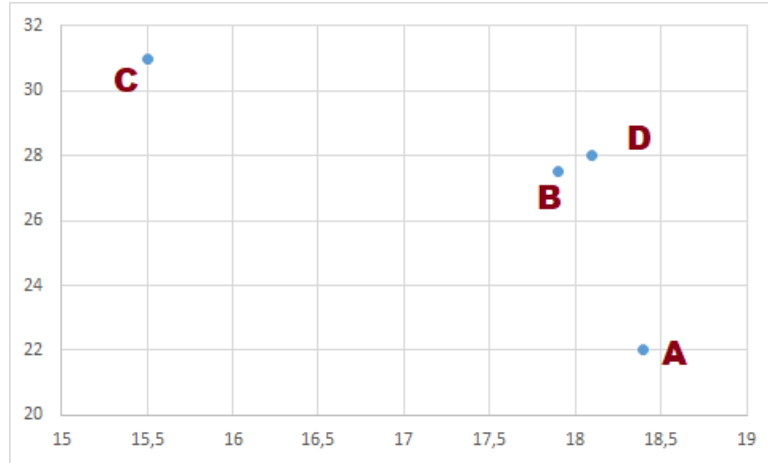
¹³ <https://www.google.com/maps> Erişim tarihi 05.09.2020

Tablo 4 - Güzergah verileri (Kaynak: Gürsoy ve Duman, 2022)

Literatürde özellikle tanımlanan ve önem verilen bir kavram olan "domine edilme" kavramı, çözümlerin birbirleriyle karşılaştırılarak etkin olup olmadıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Etkin bir çözüm, diğer çözümler ile karşılaştırıldığında bütün kriterler açısından kendisinden daha iyi bir çözüm bulunmayan çözüm, etkin olmayan bir çözüm ise diğer çözümlerden en az bir tanesine göre kriterlerin hiçbirinde daha iyi bir çözüm sunamazken en az bir kriter açısından daha kötü sonuç vermektedir. Domine edilmemiş çözümler ise mutlaka etkin bir çözüm olmak zorundadır (Skriver, 2000).

Örneğimizi etkinlik ve domine edilme bağlamında incelersek, Tablo-4'teki A güzergahı en kısa süreye, C güzergahı ise en kısa mesafeye sahipken B güzergahı A'dan daha kısa mesafeye sahip olup C'den daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Üç güzergah da birbirini domine edememektedir çünkü her iki kriterde de diğer herhangi bir güzergahtan daha üstün olan bir güzergah bulunmamaktadır. Ancak farazi bir D güzergahı (18,1 km uzunluğunda ve 28 dakikada tamamlanıyor) mevcut olsa bile, A ve C güzergahları tarafından domine edilmese de B güzergahı tarafından domine edilecektir çünkü B güzergahı, D güzergahına göre hem daha kısa mesafeye sahiptir hem de daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Bu nedenle, D güzergahı, B güzergahının bulunduğu bir güzergah listesinde yer almamalıdır.

Tablo-4'te yer alan güzergahları bir de aşağıda yer alan Şekil-3'te görülmekte olan, serpme diyagramında gösterelim. Bu diyagramda x eksenini mesafeyi y eksenini ise ortalama süreyi göstermektedir. Şekil-3'te, B noktası D noktasına göre hem aşağıda (daha kısa süre) hem de solda (daha kısa mesafe) olduğundan D'yi domine etmiştir. Diğer noktalar ise domine edilmemiş durumdadır; çünkü, bu noktalara göre her iki kriter açısından daha kısa olan nokta yoktur. Domine edilmemiş olan noktalara Pareto optimal noktalar, bu noktaların tamamının oluşturduğu yüzeye ise Pareto yüzeyi de denilmektedir (Gürsoy ve Duman, 2022).



Şekil 3 - Serpme Diyagram (Kaynak: Gürsoy ve Duman, 2022)

Aşağıda Model-2'de iki amaçlı EKYP için matematiksel gösterim yer almaktadır. Gösterimdeki "Min", Pareto optimalliği temsil etmektedir (Shi v.d, 2017). Model-2 nokta haricinde Model-1 ile aynıdır. Bu farklar ise ikinci kriter olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kritere ilişkin ağırlıklar v_{ij} olarak gösterilmektedir. Bu nedenle amaç fonksiyonu ve negatif olmama kısıtında farklılık bulunmaktadır.

$$\text{"Min"} \sum x_{ij} w_{ij}, \forall (i, j) \in E \quad (2.1)$$

$$\sum x_{ij} v_{ij}, \forall (i, j) \in E \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1 \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1 \quad (2.5)$$

$$w_{ij}, v_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in E \quad (2.6)$$

$$x_{ij} \in 0,1, \forall (i, j) \in E \quad (2.7)$$

Model 2- İki kriterli en kısa yol matematiksel model

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu, bütün kenarlar için x_{ij} değişkeninin çarpımları ile her kenara atanmış amaç ağırlık değerlerinin toplamından oluşur. Burada x_{ij} , kenarların çözümde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen değişkendir. Amaç fonksiyonu, problemin ana amacı olan güzergahın toplam uzunluğunu minimize etmeyi hedefler. Ancak tek kriterli EKYP'nin aksine burada iki adet amaç fonksiyonu (2.1 ve 2.2 numaralı denklemler) vardır ve ikisinin de minimizasyonu hedeftir.

Yukarıdaki modelde, ilk kısıt (2.3 numaralı denklem) akış korumaya ilişkindir. Bu kısıt, düğümlere giren ve düğümlerden çıkan kenar sayısının eşit olması gerekmektedir. Döngünün olmadığı güzergahlarda zaten bu sayıların sıfır ya da bir olması gerekir. Bu kısıt bitiş ve başlangıç düğümleri için geçerli değildir. İkinci (2.4 numaralı denklem) ve üçüncü (2.5 numaralı denklem) kısıtlar ise başlangıç düğümü ve bitiş düğümü için akışın korunmasına yöneliktir. Dördüncü kısıt (2.6 numaralı denklem), negatif ağırlıkları olan kenarlara izin vermediği için kenarların ağırlıklarının negatif olmamasını gerektirir. Aslında EKYP'de böyle bir şart bulunmamaktadır. Sadece negatif uzunluklu bir döngünün olmaması yeterlidir. Öte yandan Dijkstra algoritması bu kısıtı içerdiği için bu algoritma uygulanacaksa bu kısıtın olması gerekmektedir. Diğer algoritmalar kullanılacaksa bu kısıt kullanılmayacaktır. Son kısıt (2.7 numaralı denklem) ise karar değişkeninin binary olduğunu belirtmektedir (Gürsoy ve Duman, 2022).

Çalışmamızın bu bölümünde etkin çözüm ve domine edilmemiş çözüm terimleri tanımlanmıştı. Çalışmamızın ilerleyen kısımlarında etkin çözümler ya da domine edilmemiş çözümler kavramlarının yerinde çoğunlukla Pareto optimal çözümler ifadesine yer vereceğiz.

Çalışmamızın bu bölümünde yer alan Şekil-2'deki örnek üzerinden gidecek olursak, Tablo-4'te yer alan güzergahların hepsi etkin ve Pareto optimaldir. Öte yandan Şekil-3'te yer alan çözüm noktalarından A, B ve C etkin ve Pareto optimal iken, D değildir zira B tarafından domine edilmiştir.

Çalışmamızın 2.1 bölümünde EKYP'ye ilişkin literatürdeki gelişmelere kısaca yer verilmişti. Çok amaçlı EKYP'ye ilişkin literatüre ise bu bölümde yer verilecektir. 1970'lerde, çok amaçlı EKYP'nin çözümüne yönelik araştırmalar başlamıştır. Yaklaşık 50 yıldır araştırma yapılan bu alanda geliştirilen çözüm yöntemleri artık sınıflandırılmaktadır (Skriver, 2000a). Bu yöntemler, kesin metotlar olarak etiketleme ve ağaç/güzergah yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Etiketleme yöntemleri, Hansen'in (1980) çalışması ile başlamıştır ve ana çalışma olarak Martins'in (1984) çalışması ile ortaya koyduğu Martins algoritmasıdır. Ağaç/güzergah yöntemleri ise, iki aşamalı arama ve k-en kısa yol algoritmalarını içerir.

İki amaçlı EKYP'nin NP-Complete olduğu iddia edilmektedir (Serafini, 1986); ancak, döngüler olmadığı takdirde polinomsal sürede çözülebilir (Ehrgott, 2005). Ancak, bu polinomsal sürede çözülme, hızlı çözülme anlamına gelmez. Nitekim yapılan araştırmalarda çözüm sürelerinin oldukça uzun olduğu da görülmüştür. Bu nedenle, literatürdeki sezgisel yöntemler de çok amaçlı EKYP'nin çözümü için önerilmiştir.

En bilinen sezgisel yöntem, A* algoritmasıdır. A* fonksiyon değeri, sezgisel fonksiyon değeri ile başlangıçtan itibaren gelinen düğüme kadar olan mesafenin toplamına göre hesaplanır ve en küçük A* değerleri takip edilerek en kısa yol bulunur. Çok amaçlı EKYP'nin çözümüne yönelik sezgisel yöntemler, A* algoritması temel alınarak oluşturulmuştur. MOA* (Stewart ve White, 1991), NAMOA* (Mandow ve Cruz, 2010), NAMOA*dr (Mandow v.d., 2015) ve BOA* (Ulloa v.d., 2020) algoritmaları bu yöntemlerin örnekleridir. Burada ismi geçen algoritmalar BOA* algoritması haricinde olanlar, çok kriterli EKYP için geliştirilmişken, BOA* algoritması sadece iki amaçlı EKYP için geliştirilmiştir. Sadece iki kriterli EKYP için kullanılan BOA* algoritması, diğer A* bazlı sezgisel algoritmalara göre oldukça hızlı sonuç verir.

Ayrıca A* tabanlı sezgisellerin yanı sıra, genel arama algoritmaları için geliştirilen meta-sezgisel tekniklerin iki amaçlı EKYP'ye uygulanmasıyla ilgili çalışmalar da mevcuttur. Bu

çalışmalara örnek olarak, su damlacıklarının dağılmasını taklit eden ripple algoritması (Hu v.d., 2020) gösterilebilir. Ripple algoritması, tek kriterli arama problemlerinde sıkça kullanılan bir algoritmadır ve EKYP için de uygulanabilir. EKYP’de kullanılan başka bir meta-sezgisel ise genetik algoritmadır. (Cheikh v.d., 2010).

Yukarıda belirttiğimiz yöntemleri literatürdeki sınıflandırmaya göre özetlemek için çalışmamızda, Gürsoy ve Duman’ın (2022) hazırlamış olduğu Tablo-5 kullanılmıştır.

Kesin Yöntemler		Sezgiseller	
Etiketleme Yöntemleri	Güzergah/Ağaç yöntemleri	A* tabanlı yöntemler	Diğer sezgiseller
<i>Etiket Belirleme</i>	<i>İki aşamalı çözüm</i>	<i>MOA*</i>	<i>Genetik Algoritma</i>
<i>Etiket Düzeltme</i>	<i>K-En Kısa Yol</i>	<i>NAMOA*</i>	<i>Damlacık Algoritması</i>
		<i>BOA*</i>	

Tablo 5- İki kriterli en kısa yol probleminde çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması (Kaynak- Gürsoy ve Duman, 2022)

Bu araştırmanın ilerleyen kısımlarında, yukarıda tanımlanan Pareto yüzeyi veya çözüm kümesini elde etmek için çalışılacak olan yöntemler ele alınacaktır. Kesin metotlar, bu çözüm kümesinin tamamını bulmaktadır. Ancak, sezgisel metotlar, bu kümenin tamamını bulma konusunda garanti veremez. Sadece A* tabanlı algoritmalarda, eğer kullanılan sezgisel fonksiyon “tutarlı” bir fonksiyon ise kümenin tamamı bulunmaktadır (Mandow vd., 2015).

Şekil-2 ve Tablo-4’teki örnekte, mesafe/süre, hedef ikilisi olarak seçilmiştir. Zira literatürde en çok kullanılan ikili bunlardır. Bununla birlikte, birbirleriyle daha fazla çelişen birçok hedef ikilisi de EKYP için uygun olabilir. Örneğin, ücretli otoyollar ve köprüler ile

ücretsiz yolların kullanıldığı bir güzergahta, süre ve maliyet hedefleri birbirleriyle çelişebilecektir. Benzer bir çelişki ise çeşitli taşıma yolu alternatiflerinin olduğu bir taşımacılık probleminde, zaman-maliyet kriterleri arasında yaşanabilir. Çünkü deniz yolu nispeten ucuz ancak yavaş, kara ve demiryolu deniz yoluna göre daha maliyetli fakat deniz yoluna göre hızlı, havayolu ise diğer bütün taşımacılık yollarından daha maliyetli ancak çok hızlı bir taşıma yoludur. Bir öğrenci, eğlence için harcadığı zaman ile aldığı not ortalaması arasında bir çelişki yaşayacaktır; bu nedenle yüksek bir not almak için daha az eğlenmek veya daha fazla eğlenmek için daha düşük bir not almak arasında bir seçim yapmak zorunda kalacaktır. Benzer bir örnek olarak elektronik devre tasarımında hız/kapasite ve maliyet arasındaki çelişki gösterilebilir. Daha yüksek kapasiteli veya daha hızlı devre bileşenlerin kullanılması, maliyetleri artıracaktır; bu nedenle, hız/kapasite hedefleri ile maliyetler birbirleriyle çatışacaktır. Bu örneklerin tümünde, Pareto optimal bir çözüm kümesi ve Pareto yüzeyi oluşacaktır. Bu problemlerin bu bölümde anlatacağımız yöntemler ile çözülmesi sonucunda ortaya çıkacak olan çözüm noktalarından her biri etkin olacaktır. Burada gösterdiklerimize benzer olarak, gerçek hayatta birçok iki hedefli EKYP örneği bulunmaktadır (Gürsoy ve Duman, 2022).

Bu paragrafta, literatürdeki iki amaçlı EKYP farklı tipleri tanımlanmaktadır. En genel hali olan en küçük toplam-en küçük toplam problemi (Minsum-Minsum), iki amacın da en kısa olmasını hedeflemektedir. Bunun dışında, en küçük toplam-limit (Minsum-Limit) ve en küçük toplam-en küçük azami değer (Minsum-Minmax) tarzı problemler de vardır. Minsum-Limit türü problemlerde, güzergah üzerindeki yollardan geçebilecek araçların ağırlık sınırları mevcuttur. Bu tür problemlere örnek olarak, belli bir yoldan geçebilecek araçların taşıyabileceği azami yük sınırı verilmiş olan problemler verilebilir. Benzer şekilde, belli noktalardan geçebilecek tehlikeli madde türünün sınırlı olmasına ilişkin problemler de Minsum-Limit türü problemler arasında yer almaktadır (Erkut, 1998). Tabii aynı problemin Minsum-Minsum olarak tanımlanmış versiyonları da mevcuttur (Boyacı ve Gencer, 2021). Minsum-Minmax türü problemlerinde ise, güzergah içinde ulaştığı değerler dikkate alınmaktadır. Örneğin, belli bir yolda gidilen en yüksek eğimlerin minimize edilmesi bir Minsum-Minmax problemi olarak ele alınabilir (Gürsoy ve Duman, 2022).

2.1.2.2. İki Kriterli En Kısa Yol Probleminin Çözüm Yöntemleri:

Çalışmamızın 2.2.1 bölümünde, literatüre ilişkin kısa bir tarama yapılmış. Buna göre iki kriterli EKYP çözüm yöntemlerinin, literatürde, kesin yöntemler ve sezgiseller olarak ikiye ayrıldığı belirtilmiştir. Aşağıda ise bu yöntemlerden literatürde en çok çalışılanları anlatılacaktır.

2.1.2.2.1. Kesin Yöntemler

Kesin yöntemler ikiye ayrılmaktadır. Bu yöntemler etiketleme yöntemleri ile ağaç/güzergah yöntemleridir.

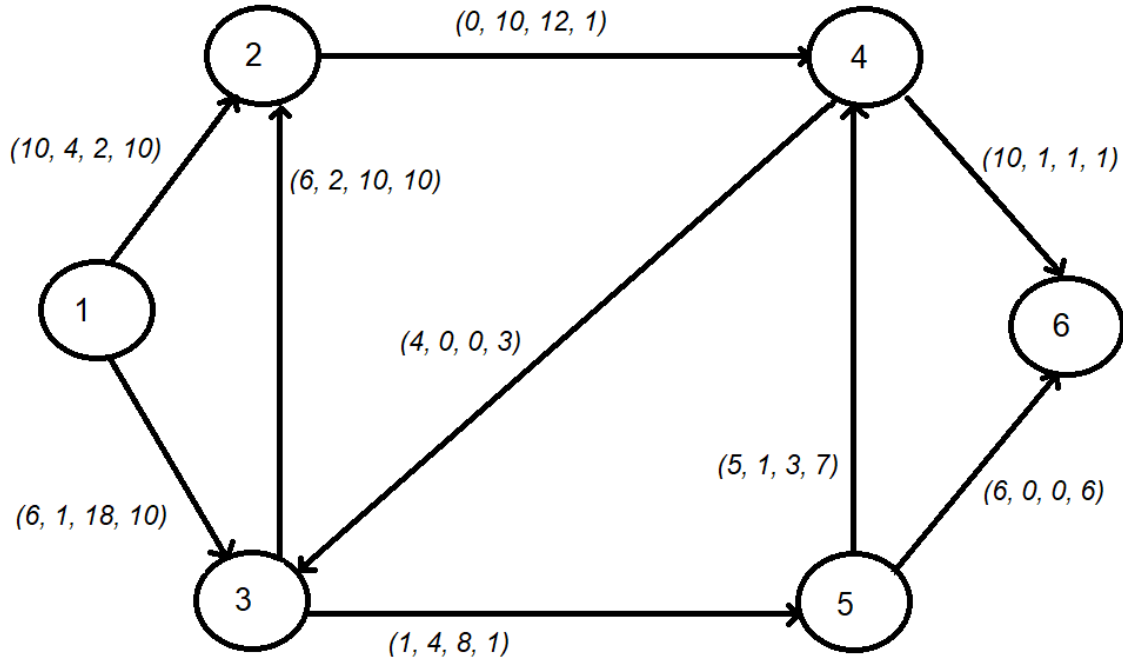
Etiketleme yöntemleri; etiket belirleme ve etiket düzeltme olarak ikiye ayrılmaktadır. Ağaç/güzergah yöntemleri ise K en kısa yol ve iki aşamalı olmak üzere iki kısımdır. Bu yöntemlere kısaca değinilecektir.

2.1.2.2.1.1 Etiket belirleme

Etiket belirleme yöntemi Martins (1984) algoritmasına dayanmaktadır. Bu yöntemin algoritması aşağıdaki gibidir.

Bu algoritma her aşamada etiketler oluşturmaktadır. Bu etiketler bulunulan konumu özetlemektedir. İki amaçlı bir problem için algoritmanın oluşturduğu etiket şu formatta olmaktadır: $\langle W_1, W_2, (P, P_{no}) \rangle$. Etiket her elemanın anlamı vardır. W_1 ilk kriter açısından başlangıç düğümünden etiketin ait olduğu düğüme kadar alınan mesafeyi göstermektedir. W_2 ise ikinci kriter açısından başlangıç düğümünden etiketin ait olduğu düğüme kadar alınan mesafeyi göstermektedir. Üçüncü eleman olan P, bu etiketin ait olduğu düğüme gelirken ziyaret edilen son düğümü göstermektedir. P_{no} ise, şu anda oluşturulan etiketin, ziyaret edilen son düğümün hangi etiketinden kaynaklandığını göstermektedir. Örneğin, $\langle 9, 6, (3, 11) \rangle$ elemanlara sahip bir etiketi inceleyelim. Bu etiket ilk kriter açısından başlangıç düğümünden itibaren alınan mesafenin 9 birim, ikinci kriter açısından başlangıç düğümünden itibaren alınan mesafenin 6 birim olduğunu göstermektedir. Üçüncü eleman, etiketin ait olduğu düğüme gelirken ziyaret edilen son düğümün 3'üncü düğüm olduğunu, dördüncü eleman ise en son ziyaret edilen düğüm olan 3'üncü düğümün 11'nci etiketi baz alınarak bu etiketin oluşturulduğunu göstermektedir. Başlangıç düğümünde sadece bir etiket bulunur ve bu etiket $\langle 0, 0, (-, -) \rangle$ şeklindedir. Aşağıda Martins'in (1984) çalışmasında kullanılan; sonrasında ise birçok

başka çalışmada da yer verilen örnek üzerinden algoritmayı açıklayacağız. Örnekte kullanılacak olan çizge aşağıda Şekil-4'te yer almaktadır. (Martins,1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)



Şekil 4 - Dört kriterli çizge (Kaynak : Martins, 1984)

Bu algoritmanın uygulanması için şu adımlar izlenir:

Başlangıç düğümünün etiket kümesine $\langle 0,0,0,0,(-,-) \rangle$ etiketi, geçici etiket olarak atanır.

Adım 1:

a- Geçici etiketler kümesi boş ise, Adım 3'e geçilir. Geçici etiket kümesi boş değilse, bu kümeden leksikografik olarak en küçük düğüm seçilir. Seçilen etiket kalıcı etiketler kümesine eklenir. Leksikografik olarak en küçük etiketin bulunması kavramını burada tanımlamak gerekmektedir, zira çalışmamızın ilerleyen kısımların bu kavrama sıkça değinilecektir. Leksikografik olarak en küçük etiket şu şekilde belirlenir: İlk kriter açısından en küçük ağırlığa sahip olan etiket leksikografik olarak en küçüktür. Eğer bu şartı sağlayan birden fazla etiket varsa, bu durumda ikinci kritere bakılacaktır. Bakılan

etiketler arasında ikinci kritere göre en küçük ağırlığa sahip olan etiket leksikografik olarak en küçük etikettir. Eğer bu şartları da sağlayan birden fazla etiket varsa, bir sonraki kriter açısından aynı işlem tekrarlanır bakılır. Bütün kriterler açısından ağırlıklar eşitse, bu etiketlerden herhangi biri leksikografik olarak en küçük olarak kabul edilir. Sözlükte kelime aramaya benzeyen bu seçim yöntemine alfabetik seçim de denir. (Martins, 1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)

b- Leksikografik olarak en küçük geçici etiket, seçilen etiket olarak alınır. Bu etiket geçici etiketler kümesinden çıkarılır. Yine bu etiket kalıcı etiketler kümesine eklenir. Seçilen etiket baz alınarak geçici etiketler kümesine eklenmek üzere yeni etiketler üretilir. Yeni etiket üretme süreci şu şekildedir. Seçilen etiketin i 'nci düğüme ait olduğunu varsayalım. i düğümünden çıkan bütün kenarlar için birer adet etiket oluşturulacaktır. Seçilen etiketteki kriter ağırlıklarının sırasıyla $\langle c_1, c_2, \dots, c_n \rangle$ olduğunu varsayalım. i düğümünden çıkan örnek bir kenarın sahip olduğu ağırlıkların $\langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle$ olduğunu varsayalım. Bu durumda, i düğümünden çıkan ilgili kenar için seçilen etiket baz alınarak oluşturulan geçici etiketin ağırlıkları $\langle c_1+w_1, c_2+w_2, \dots, c_n+w_n \rangle$ olacaktır. Söz konusu geçici etiket oluşturulduktan sonra, geçici etiketler kümesine atılacaktır. Ancak geçici etiketler kümesine atılırken, geçici etiketler kümesindeki diğer etiketler ile karşılaştırılacaktır. Bu aşamada eğer oluşturulan geçici etiket, geçici etiketler kümesindeki başka bir etiket tarafından domine ediliyorsa, yeni oluşturulan geçici etiket geçici etiketler kümesinden silinecektir. Tam tersine, daha önceden geçici etiketler kümesinde bulunan bir geçici etiketi domine ediyorsa daha önceden kümede bulunan etiket silinecektir. (Martins, 1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)

Adım 2: Adım 1'e dönülür.

Adım 3: Kalıcı etiketler kümesi ele alınır. Burada bitiş düğüme ait olan kalıcı etiketler alınır. Bu etiketler çözüm kümesinin elemanları olacaktır. Geri iz takibi (back tracking) metodu kullanılarak başlangıç düğüme gelene kadar kalıcı etiketler tespit edilerek, güzergah belirlenir. (Martins, 1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)

Adım 4: Algoritma durdurulur.

Şekil-4'te yer alan çizgeyi kullanarak algoritmayı açıklayalım. Tablo-4, Martins'in (1984) çalışmasında bulunan tablo kaynak alınarak Gürsoy ve Duman tarafından (2022) yeniden hazırlanmıştır. Tablodaki koyu renkli hücrelerde kalıcı etiketler, açık renkli hücrelerde ise geçici etiketler gösterilmektedir. Örneğin 3 numaralı düğümün 1'nci etiketi domine edilmemiştir, çünkü 3'üncü düğüme ait olan diğer 3 etiketin hiçbirisi bütün kriter açısından 1'nci etikete göre daha iyi değildir. Mesela 2'nci etiket 3'üncü ve 4'üncü kriterler açısından daha iyi bir durumdur; ancak 1 ve 2'nci kriterler açısından daha kötü durumdur. Bu nedenle 1'nci ve 2'nci etiket birbirlerini domine etmemektedir. Aynı düğüme ait olan 3'üncü etiket 1'nci etiket tarafından domine edilmiştir, çünkü 1'nci etiket bütün kriterlere göre 3'üncü etikete göre daha düşük ağırlıklara sahiptir. (Martins, 1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)

Düğüm	Etiket 1	Etiket 2	Etiket 3	Etiket 4
1	<0,0,0,0,(-,-)>			
2	<10,4,2,10,(1,1)>	<12,3,28,20,(3,1)>	<20,16,24,24,(3,2)>	
3	<6,1,18,10,(1,1)>	<14,14,14,14,(4,2)>	<16,6,29,21,(4,1)>	
4	<12,6,29,18,(5,1)>	<10,14,14,11,(2,1)>	<12,13,40,21,(2,2)>	<20,19,25,22,(5,2)>
5	<7,5,26,11,(3,1)>	<15,18,22,15,(3,2)>		
6	<13,5,26,17,(5,1)>	<20,15,15,12,(4,2)>	<22,7,30,19,(4,1)>	<21,18,22,21,(5,2)>

Tablo 6 - Martins algoritması çözüm süreci (Kaynak: Gürsoy ve Duman, 2022)

Algoritmanın adımlarını izleyelim. Başlangıç düğümü olan 1'nci düğüm için ilk etiket oluşturulacaktır. Bu etiket algoritmada belirtildiği üzere, <0,0,0,0,(-,-)> olacaktır. Bu etiket geçici etiket listesine alınacak, ama geçici etiket listesinde başka etiket olmadığı için seçilen etiket olarak alınacak ve kalıcı etiketler listesine eklenecektir. Bu etiketin bağlı olduğu 1 nolu düğümden çıkan iki kenar için birer adet etiket üretilecektir. 1'nci

düğümünden 2'nci düğüme çıkan kenar için oluşturulacak etiket $\langle 10,4,2,10,(1,1) \rangle$, 1'nci düğümden 3'üncü düğüme çıkan kenar için oluşturulacak etiket ise $\langle 6,1,18,10,(1,1) \rangle$ olacaktır. Bu aşamada bu 2 etiket de geçici etiket kümesine eklenecektir. Bu etiketler içinde leksikografik olarak en küçüğü 3'üncü düğümün 1'nci etiketidir; çünkü ilk kriter açısından en küçük ağırlığa sahip etiket budur. Bu etiket seçilen etiket olacak, geçici etiketler kümesinden silinecek ve kalıcı etiketler kümesine eklenecektir. Bu şekilde bütün etiketler oluştuğunda, yukarıdaki tablo oluşacaktır. Yukarıdaki tabloda açık renkli hücrelerde yer alan etiketler ise domine edildikleri için geçici etiket kümesinden silineceklerdir. Böylece geçici etiket kümesinde hiç etiket kalmadığında algoritma duracaktır. (Martins, 1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)

Algoritma durduğunda bitiş düğümü olan 6'ncı düğümden 2 adet kalıcı etiket mevcuttur. Demek ki çözüm kümemiz iki adet güzergahtan oluşmaktadır. Bu etiketlerden başlayarak, geri iz takibi (back tracking) yapılarak güzergahlar oluşturulacaktır. Örnek olarak 6'nci düğümün 2'nci kalıcı etiketi için bu işlemi yapalım. 6'nci düğümün 2'nci kalıcı etiketi şu şekildedir: $\langle 20,15,15,12, (4,2) \rangle$. Bu etiketin kaynak düğümünün 4'üncü düğüm, kaynak etiketin ise 2'nci etiket olduğu görülür. O zaman 4'üncü düğümün 2'nci etiketi ele alır. Bu etiket ise şu şekildedir: $\langle 10,14,14,11, (2,1) \rangle$. Bu etiketin kaynak düğümünün 2'nci düğüm, kaynak etiketinin ise 1'nci etiket olduğu görülmektedir. Sırada 2'nci düğümün 1'nci etiketi vardır. Bu etiket ise şu şekildedir: $\langle 10,4,2,10, (1,1) \rangle$. Bu etikete bakıldığında ise kaynak düğümün 1'nci düğüm, kaynak etiketin ise 1'nci etiket olduğu görülür. Sıradaki etiket ise 1'nci düğümün 1'nci etiketidir, yani şudur: $\langle 0,0,0,0, (-,-) \rangle$. Bu etiket başlangıç düğümüne ait olduğu için geri iz takibi işlemi bitmiştir. Geliş sırasının tersine doğru işlendiğinde, yani $1 > 2 > 4 > 6$ şeklinde ilerlendiğinde 6'nci düğümün 2'nci kalıcı etiketinin gösterdiği Pareto optimal güzergah tespit edilmiş olur. (Martins, 1984; akt. Gürsoy ve Duman, 2022)

2.1.2.2.1.2 Etiket düzeltme

Etiket düzeltme yöntemi, etiket yöntemlerinin en hızlısıdır. Etiket düzeltme yöntemleri arasında en başarılı sonuçları Skriver'in (2000b) çalışması vermiştir. Bu yöntem zaten etiket bazlı yöntemlerin de en hızlısıdır. Çalışmamızın ilerleyen bölümlerinde yapılacak sayısal analiz kısmında bu nedenle Skriver'in metodu kullanılacaktır. (Skriver, 2000b)

Bu algoritmanın başlangıcı Brumbaugh ve Smith (1989) çalışmasına dayanmaktadır. Skriver ise bu algoritmayı hızlandıracak iyileştirmeler yaparak kendi metodunu ortaya koymuştur. Algoritmayı anlatırken, kaynak algoritma olan Brumbaugh-Smith algoritması anlatılacaktır.

Brumbaugh ve Smith (1989) makalesinde ele alınan algoritmanın etiket hazırlama aşaması, etiket düzenleme algoritmalarına benzerlik göstermektedir. Ancak, etiketler üzerinden değil düğümler üzerinden ilerlenmektedir. İncelenmesi gereken düğüm kümesi tamamen ele alınıncaya kadar, bir düğüm seçilir ve bu düğümden çıkan tüm kenarlar tek tek incelenir. Bu işlemin sonucunda ortaya çıkan yeni etiketler, etiket kümesindeki eski etiketlerle birleştirilir ve etiket kümesi güncellenir. Ayrıca, aynı özelliklere sahip olan etiketler birleştirilmeyerek aynı etiketten birden fazla oluşumun önüne geçilir. Bu algoritmanın en yoğun işlem yükü, birleştirme aşamasında ortaya çıkmaktadır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

Bu algortmada Skriver'in katkısı, Tung ve Chew'in (1988) çalışmasında kullanılan ve gelecekte A^* tabanlı çalışmalarda da kullanılan, mevcut düğümden varış düğümüne herhangi bir amaç için en kısa yol uzunluklarını belirleyen bir iyileştirme yöntemini içerir. Böylece bazı kenarlar hiçbir zaman kümede yer almaz. Skriver (2000b) tarafından yapılan iyileştirmeler ile bu etiket düzeltme yöntemi daha da geliştirilmiştir. Skriver'in (2000b) çalışmasında kullanılan iyileştirme algoritması şöyledir: (Gürsoy ve Duman, 2022)

Bu iyileştirme algoritmasında, bir i düğümünden j düğümüne giden kenarın etiketleme işlemine katılıp katılmayacağını kontrol edeceğiz. i düğümü için $w_1(i) < w_2(i) < w_3(i) < \dots < w_k(i)$ ve $v_k(i) < \dots < v_3(i) < v_2(i) < v_1(i)$ şeklinde (w ilk kritere göre mesafeleri, v ise ikinci kritere göre mesafeleri göstermektedir) bir etiket kümesi mevcuttur. J düğümü için ise $w_1(j) < w_2(j) < w_3(j) < \dots < w_q(j)$ ve $v_q(j) < \dots < v_3(j) < v_2(j) < v_1(j)$ şeklinde bir etiket kümesi mevcuttur. Oluşturulan etiketlerde birinci ve ikinci kriter açısından değerlerin ters yönlü olduğu gözden kaçırılmamalıdır. İki kriterli EKYP sonucunda oluşan çözüm kümelerinde bu şekilde sonuç olmak zorundadır, aksi durumda etiketlerin bir kısmı domine edildiğinden, etiket kümelerinde zaten yer almayacaktır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

İki düğüm arasındaki kenarın iki kriter açısından ağırlıkları sırasıyla a ve b olarak belirlenmiştir. Eğer $w_1(i)+a > w_q(j)$ ve $v_k(i)+b > v_q(j)$ koşulları sağlanıyorsa, üretilecek her etiket domine edilecek ve bu nedenle ilgili kenar etiketleme işlemine alınmayacaktır. Çünkü j düğümüne ait etiketlerden birinci kriter açısından en zayıfın ağırlığı bile bu kenar kullanılarak oluşturulacak en düşük değerli etiketin birinci kriter değerinden daha düşük olacak, öte yandan aynı etiketin ikinci kriterinden de iyi olmayacağı için oluşturulacak bütün etiketler domine edilmiş olacaktır. Benzer şekilde, eğer $v_k(i)+b > v_1(j)$ ve $w_1(i)+a > w_1(j)$ ise, üretilecek her etiket domine edilecektir ve ilgili kenar etiketleme işlemine alınmayacaktır. Eğer bu şartlar yoksa, kenar işleme alınacaktır. Kenar işleme alınacaksa da etiketler birleştirilebilecektir. Bu birleşme işleminin sözde kodu Tablo 7'de gösterilmiştir (Skriver, 2000b).

Eğer $w_q(j) > a + w_1(j)$ ise bir şey yapma; (bu durumda (i,j) kenarı kullanılarak oluşturulacak etiketlerin domine edilmeme şansı vardır. (i,j) kenarı gelecek vaad etmektedir.)

Aksi durumda (yani işaret \leq ise)

Eğer $v_q(j) > v_k(i) + b$ ise bir şey yapma; (bu durumda (i,j) kenarı kullanılarak oluşturulacak etiketlerin domine edilmeme şansı vardır. (i,j) kenarı gelecek vaad etmektedir.)

Aksi durumda (i,j) kenarını artık işlemlerde dikkate alma.

Eğer $v_1(j) > v_k(i) + b$ ise bir şey yapma; (bu durumda (i,j) kenarı kullanılarak oluşturulacak etiketlerin domine edilmeme şansı vardır. (i,j) kenarı gelecek vaad etmektedir.)

Aksi durumda (yani işaret \leq ise)

Eğer $w_1(j) > w_1(i) + a$ ise bir şey yapma; (bu durumda (i,j) kenarı kullanılarak oluşturulacak etiketlerin domine edilmeme şansı vardır. (i,j) kenarı gelecek vaad etmektedir.)

Aksi durumda (i,j) kenarını artık işlemlerde dikkate alma.

Tablo 7 - Etiket Düzeltme Algoritması Birleşme Sözde Kodu (Kaynak: Skriver, 2000b)

Yukarıda birleştirme algoritması verilen bu metotta, düğüm bazlı ilerlenecektir. Diğer kısımlar ise etiket belirleme yöntemindeki gibidir.

2.2.2.1.3 Ağaç/Güzergah yöntemleri

Kesin yöntemlerin diğer alt türü Ağaç/güzergah yöntemleri ise iki aşamalı çözümler ve K adet en kısa yol algoritmasından oluşmaktadır. Bu algoritmalar, etiket algoritmaları kadar yaygın olarak kullanılmamıştır. Ancak çalışmamızda, bütünlüğün sağlanmasına adına yer verilmektedir. (Gürsoy ve Duman, 2022)

2.1.2.2.1.3 İki Aşamalı çözümler:

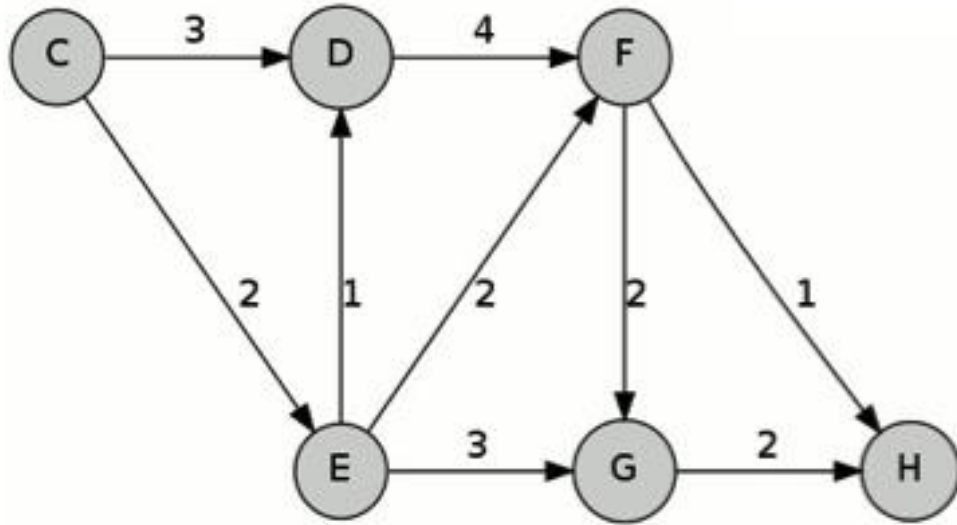
İki aşamalı çözümler, ağaç arama algoritmalarının bu problemde uygulanmış halidir. Bu algoritmalarda, öncelikle iki kriter açısından da en kısa yollar bulunur. Daha sonra, ağaçlarda ulaşılan değerlerin ara değerleri aranır. Bu algoritmaların, literatürde pek uygulaması bulunmamaktadır. Algoritmaya Murthy ve Olson'un (1991) çalışması örnek verilebilir. Bu algoritmanın ilk aşamasının bile etiket düzeltme algoritmalarından daha yavaş olduğunu ortaya konulmuştur (Skriver, 2000a). Bu yöntemin diğer algoritmalarla karşılaştırıldığı bir başka çalışma da Raith ve Ehrgott (2009) tarafından yapılmıştır ve bu çalışmada, etiket belirleme ve etiket düzeltme yöntemlerine kıyasla daha yavaş olduğu tespit edilmiştir. (Gürsoy ve Duman, 2022)

2.1.2.2.1.3.1 K adet en kısa yol algoritması

Bu bölümde, Yen'in (1971) tek amaçlı en kısa K adet yola ulaşma probleminin üzerine inşa edilen bir algoritmayı ele alıyoruz. Bu problem, sadece en kısa yolun değil, ayrıca bulunan güzergahların mesafelerine göre sıralanması sonucunda elde edilen listeden, en kısıdan başlamak suretiyle elde edilen K adet yolun sıralanmasına dayanmaktadır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

Bu algoritma, iki aşamalı bir yaklaşım kullanarak K adet en kısa yolu bulur. İlk aşamada, en kısa yol belirlenir ve en kısa yollar kümesine eklenir. İkinci aşamada, ara bir noktada bulunduğu varsayılır ve daha önce n-1 adet en kısa yol olduğu varsayılarak, n'nci ($n \leq K$) en kısa yol aranır. Bu güzergah belirlenirken, daha önce ortaya çıkan n-1 adet en kısa yol ele alınır ve bu güzergahlarda geçilen kenarların ağırlıkları, sırasıyla sonsuz yapılır ve en kısa yol algoritması uygulanır. Elde edilen yeni güzergahlar bir kümeye atılır ve en kısa olanı n'nci en kısa yol olarak en kısa yollar kümesine alınır (Yen, 1971).

Bu algoritmanın uygulanmasını daha iyi anlamak için bir Şekil-5'te yer alan örneğe bakalım.



Şekil 5 - K en kısa yol için çizge (Kaynak, Wikipedia, 2021)

Bu örnekte, C düğümünden H düğümüne en kısa yol belirlenecektir. Herhangi bir en kısa yol algoritması kullanılarak C-E-F-H yolu en kısa yol olarak tanımlanabilir. Bu yolun uzunluğu, kenar ağırlıklarının toplamı olan $2+2+1$ ile belirlenen 5 birim olacaktır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

İkinci en kısa yolu bulmak için yukarıdaki yolun kullanılan kenarlarının değerleri, yani (C-E, E-F, F-H), sonsuz olarak ayarlanacak (böylece kaldırılacak), ve en kısa yol algoritması başlangıçtan başlangıç düğümüne ve ardından o düğümden bitişe kadar bir kez çalıştırılacaktır. Bu iki en kısa yolun toplamı aday yollar kümesine eklenecektir. Burada, C-E kenarı önce kaldırılacak ve C'den H'ye en kısa yol C-D-F-H, 8 birim uzunluğunda olacaktır. Bu yol, ikinci en kısa yol adayları kümesine eklenecektir. Daha sonra, E-F kenarı kaldırılacak ve E'den H'ye en kısa yol E-G-H, 7 birim uzunluğunda olacaktır. Bu yol, ikinci en kısa yol adayları kümesine eklenecektir. Son olarak, F-H kenarı kaldırılacak ve F'den H'ye en kısa yol F-G-H olacaktır. Bu, ikinci en kısa yol adayları kümesine 8 birim uzunluğunda olan C-E-F-G-H yolunu ekleyecektir. Bu kümedeki en kısa yol, C-E-G-H olacaktır. İkinci aşamanın sonunda, en kısa yol C-E-F-H ve ikinci en kısa yol C-E-G-H olacaktır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

Üçüncü en kısa yolu bulmak için, ikinci en kısa yol düşünülecektir. İkinci en kısa yol adayları kümesinde kalan yollar, otomatik olarak üçüncü en kısa yol adayları kümesine eklenecektir. İkinci en kısa yolun ilk kenarı olan C-E kenarı kaldırılacak ve C'den H'ye en kısa yol C-D-F-H olacaktır, bu yol aday yollar kümesinde zaten bulunduğu için tekrar eklenmeyecektir. Daha sonra, E-G kenarı kaldırılacak ve E'den H'ye en kısa yol C-E-F-H olacaktır, bu zaten en kısa yol olduğundan tekrar eklenmeyecektir. Son olarak, G-H kenarı kaldırılacak, ancak en kısa yol bulunmayacaktır. Bu durumda, aday kümedeki en kısa yol C-D-F-H olacaktır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

Bu problem tek hedefli en kısa yol problemi olsa da, bazı değişikliklerle çoklu hedefli en kısa yol problemi çözmek için uyarlanabilir. Buradaki mantık, K'yı sabit tutmamaya dayanmaktadır. İlk olarak, her iki kriter açısından da için en kısa yollar bulunur. Ardından, bir kriter için bu algoritma kullanılarak diğer kriter açısından için en kısa yol elde edilene kadar çalıştırılır. Algoritma tüm yolları sırayla bulduğundan, diğer hedef için en kısa yol bulunduğu çoklu hedefli en kısa yol problemi için tüm çözümler kümesi elde edilir. (Climaco ve Martins, 1982)

2.1.2.2.2 Sezgiseller

Genelde çok kriterli, özelde ise iki kriterli EKYP'de sezgisel olarak literatürde A* bazlı algoritmaların çalışıldığı daha önce de belirtilmiştir. Çalışmamızın geneli açısından sezgiseller, özellikle de A* tabanlı algoritmalar özel önem arz ettiği için, bu bölümde detaylı analizleri yapılacaktır.

2.1.2.2.2.1 A* Bazlı Sezgisel Algoritmalar

A* algoritması, EKYP'nin çözümünde kullanılan bir sezgisel paradigmadır. Bu paradigma, doğrudan bir çözüm yöntemi sunmamakta, bir çözüm yönteminin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır. Hart v.d. (1968) tarafından geliştirilen bu paradigmanın temelinde, A* fonksiyonu yer almaktadır. Bu fonksiyon, en kısa yol tespiti için ilerlenecek düğümün seçilmesinde kullanılmaktadır. Aday düğümler arasından, en küçük A* fonksiyon değerine sahip olan düğüme geçilerek devam edilmektedir. A* fonksiyonu, başlangıç düğümünden ilgili düğüme kadar gerçekleşen yol maliyeti ile ilgili düğümden hedef düğüme olan sezgisel fonksiyon değerinin toplamını ifade etmektedir. Bu fonksiyonun formülü $F(N) = C(N) + H(N)$ şeklindedir, burada N bir düğümü temsil etmektedir. C(N), gerçekleşmiş yol maliyetini, H(N) ise sezgisel olarak hesaplanan bir

fonksiyonu ifade etmektedir. A* algoritması, eğer $H(N)$ tutarlı bir fonksiyon ise kesin çözüm sunacaktır (Hart v.d., 1968).

2.1.2.2.2.1.1 MOA*

Çok amaçlı A* (multi-objective A*) olarak bilinen bu algoritma, A* tabanlı çok amaçlı EKYP algoritmalarının ilk örneğidir ve Stewart ve White tarafından 1991 yılında geliştirilmiştir. Bu algoritma, NAMOA* algoritmasının temelini oluştururken, aralarında küçük farklılıklar vardır. Yapılan çalışmalara göre, NAMOA* algoritması, MOA* algoritmasından daha iyi performans göstermektedir. Bu nedenle, aşağıda NAMOA* algoritması daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

2.1.2.2.2.1.2 NAMOA* ve NAMOA*dr

Madow ve diğerleri (2010) tarafından geliştirilen algoritmalar, etiket belirleme temelinde ilerleyen sezgisel algoritmalarıdır. İlk algoritmanın boyutlarını küçültmek yoluyla, Madow v.d.i (2015), algoritmanın hızlandırılması için iyileştirmeler yapmıştır. NAMOA* algoritması, MOA* algoritmasının temelini almakla birlikte, MOA* düğüm seçme temelinde ilerlerken, NAMOA* etiket seçme temelinde ilerlemektedir.

NAMOA* algoritması, etiket belirleme algoritmasına dayanmaktadır. Martins'in (1984) algoritması gibi, herhangi bir etiket işlenirken, o etiketin sahibi olan düğümden gidilen her düğüm için yeni bir etiket düzenlenmektedir. Ancak, burada geçici etiketlerle kalıcı etiketler arasında ayırım yapılmamaktadır. Her etiket düzenlendiğinde, bu etiketler bir kümenin içine atılmakta ve A* fonksiyon değerleri en küçük olan etiket seçilerek devam edilmektedir. Sonuç düğümüne ulaşıldığında, oluşturulan etiket, sonuç düğümü için çözüm kümesinin bir elemanı olacaktır. Her etiketten yeni bir etiket üretilmeyebilir; eğer bir etiket, bulunduğu düğümde daha önce oluşturulmuş etiketler tarafından domine edilirse, o etiket artık işlenmeyecektir (Madow ve diğerleri, 2010).

Madow ve diğerleri (2010), NAMOA* algoritmasının hızlı çalışması için leksikografik olarak en düşük A* değerine sahip etiketin seçilmesinde (heap tree) yığın ağacı veri yapısının kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Aksi takdirde, orta boyutlu bir çizgede bile etiket kümesi hızla büyüyerek 10.000'lere kadar ulaşabilir. Yığın ağacı kullanımı, en

küçük etiketin seçilmesi için toplam işlem sayısını $O(\log N)$ civarında tutarken, normal seçme yöntemleri küme büyüklüğüne bağlı olarak $O(N)$ kadar artacaktır. NAMOA* algoritması, her amaç için en kısa yol değerini kullanarak ilgili düğümden sonuç düğümüne sezgisel olarak ilerler. Sözde kodu Tablo-8'de gösterilen algoritmada çık etiketler yeni etiket üretmek için kullanılırken, kapalı etiketler artık kullanılmaz. Sonuç düğümünde en son kalan etiketlerin oluşturduğu küme Pareto optimal çözüm kümesi olacaktır. Geri iz takibi metoduyla güzergahlar elde edilecektir. Her iki algoritma da A^* tabanlıdır ve f^* fonksiyonu, h^* ve c fonksiyonlarının kombinasyonundan oluşur, bu fonksiyonlar A^* bölümünde açıklanmıştır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

Kümeler: S düğümler kümesi. E kenarlar kümesi. c kriterlere göre ağırlıkları tutan küme. G_{op} açık etiketler kümesi G_{cl} kapalı etiketler kümesi
Girdi : Bir arama problemi $(S, E, c, s_{bas}, s_{bit})$ ve h^* tutarlı sezgisel fonksiyonu
Çıktı: Pareto optimal çözümlerden oluşan küme
ÇÖZÜM $\leftarrow \emptyset$
her $s \in S$ için yap
$G_{op}(s) \leftarrow \emptyset; G_{cl}(s) \leftarrow \emptyset$ (algoritma başlangıcındaki atamalar)
$G_{op}(s) \leftarrow \{(0,0)\}$ üstsoy $((0,0)) \leftarrow \emptyset$ (herhangi bir etiket için üstsoy düğümünü tutacaktır) AÇIK kümesi oluştur ve başlangıç etiketini $(s_{bas}, (0,0), h(s_{bas}))$ bu kümeye ekle
AÇIK $= \emptyset$ değilse aşağıdaki döngüye devam et
AÇIK kümesi içinden leksikografik olarak en küçük f^* değerine sahip etiketi seç
Seçilen etiketi G_{op} kümesinden sil ve G_{cl} kümesine dahil et
eğer $s = s_{bit}$ ise
Seçilen etiketi ÇÖZÜM kümesine ekle. AÇIK kümesinden f değeri bu f^* değerince domine edilen bütün etiketleri sil.
Devam et
$\forall t \in \text{komşuluk}(S)$ için yap
$g_t \leftarrow g_s + c(s,t)$ (s düğümünden, bu düğümün komşuluğundaki düğümlere etiket üret)
Eğer üretilen etiket domine edilmemişse:
g_t etiketin g_s etiketini üstsoy olarak ekle
Devam et
Eğer üretilen etiket domine edilmişse komşuluğun sonraki elemanına geç
Değilse, yani üretilen etiket domine edilmemişse, bu etiketin domine ettiği etiketleri AÇIK ve KAPALI kümelerinden çıkar ve üretilen etiketi AÇIK kümesine ekle, bu etiketin üstsoy olarak g_s etiketini ekle
ÇÖZÜM kümesini çözüm olarak ver

Tablo 8 - Namoa* Algoritması Sözde Kodu

Kaynak: (Ulloa v.d., 2020)

2.1.2.2.2.1.3 BOA*

BOA* algoritması Ulloa v.d. (2020) tarafından geliştirilmiştir. Algoritma iki kriterli bir algoritmadır. Daha çok kriter olması durumunda kullanılamayacaktır. Problemin boyutunun büyümesini engellemek suretiyle çok hızlı şekilde çözüm kümesini üretmektedir. Bu algoritma, NAMOA* algoritmasından türetilmiştir; ancak, yapılan iyileştirme sayesinde göre yapılan geliştirme sayesinde neredeyse tek kriterli EKYP kadar hızlı çözüm sunmaktadır. (Gürsoy ve Duman, 2022)

Algoritma A* tabanlıdır ve bir A* fonksiyonu kullanmaktadır. NAMOA*'ın kullandığı gibi, ilgili düğümden sonuç düğümüne olan en kısa yol değerleri olarak sezgisel fonksiyon değeri olarak kullanılmaktadır. Etiket kümesinin en küçük değerli etiketi seçmek için yığın ağacı veri yapısı kullanılmaktadır, bu da NAMOA* ile aynıdır. Ancak, bir etiketin domine edilip edilmediğinin kontrolü sırasında, ilgili düğüm için başlangıçtan ilgili düğüme ikinci amaç açısından daha önceden ulaşılan en kısa mesafe değeri kontrol edilmektedir. Bu, ilgili düğüm için önceden oluşan bütün etiketleri kontrol etmek yerine yapılır. Etiketler, ilk amaç açısından en küçüğünden başlanarak seçildiğinden, herhangi bir etiket daha önceden işlendiyse, mutlaka daha küçük ilk amaç değerine sahip olmalıdır. Bu nedenle, şu anda işlenen etiket, daha önceden ulaşılan en küçük ikinci amaç değerinden daha küçük değilse, zaten domine edilmiş bir etiket olacaktır. Bu sayede, bütün etiketlerin ikinci amacı ile karşılaştırmak yerine, söz konusu etiket için daha önce ulaşılan en küçük ikinci amaç değeri ile karşılaştırılarak kontrol süresi sabitlenir. Bu durum, algoritmayı çok hızlı hale getirir. (Ulloa vd., 2020). Gürsoy ve Duman tarafından yapılan çalışmada, BOA* algoritması; etiket düzeltme ve NAMOA* algoritmaları ile karşılaştırılmış, bu karşılaştırmalar sonucunda BOA* algoritmasının diğer algoritmalara nazaran fark edilir derecede hızlı olduğu tespit edilmiştir (Gürsoy ve Duman, 2022).

BOA* algoritmasına ait sözde kod Tablo-9'da gösterilmektedir.

Girdi : Bir arama problemi $(S, E, c, s_{bas}, s_{bit})$ ve tutarlı bir h^* sezgisel fonksiyonu
Çıktı: Pareto optimal çözüm kümesi
$SOL \leftarrow \emptyset$
her $s \in S$ için yap
$g_2^{min}(s) \leftarrow \infty$ (her düğümün g_2 değerini sonsuza eşitle)
Başlangıç düğümü için atamaları yap: etiket oluştur, c fonksiyon değerini sıfıra eşitle, ebeveyn kümesinde ebeveyn kümesini boş küme yap.
Open kümesini oluştur ve başlangıç düğümü için oluşturulan etiketi ekle
Open $\neq \emptyset$ sürece yap

Open kümesi içindeki alfabetik (leksikografik) olarak en küçük f^* değerine sahip etiketi al
Eğer ilgili etiketin g_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse ya da o etiketin f_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse bu etiketi atla, bir sonraki etikete geç
Değilse o düğüm için $g_2^{\min}(s)$ değerini bu etiketin g_2 değeri olarak yenile.
Eğer etiketin ulaştığı düğüm bitiş düğümü ise
Bu etiketi çözüm kümesine ekle ve bir sonraki etikete geç
her $t \in$ komşular(s) için yap
t için yeni etiket oluştur. Bu etiket için f ve g değerlerini hesapla. Eğer ilgili etiketin g_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse ya da o etiketin f_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse bu etiketi atla, bir sonraki etikete geç
Değilse ilgili etiketi Open kümesine ekle
SOL kümesini çözüm olarak sun

Tablo 9 - BOA* algoritması sözde kodu (Kaynak Ulloa v.d., 2020)

2.1.2.3. Algoritmik Karmaşıklık ve BOA* algoritması Örneği ile Algoritmik Karmaşıklık Hesaplama

Bu bölümde algoritmik karmaşıklık kavramını inceleyecek ve şu ana kadar görmüş olduğumuz algoritmalarından BOA* algoritmasının karmaşıklığını ölçeceğiz. Bu bölümde bunu yapmaktaki amacımız, çalışmamızın 2.1.2.1 ve 2.1.2.2.1 bölümlerinde değindiğimiz üzere iki kriterli en kısa yol problemine ilişkin çözüm algoritmalarının belli şartlar altında polinomsal ürettiğinin bilindiği; ancak, pratikte algoritmik karmaşıklığının bilinmediği hususunun literatürde işlenmesi karşısında, son geliştirilen sezgisellerden olan BOA* algoritmasının karmaşıklığını ölçerek literatüre katkı sağlamaktır.

Algoritmik karmaşıklığın birçok tanımı olsa da en yaygın gösterimi $O(\cdot)$ gösterimidir. Bu gösterimde algoritmanın yaptığı işlem sayısı bir polinom olarak ifade edildiğinde, polinomun en yüksek teriminin, katsayısız şekilde gösterilmiş halidir. Örneğin bir algoritma $3n^3+2n^2-5n+10$ sayıda işlem yapıyorsa, bu algoritmanın karmaşıklığı $O(n^3)$ olarak ifade edilmektedir.

Algoritmik karmaşıklığı ölçmek için literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en bilineni yineleme ilişkisine (recurrence relation) dayanan ana teoremdir (master theorem) (Bentley v.d. 1980, Cormen v.d. 2001). Bu teoremden bir verinin büyüklüğüne göre yineleme ilişkisi oluşmaktaysa, ana teorem ile çözmek mümkün olmaktadır.

Örneğin sıralı bir listede aranan elemanın ikili-arama (binary search) ile bulunmasına ilişkin algoritmanın karmaşıklığını ele alırsak.

$T(n)$ = algoritmanın n adet eleman için yaptığı işlem sayısı olsun.

Bu durumda söz konusu algoritma için yineleme ilişkisi

$T(n) = T(n/2) + 1$ olacaktır.

Ana teoreme göre bu algoritmanın karmaşıklığı $O(\log n)$ olacaktır. (Bentley v.d., 1980)

Literatürde yer alan başka bir yöntem ise döngülerin yer aldığı algoritmalara ilişkindir. Örneğin iki matrisin çarpımına ilişkin olarak algoritmik karmaşıklık hesaplamasını yapacak olursak. İki matrisin çarpım formülü şu şekildedir:

$$c_{ij} = \sum_{k=0}^{n-1} a_{ik} * b_{kj}$$

Yukarıdaki formülde matrisin i 'nci satırının j 'nci sütunu için matrisin boyutu kadar çarpım ve toplama işlemi gerekmektedir. Yani her bir elemanın bulunabilmesi için n ile orantılı sayıda işlem yapılmalıdır. Matrisin toplam n^2 elemanı olduğu için matris çarpımı işlemi $O(n^3)$ karmaşıklığa sahip bir işlemidir.

Algoritmik karmaşıklık, bilgisayar programı çözüm süresi ile doğrudan ilişkilidir. Yukarıda da belirttiğimiz üzere, algoritmik karmaşıklık, bir algoritmanın yaptığı işlem sayısının kabaca gösterebilir. İşlem sayısını tam olarak gösteren polinom ile bir işlemin bilgisayar tarafından yapılma süresini çarptığımızda ise ilgili algoritmanın bir bilgisayarda çalışma süresini bulmak mümkün olacaktır. Bunun tersinin olduğunu söylemek de mümkündür. Yani bir programın çalışma süresi ve bilgisayarın bir adet işlemi ne kadar sürede yaptığı biliniyorsa, programın yaptığı işlem sayısı bilinebilecektir. Bu durumda elde yeterince örnek varsa, istatistiki analiz ile algoritmik karmaşıklık analizi yapmak mümkün olacaktır. Matematiksel metotlarla algoritmik karmaşıklık hesaplanamıyorsa, istatistiki yöntemlerle hesaplanabilecektir.

Çeşitli veri setleri ile yapmış olduğumuz çalışmalar sonucunda BOA* algoritmasının çeşitli veri büyüklükleri için hangi sürelerde çözüme ulaştığını ölçebilmekteyiz. Bu durumda veri setinin büyüklüğü ile çözüm süresi arasında bir ilişki olup olmadığını araştırarak, böyle bir ilişki mevcutsa, hesaplama yaparak BOA* algoritmasının algoritmik karmaşıklığını ölçmek mümkün olabilecektir. Bu bölümde BOA* algoritmasının algoritmik karmaşıklığını istatistiki yöntemler ile hesaplayacağız.

Aşağıdaki yer alan Tablo-10'da çeşitli büyüklükteki veri kümeleri için BOA* algoritmasının, aynı bilgisayarda çalıştırılması sonucunda elde edilen süreler yer almaktadır. Aşağıdaki veri kümeleri, daha önceden yapılmış çalışmalarda kullanılan veri kümeleridir. (Princeton, Dimacs) Bu süreler ilgili veri setlerinin aynı konfigürasyona sahip bilgisayarlarda en az beşer kez çalıştırılmaları sonucunda elde edilen ortalama sürelerdir.

Harita Adı	Düğüm Sayısı	Kenar Sayısı	Çalışma Süresi
10000EWD	10.000	123.462	65,00
1000EWD	1.000	16.866	0,90
road-euroroad	1.174	1.417	0,21
road-luxembourg-osm	114.599	119.666	108,09
road-minnesota	2.642	3.303	0,21
soc-Epinions	75.879	508.837	1.977,70
Dimacs Bay Area	321.270	800.172	19,00
Dimacs Colorado	435.666	1.075.066	75,00
Dimacs Florida	1.070.376	2.712.798	157,00
Dimacs N.East US	1.524.453	3.897.636	56.000,00
Dimacs N.West US	1.207.945	2.840.208	5.500,00
Dimacs NewYork	264.346	733.846	38,00
mediumEWD	250	2.546	0,52
Rome	3.353	8.870	3,05

Tablo 10 - BOA* Çalışma Süreleri

Tablo-10'da yer alan sürelerle ilişkin olarak yaptığımız regresyon çalışması sonucunda Tablo-11'de yer alan sonuçlar elde edilmiştir. Söz konusu sonuçlardan görülebileceği üzere, özellikle X değişkeninin t değeri oldukça yüksek ve p değeri ise binde 1'lik düzeyde bile anlamlıdır. Kullandığımız model ise şu şekildedir.

$$\text{Süre} = (\text{Düğüm Sayısı}) * (\text{Kenar Sayısı}) * \log (\text{Kenar Sayısı} + \text{Düğüm Sayısı}).$$

Tablo-11'de X değişkeni için gösterilen katsayı yaklaşık 1×10^{-9} dur. Algoritmik karmaşıklık hesaplamalarında, önemli olan en yüksek dereceli polinomun derecesidir. Katsayı önem arz etmemektedir. (Sedgewick, Wayne, 2013) Bu durumda BOA* algoritmasının algoritmik karmaşıklığının $E.V.\log(E+V)$ olduğu kabul edilebilir.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,832548255							
R Square	0,693136597							
Adjusted R Square	0,667564647							
Standard Error	8579,029215							
Observations	14							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	1994946587	2E+09	27,10534747	0,000219618			
Residual	12	883196907,2	7,4E+07					
Total	13	2878143495						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-1780,529087	2596,885022	-0,6856	0,505970343	-7438,655491	3877,597317	-7438,655491	3877,597317
X Variable 1	1,0134E-09	1,94649E-10	5,20628	0,000219618	5,89292E-10	1,4375E-09	5,89292E-10	1,4375E-09

Tablo 11 - BOA* regresyon sonuç tablosu

2.1.3. Minsum-Minmax Çok Kriterli En Kısa Yol Problemi

Daha önceki bölümlerde yer alan ve literatürde de çoğunlukla ele alınmış olan EKYP Minsum-Minsum olarak adlandırılan problem türüdür. Bu problem türünde kriterlerden ikisinde de toplamın minimize edilmesi hedeflenmektedir. Ancak gerçek hayat uygulamalarında bu problem haricinde de birçok problem türü bulunmaktadır. Bu problemlerin ilk örneği Minsum-limit türü problemlerdir. Burada ilk kriter en kısa güzergahın bulunması iken, ikinci kriterde bir sınırlama bulunmaktadır. Örneğin, dorsesinin yüksekliği 5,5 metre olan bir kamyonun, belli bir güzergahı en kısa yoldan alma problemi bu tür bir problemdir. Zira yol üstünde yüksekliği 5,5 metrenin altında olan tünel ve köprüler varsa, o yol kullanılamayacaktır. Bu da problemi standart EKYP'den uzaklaştırmaktadır. Bu tür problemlerin başka bir örneği ise literatürde sıkça çalışılan bir konu olan tehlikeli madde taşımacılığı problemidir (Erkut-Verter. 1998). Bu problemde tehlikeli madde taşıyan araçların bazı yolları kullanması yasaklanmıştır. Bu şartlara uygun EKYP de iki kriterli bir EKYP'dir.

Vermek istediğimiz son örnek ise detaylıca inceleyeceğimiz Minsum-Minmax türü EKYP'dir. Bu problemde ilk kriter en kısa güzergahın bulunmasına ilişkin iken, ikinci kriter ise güzergah üzerindeki en yüksek kriter ağırlığının minimize edilmesi üzerinedir. Örnek olarak bir taşımacılık probleminde, güzergâh üzerindeki en yüksek eğimin minimize edilmesi problemi verilebilir. Bu problemde, bir önceki problemdeki gibi bir sınırlama yoktur. Ancak ikinci kriterde, toplama yapılmamakta, en büyük kriter değeri alınmaktadır.

Bu bölümde, Minsum-Minmax EKYP ve çözüm önerileri incelenecektir.

2.1.3.1. İki Kriterli Minsum-Minmax En Kısa Yol Problemi

Çalışmamızın 2.3 bölümünde Minsum-Minmax probleminden yüzeysel olarak bahsettik. Bu bölümde ise iki kriterli Minsum-Minmax EKYP ve çözüm yöntemlerini inceleyeceğiz.

Problemin matematiksel modeli aşağıda Model-3'te yer almaktadır.

$$\text{"Min"} \sum x_{ij} w_{ij}, \forall (i, j) \in E \quad (3.1)$$

$$\text{Min}(\text{Max}(x_{ij} v_{ij})) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\} \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1 \quad (3.4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1 \quad (3.5)$$

$$w_{ij}, v_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in E \quad (3.6)$$

$$x_{ij} \in 0,1, \forall (i, j) \in E \quad (3.7)$$

Model 3- Minsum-Minmax İki Kriterli En Kısa Yol Matematiksel Modeli

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu, bütün kenarlar için x_{ij} değişkeninin çarpımları ile her kenara atanmış amaç ağırlık değerlerinin toplamından oluşur. Burada x_{ij} , kenarların çözümde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen değişkendir. Amaç fonksiyonu, problemin ana amacı olan güzergahın toplam uzunluğunu minimize etmeyi hedefler. Ancak iki kriterli EKYP'nin aksine burada sadece ilk amaç fonksiyonu (3.1 numaralı denklem) minimizasyonu hedeflemektedir. İkinci amaç fonksiyonu (3.2 numaralı denklem) ise güzergahta üzerindeki ikinci ağırlık değerlerinin en büyüğünü minimize etmeyi hedeflemektedir.

Kısıtlar açısından bakıldığında, ilk kısıt (3.3 numaralı denklem) akış koruma kısıtıdır. Bu kısıt, başlangıç ve bitiş düğümleri dışındaki herhangi bir düğüme giren ve o düğümden çıkan akışın eşit olmasını gerektirir. İkinci (3.4 numaralı denklem) ve üçüncü (3.5 numaralı denklem) kısıtlar başlangıç ve bitiş düğümleri için akış koruma kısıtlarını tanımlar. İkinci kısıt, başlangıçtan çıkan akış ile başlangıca giren akış arasında sadece

bir fark olması gerektiğini belirtirken, üçüncü kısıt bitiş düğümü için akış koruma kısıtını belirtir. Dördüncü kısıt (3.6 numaralı denklem), negatif ağırlıkları olan kenarlara izin vermediği için kenarların ağırlıklarının negatif olmamasını gerektirir. Son kısıt (3.7 numaralı denklem) ise karar değişkeninin binary olduğunu belirtmektedir. Kısıtların, standart iki kriterli EKYP ile aynı olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

İki kriterli Minsum-Minmax EKYP literatürde az değinilen bir problemdir. En bilinen çözüm yöntemi ise Minoux'un (1989) yöntemidir. Eşik algoritması adını verdiği algoritma, Model-3'teki değişkenler kullanılarak, Tablo-12'de gösterilmektedir.

1- v_{ij} değerlerini büyükten küçüğe doğru sıralayalım, bunları m_t olarak yeniden adlandıralım, m_t kenarların büyükten küçüğe olarak sıralandığı bir liste olacaktır.
2- $t = 1 \dots$ kenar sayısı olarak döngüye başlayalım
3- Eğer $t \geq 2$ ve $m_t = m_{t-1}$ ise 2'nci adıma geri dönelim
4- Eldeki verileri kullanarak en kısa yol algoritması kullanarak en kısa güzergahı bulalım. Bu güzergahı S_t olarak adlandıralım. Ve çözüm kümesinin içine koyalım.
5- $k \leq t$ için m_t değerlerini ∞ olarak belirleyelim. Aynı şekilde ilgili kenarın w_{ij} , değerini de ∞ olarak belirleyelim.
6- $t =$ kenar sayısı ise çıkalım değilse 2'nci adıma gidelim

Tablo 12 - Eşik Algoritması (Minoux, 1989)

Algoritma aslında standart tek kriterli en kısa yol algoritmasının, kenar sayısınca tekrarlanmasıdır. Burada eğer, ikinci ağırlığın kriterinde farklı değer sayısı fazla değilse, algoritmanın 3'üncü aşaması boş yere en kısa yol algoritması yapılmasını engelleyecektir.

Algoritmik karmaşıklığını hesaplayalım. Bu algoritma en kötü senaryoda, kenar sayısı kadar (E) en kısa yol algoritmasını tekrarlayacaktır. En kısa yol algoritması ise $O((E+V)\log(V))$ sürede bulunabilmektedir. Bu durumda Minoux'un eşik değer algoritmasının karmaşıklığı $O((E^2+EV).\log(V))$ olacaktır.

Bu çalışmamızda Minoux'un algoritmasına bir alternatif önerimiz olacaktır. Önerimiz A* tabanlı bir algoritmadır. Adımları aşağıda Tablo-13'te yer almaktadır.

1- Birinci kriter açısından (Minsum kriteri); her bir düğüm için bitiş düğümüne olan en kısa yol bulunacaktır. Burada başlangıç düğümü ilk olarak ele alınacak, başlangıç düğümünden bitiş düğümüne en kısa yol üzerinde olan düğümler için bir daha en kısa yol yapılmayacak. En kısa yol hesaplanmamış düğüm kalmayana kadar bu işlem devam edilecektir.
2- İkinci kriter (Minmax kriteri) açısından her düğümden, bitiş düğümüne ikinci kriterin Minmax değeri bulunacaktır. Bu değerler bulunurken aşağıda açıklayacağımız "Minmax bulma" algoritması kullanılacaktır.
3- 1 ve 2'nci aşamada bulunan değerler A* algoritması için sezgisel fonksiyon değerleri olacaktır. Bu değerlerin A* algoritmasında aranılan "tutarlı fonksiyonlar" olduğu aşıkardır.
4- BOA* algoritmasında olduğu gibi, etiketleme işlemine başlanır.
a- Başlangıç düğümünde ilk etiket oluşturulur. Bu etiket $\langle 0, 0, f_1(\text{baş}), f_2(\text{bit}), -1, -1 \rangle$ olarak belirlenir. Bu etiketin ilk elemanı ilk kriter açısından o ana kadar ki yolun uzunluk toplamını, ikinci eleman o ana kadar karşılaşılan en büyük ikinci kriter değerini, üçüncü eleman ilk kriter açısından o düğümün sezgisel değerini veren f_1 fonksiyon değerini, dördüncü eleman ise ikinci kriter açısından o düğümün sezgisel değerini veren f_2 fonksiyon değerini, beşinci eleman bu etiketin kaynak düğümünü, altıncı eleman ise ilgili

<p>düğümün kaçınıcı etiketi olduğunu gösterir. Yani Hansen (Hansen, 1980) ve Martins algoritmasından (Martins, 1982) bu güne kadar kullanılan standart etiketleme prosedürü, sadece ikinci kriterin kaydedilmesi açısından farklılaşarak, kullanılmaktadır.</p>
<p>b- Seçilen etiket öncelikle temel etiket listesine alınır. Seçilen etiketten yeni etiketler oluşturulur. Etiketler şu şekilde oluşturulur.</p>
<p>i. Etiketın bağılı olduğu düğümün komşuluk listesinde yer alan düğümlere olan kenarlar teker teker ele alınır.</p>
<p>ii. İlgili kenarın ağırlıklarını dikkate alarak yeni bir etiket oluşturulur. Seçilen etiket = $\langle w, v, m, n \rangle$ olsun. Seçilen etiketin bağılı olduğu kenar p, ve seçilen etiketin ilgili kenardaki numarası q olsun. Ele alınan kenarın ağırlıkları ise y ve z olsun. Son olarak kenarın bitiş düğümünün adı da t olsun. Bu durumda yeni etiket şu şekilde olacaktır = $\langle w+y, \max(v,z), w+y+f_1(t), \max(v,z,f_2(t)), p, q \rangle$. Etiketın ilk elemanı, seçilen etikete kadar ki toplam mesafe ile ilgili kenarın uzunluğunun toplamı. İkinci eleman ikinci kriter açısından seçilen etikete kadar en yüksek ağırlık değeri ile ilgili kenarın ikinci kriter açısından ağırlık değerinden büyük olanı, üçüncü eleman birinci kriter açısından o ana kadar gelinen güzergahın uzunluğu ile sezgisel fonksiyonunun t düğümündeki değerinin toplamından oluşan A^* fonksiyon değeri, dördüncü eleman ikinci kriter açısından o ana kadar gelinen güzergahın en yüksek değeri, ilgili kenarın ikinci kriter değeri ile sezgisel fonksiyonunun t düğümündeki değerinin en büyüğünü seçen A^* fonksiyon değeri, beşinci elemanı seçilen etiketin bağılı olduğu düğüm, altıncı eleman ise seçilen etiketin ilgili düğümdeki numarasıdır.</p>
<p>iii. Oluşan etiketin bağılı olduğu düğümün ikinci kriter açısından o ana kadar oluşan etiketlerdeki en küçük değeri ile bu</p>

<p>etiketin ikinci elemanı karşılaştırılır. Eğer etiketteki ikinci eleman daha büyükse, bu etiket aday etiket kümesine alınmaz. Aksi durumda etiket aday etiket kümesine alınır.</p>
<p>c- Aday etiket kümesindeki etiketlerden iki A^* fonksiyonuna göre oluşan ikili küme (etiketlerin üç ve dördüncü elemanlarının oluşturduğu ikili küme) değerlerinden leksikografik olarak en küçük olanı seçilir ve b adımına gidilir.</p>
<p>5- Aday etiket listesinde eleman kalmayana kadar 4'üncü adım devam edilir. En son elde kalan temel etiket listesi, çözüm kümesi olacaktır.</p>

Tablo 13 - Minsum-Minmax Çözümü İçin Önerdiğimiz Algoritma

Algoritmamızın ikinci aşamasında yer alan Minmax bulma algoritması ise aşağıda Tablo-14'te yer almaktadır. Bu algoritma Prim'in minimum spanning tree algoritması baz alınarak, tarafımızca geliştirilmiştir.

1	Bütün kenarların, ters yöndeki simetriği oluşturulur.
2	Bitiş düğümünün Minmax değeri 0 olarak diğer düğümlerin Minmax değeri ise ∞ olarak belirlenir. Bütün kenarların ziyaret edilip edilmediği bir liste tutulur. Başlangıçta bütün kenarlara 0 değeri verilir.
3	Bitiş düğümü seçilir.
4	Seçilen düğümün ulaştığı düğümler ve bu kenarlar tek tek ele alınır. İlgili kenarın ziyaret listesindeki değeri 1 ise diğer kenara geçilir. Seçili düğümün Minmax değeri p, ulaşılan düğümün Minmax değeri q ve kenarın ikinci kriter açısından ağırlığı v olsun. Burada ulaşılan düğümün Minmax değeri $\min(q, \max(p, v))$ olarak atanır. Düğüm bir kuyruğa atılır. İlgili kenar ziyaret edildiği için kenar ziyaret listesinde değeri 1 olarak atanır.

- | | |
|---|---|
| 5 | Kuyruktaki en küçük Minmax değerine sahip düğüm alınır. Bu düğüm kuyruktan çıkarılır. 4'üncü adıma gidilir. |
| 6 | Kuyrukta hiç düğüm kalmadıysa ya da bütün kenarlar ziyaret edildiyse, bu durumda algoritma tamamlanmıştır. |

Tablo 14- Minmax Bulma Algoritması

Önerdiğimiz algoritmanın özellikle çok kenara sahip ve her kenarın farklı Minmax kriter ağırlığına sahip olduğu çizgelerde Minoux algoritmasından daha hızlı çalışacağını düşünmekteyiz; çünkü, söz konusu çizgelerde Minoux algoritması kenar sayısı kadar, EKY algoritması çalıştıracaktır, bu algorithmada ise etiket oluşturularak gidilecek ve herhangi bir düğüme ilişkin etiketlere ilişkin kısıtlama getirileceğinden, daha süratli çözüme ulaşılabacaktır.

2.1.3.2. Çok Kriterli Minsum-Minmax En Kısa Yol Problemi

Çok kriterli Minsum-Minmax EKYP, iki kriterli EKYP'nin daha genel halidir. Burada Minmax kriterinin bir tane veya daha çok olmasına göre problemin birçok varyasyonu türetilebilir. Genel olarak matematiksel modeli Model-4'te gösterildiği gibidir.

Minsum amaç fonksiyonları

$$\mathbf{Min} \sum_{i,j \in E} x_{ij} w_{kij} \quad \forall k \in K \quad (4.1)$$

Minmax amaç fonksiyonları

$$\mathbf{Min} \text{Max}(x_{ij} v_{lij}) \quad \forall l \in L \quad (4.2)$$

Model 4- Çok Kriterli Minsum-Minmax Modeli

Model-4'te kısıtlara yer verilmemiştir, zira kısıtlar önceki modellerle aynıdır. Modelde bir veya daha fazla Minsum amaç fonksiyonu (4.1 numaralı denklem) ve bir veya daha fazla

Minmax amaç fonksiyonu (4.2 numaralı denklem) yer almaktadır. Yukarıda gösterilen K kümesi Minsum amaç fonksiyonlarının kümesi, L ise Minmax amaç fonksiyonlarının kümesidir. Bu kümelerde en az birer eleman bulunmaktadır. Eğer küme de sadece birer elemandan oluşuyorsa, problem bir önceki bölümde incelediğimiz iki kriterli Minsum-Minmax EKYP'ne evrilmektedir.

Bu problemlere ilişkin olarak literatürde yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle de herhangi bir çözüm algoritması önerilmemiştir. Çalışmamızda, bu probleme ilişkin genel bir çözüm algoritması tasarlanmıştır. Genel algoritma Minoux'un (1989) eşik algoritması ile NAMOA* (Mandow v.d., 2010) algoritmasının bir birleşimi şeklindedir. Bu algoritma Tablo-15'te gösterilmektedir.

1- Model-4'te yer alan Minmax ağırlık kriterlerini alalım. Bunların her bir kenar için sırasıyla bir listeye yazalım. Böylece elimizde her bir kenar için birden fazla Minmax ağırlık kriteri yerine tek bir değer listesi olacaktır.
2- Birini adımda oluşturduğumuz Minmax değer listelerini leksikografik olarak büyükten küçüğe doğru sıralayalım, bunları m_t olarak yeniden adlandıralım, m_t kenarların Minmax kriterleri açısından leksikografik olarak büyükten küçüğe olarak sıralandığı bir liste olacaktır.
3- $t = 1 \dots$ kenar sayısı olarak döngüye başlayalım
4- Eğer $t \geq 2$ ve $m_t = m_{t-1}$ ise 2'nci adıma geri dönelim
5- Eldeki verileri kullanarak NAMOA* algoritması kullanarak Pareto optimal çözüm kümesini bulalım. Bu kümeye S_t olarak adlandıralım. Ve çözüm kümesinin içine koyalım.

6- $k \leq t$ için m_t değerlerini ∞ olarak belirleyelim. Aynı şekilde ilgili kenarın Minsum kriteri açısından ağırlıklarının değerini de ∞ olarak belirleyelim.
7- $t = \text{kenar sayısı}$ ise çıkalım değilse 2'nci adıma gidelim

Tablo 15 - Çok kriterli Minsum-Minmax çözüm algoritması önerisi

Algoritma aslında standart NAMOA* algoritmasının, Minmax kriterlerinden oluşan değer kümesi sayısınınca tekrarlanmasından ibarettir. Ancak burada sıralamanın önemli olduğu aşıkardır. Bu sıralama ise Minmax kriterlerinin leksikografik sıralamasına göre yapılacaktır.

2.2. EN UZUN YOL PROBLEMİ

2.2.1. Genel Olarak En Uzun Yol Problemi

En uzun yol problemi, EKYP'nin tam tersi bir problemdir. İki nokta arasındaki en uzun güzergah amaçlanmaktadır. Gerçek hayat problemlerinde EKYP kadar sık karşılaşılan bir problem değildir. Verilebilecek bazı örnekler şunlardır: belli sırasıyla yapılması gereken işlemler sonucunda elde edilen hasılatın maksimize edilmesi, art arda gelen işlemlerin olasılığının maksimize edilmesi. Literatürde en sık kullanılan uygulamalarından biri ise PERT probleminde kritik güzergahın bulunmasıdır (Winston, 2003).

Problemin matematiksel modeli aşağıda Model-5'te gösterilmektedir.

Max	(5.1)
$\sum x_{ij}w_{ij}, \forall (i,j) \in E$	

$$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\} \quad (5.2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1 \quad (5.3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1 \quad (5.4)$$

$$w_{ij}, v_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in E \quad (5.5)$$

$$x_{ij} \in 0,1, \forall (i, j) \in E \quad (5.6)$$

Model 5- En uzun yol matematiksel modeli

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu, bütün kenarlar için x_{ij} değişkeninin çarpımları ile her kenara atanmış amaç ağırlık değerlerinin toplamından oluşur. Burada x_{ij} , kenarların çözümde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen değişkendir. Amaç fonksiyonu (5.1 numaralı denklem), problemin ana amacı olan güzergahın toplam uzunluğunu maksimize etmeyi hedefler.

Kısıtlar açısından bakıldığında, ilk kısıt (5.2 numaralı denklem) akış koruma kısıtıdır. Bu kısıt, başlangıç ve bitiş düğümleri dışındaki herhangi bir düğüme giren ve o düğümden çıkan akışın eşit olmasını gerektirir. İkinci (5.3 numaralı denklem) ve üçüncü (5.4 numaralı denklem) kısıtlar başlangıç ve bitiş düğümleri için akış koruma kısıtlarını tanımlar. İkinci kısıt, başlangıçtan çıkan akış ile başlangıca giren akış arasında sadece bir fark olması gerektiğini belirtirken, üçüncü kısıt bitiş düğümü için akış koruma kısıtını belirtir. Dördüncü kısıt (5.5 numaralı denklem), negatif ağırlıkları olan kenarlara izin vermediği için kenarların ağırlıklarının negatif olmamasını gerektirir. Son kısıt (5.6 numaralı denklem) ise karar değişkeninin binary olduğunu belirtmektedir.

Bu problem normal şartlar altında NP-Zor bir problemdir (Sedgewick, Wayne, 2014). Zira Model-5'ten anlaşılabilceği üzere aynı kenar üzerinden birden fazla kere geçmek

olasıdır. Eğer kenar uzunlukları pozitif ise her geçişte güzergah uzunluğu artacaktır. Öte yandan bu durum kısıtlansa bile en uzun yolun bulunabilmesi için düğümlerin her permütasyonunun irdelenmesi gerekecektir. Bu nedenle literatürde NP-Zor bir problem olarak geçmektedir.

Ancak eğer en uzun güzergah aranılan çizge yönlü ve döngüsel olmayan bir çizge ise (Directed Acyclic Graph-DAG) bu durumda topolojik sıralama algoritması kullanılarak bir sıralama yapıldıktan sonra, en uzun güzergah doğrusal zamanda ($O(N)$) bulunabilecektir (Sedgewick, Wayne, 2014).

Elimizde yönlü ve döngüsel olmayan bir çizge olduğunu varsayarak aşama aşama çözüm yolunu inceleyelim. İlk aşama topolojik sıralamadır. Topolojik sıralama, yönlü ve döngüsel olmayan bir çizgenin, ilerleme yönünü tespit eden bir metottur. Bu sıralama sonucunda oluşan sıralamaya uygun olarak çizgenin düğümleri ziyaret edilirse, bütün düğümler, kenarların yönüne göre, uygun bir şekilde gezilmiş olacaktır. Skiena'ya göre her yönlü ve döngüsel olmayan çizgenin en az bir tane topolojik sıralaması vardır (Skiena, 2008).

Topolojik sıralama için başta Derinlik Öncelikli Arama (Depth First Search) gibi ibr çok algoritma kullanılabilir. Ancak Kahn'ın algoritması (Kahn, 1962) $O(V+E)$ gibi görece düşük bir algoritmik karmaşıklığa sahip olduğu için genellikle kullanılan algoritmadır. Biz de uygulamamızda bu algoritmayı kullanacağız. Bu algoritmanın adımları aşağıda Tablo-16'da gösterilmektedir.

1	Her düğüm için giren kenar sayısını gösteren bir liste tutulur. Bu listede başlangıçta her düğümün giren kenar sayısı 0'dır.
2	Sırasıyla bütün düğümler gezilir. Her düğüm için komşuluk listesi ele alınır. Yani bu düğümden çıkan kenarların varış düğümleri ele alınır ve, düğüm sayısı listesindeki değerleri her kenar için birer adet artırılır.

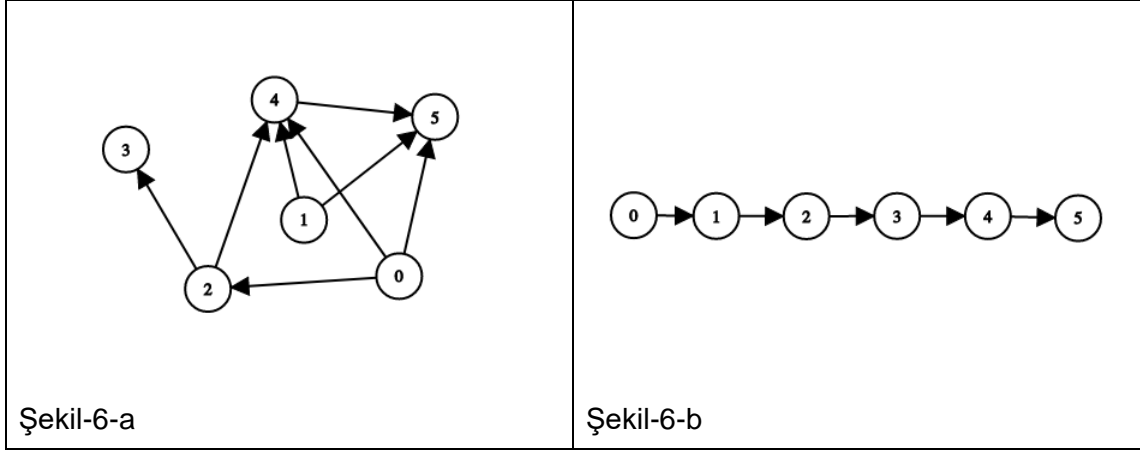
3	Bütün düğümler ziyaret edildiğinde, giren kenar sayısı listesi oluşmuş olur. Burada giren düğüm sayısı 0 olan en az 1 adet düğüm bulunmalıdır. Aksi halde çizgede döngü olduğu anlaşılacaktır.
4	Bu aşamadan sonra bir sıra listesi (queue) oluşturulur. 3'üncü aşamada elimizde olan giren kenar listesi de ele alınır. Ziyaret edilen düğüm sayısı 0 olarak belirlenir.
5	Giren kenar listesinde giren kenar sayısı 0 olan düğümler sıra listesine eklenir. Ve bu düğümler giren kenar listesinden çıkarılır.
6	Sıra listesinin en önündeki düğüm alınır, ziyaret edilen düğüm sayısı bir artırılır, alınan düğümün komşuluk listesindeki bütün düğümlerin giren kenar sayısı birer azaltılır. Giren kenar listesindeki giren kenar sayısı 0 olan düğümler sıra listesine eklenir.
7	Sıra listesinde düğüm kalmayana kadar 6'ncı adım tekrarlanır. Eğer ziyaret edilen düğüm sayısı, çizgedeki düğüm sayısına eşit değilse, bu çizgenin topolojik sıralamasının olamayacağı anlaşılır.

Tablo 16 - Topolojik Sıralama Algoritması

Topolojik sıralaması yapılan bir çizgenin gösterimi Şekil-6'daki gibi olacaktır. Bu şekilde soldaki çizge (Şekil-6-a) normal bir çizge iken, sağdaki çizge (Şekil-6-b) bunun topolojik olarak sıralanmış hali olacaktır. Tabii bu şekil-6-a'da yer alan çizgede alternatif topolojik sıralamalar da mevcuttur. 1-0-2-3-4-5 ya da 0-1-2-4-5-3 gibi birçok alternatif topolojik sıralama da mevcuttur. Ancak amacımız olan en uzun yolun bulunması algoritmasında, bu sıralamaların sonucu fark etmeyeceği için herhangi bir tanesini almak yeterlidir. Zira topolojik sıralamada bir düğümden diğerine giden bir kenar varsa, kenarın çıktığı düğüm, bütün topolojik sıralamalarda, kenarın girdiği düğümden önce gelecektir. Bu sayede, hangi sıralamayı alırsak alalım, iki düğüm arasındaki güzergahta, en uzun yolun sıralaması değişmeyecektir.

Algoritmanın karmaşıklığı ise $O(V+E)$ seviyesindedir. Zira algoritmanın 1-3'üncü adımları sırasında her bir düğüm ve her bir kenar sadece birer kere ziyaret edilmektedir. 4-6'ncı

adımları sırasında yine her bir kenar ve her bir düğüm birer kere ziyaret edilmektedir. Sonuçta $O(2V + 2E) = O(V+E)$ karmaşıklığı elde edilmektedir.



Şekil 6 - Topolojik Sıralama Şekli

En uzun yol algoritmasının ikinci aşamasında ise artık topolojik olarak sıralanan çizge kullanılacaktır. Algoritmanın ikinci aşaması ise aşağıda Tablo-17'de gösterilmektedir.

1	Topolojik olarak sıralanmış çizgede, aralarında en uzun güzergah aranan iki düğümün başlangıç ve bitişi içereceği şekilde alt çizgesi alınır. Örneğin Şekil-6-b'deki çizgede eğer 1 nolu düğümden 4 nolu düğüme gidilecekse, arama yapılacak olan çizgeden 0 ve 5 nolu düğümler çıkarılacak, arama yapılacak çizgenin başlangıç düğümü 0 bitiş düğümü ise 4 olacaktır.
2	En uzun mesafe listesi oluşturulacak ve burada her düğüme 0 değeri verilecektir. Yine bir ata listesi oluşturulacak ve burada her düğüme atası olarak kendisi atanacaktır.
3	Arama çizgesindeki başlangıç düğümünden bitiş düğümüne kadar, bu adım tekrarlanacaktır: Eldeki düğümden çıkan kenarların varış ucunda yer alan düğüme bakılacaktır. Eğer varış düğümünün en uzun mesafe listesindeki değeri; eldeki düğümün en uzun mesafe listesindeki değeri ile ele alınan kenarın uzunluğunun toplamından küçük ise, varış düğümünün en uzun mesafe listesindeki değeri, eldeki düğümün en uzun mesafe listesindeki değeri ile ele

	alınan kenarın uzunluğunun toplamı olarak güncellenecek, varış düğümünün ata listesindeki atası ise eldeki düğüm olarak güncellenecektir.
4	Bitiş düğümüne gelindiğinde algoritma tamamlanacaktır. Başlangıç düğümü ile bitiş düğümü arasındaki en uzun mesafe, en uzun mesafe listesinde, bitiş düğümünün değeri olacaktır. En uzun güzergah ise ata listesinde geri iz takibi (back tracking) metodu ile doğrusal zamanda tespit edilecektir.

Tablo 17- En uzun yol algoritması

Algoritmanın bu aşamasının karmaşıklığı da $O(V+E)$ 'dir. Zira her bir düğüm bir kere ziyaret edilmekte, her düğümden çıkan kenarlar da bir kere ziyaret edilmektedir. $O(V) + O(E) = O(V+E)$ olmaktadır.

En uzun yol algoritmasının iki aşamasında da $O(V+E)$ karmaşıklık olduğu için algoritmanın toplam karmaşıklığı da $O(V+E)$ yani doğrusal bir algoritma elde edilmektedir. Ancak yine belirtmek gerekir ki, en uzun yol algoritması sadece doğrusal ve dögüsel olmayan (DAG) çizgelerde kullanılabilir. Aksi takdirde problem NP-Zor bir problem haline gelmektedir (Sedgewick, Wayne, 2014).

2.2.2. İki Kriterli En Uzun Yol Problemi

İki kriterli en uzun yol problemi çok kriterli güzergah optimizasyonu problemlerinin bir alt kümesidir. Bu problemde optimize edilmesi istenilen kriterlerin en az bir tanesi en uzun yol olmaktadır. İki kriterin de en uzun yol olması, bir kriterin en uzun yol değerinin en kısa yol, bir kriterin en uzun yol değerinin Minmax kriteri olması, bir kriterin en uzun yol, değerinin limit problemi olması gibi birçok alt problem mevcuttur. Bildiğimiz kadarıyla literatürde çalışması yoktur.

Çalışmamızın bu bölümünde problemin genel tanımlaması ile bir çözüm metodolojisi ele alınacaktır. Matematiksel model aşağıda Model-6'da gösterilmektedir.

Max	
$\sum x_{ij}w_{ij}, \forall (i,j) \in E$	(6.1)
$\sum x_{ij}v_{ij}, \forall (i,j) \in E$	(6.2)
$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\}$	(6.3)
$\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1$	(6.4)
$\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1$	(6.5)
$x_{ij} \in 0,1, \forall (i,j) \in E$	(6.6)

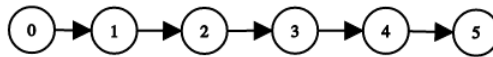
Model 6- İki kriterli en uzun yol matematiksel modeli

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu, bütün kenarlar için x_{ij} değişkeninin çarpımları ile her kenara atanmış amaç ağırlık değerlerinin toplamından oluşur. Burada x_{ij} , kenarların çözümde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen değişkendir. Amaç fonksiyonlarının ikisi de (6.1 ve 6.2 nolu denklemler) güzergahın uzunluğunu maksimize etmeyi amaçlamaktadır.

Kısıtlar açısından bakıldığında, ilk kısıt (6.3 numaralı denklem) akış koruma kısıtıdır. Bu kısıt, başlangıç ve bitiş düğümleri dışındaki herhangi bir düğüme giren ve o düğümden çıkan akışın eşit olmasını gerektirir. İkinci (6.4 numaralı denklem) ve üçüncü (6.5 numaralı denklem) kısıtlar başlangıç ve bitiş düğümleri için akış koruma kısıtlarını tanımlar. İkinci kısıt, başlangıçtan çıkan akış ile başlangıca giren akış arasında sadece bir fark olması gerektiğini belirtirken, üçüncü kısıt bitiş düğümü için akış koruma kısıtını belirtir. Son kısıt (6.6 numaralı denklem) ise karar değişkeninin binary olduğunu

belirtmektedir. Negatif ağırlık olmama kısıtı burada mevcut değildir. Ağırlıklar negatif olabilmektedir.

Öte yandan, eğer çizge yönlü ve dögüsel olmayan bir çizge ise bu durumda polinomsal zamanda çözüm üreten bir yöntem önerimiz bulunmaktadır. Aşağıda Şekil-7'de yer alan ve daha önceden de Şekil-6-b'de kullanmış olduğumuz çizge üzerinde bu önerimizi açıklayalım.



Şekil 7 - Topolojik sıralanmış çizge

Şekil-7'de en uzun yol için başlangıç düğümü 0 ve bitiş düğümü 5 olsun.

1- 0 düğümü için $\langle 0, 1, 0, 0, -1, -1 \rangle$ etiketini oluşturalım. Bu etiketi bir sıra listesine (queue) atalım. Bu etikette ilk eleman etiketin hangi düğüme ait olduğunu, ikinci eleman bu düğümün kaçınıcı etiketi olduğunu, üçüncü ve dördüncü elemanlar sırasıyla birinci ve ikinci kriterler açısından başlangıç düğümünden ele alınan düğüme kadar toplam güzergah uzunluklarını, beşinci eleman bu etikete kaynak teşkil eden düğümü, son eleman ise kaynak düğümün kaçınıcı etiketinin kaynak olduğunu göstermektedir. Domine edilmemiş etiketler kümesini oluşturalım. Bu küme başlangıçta boş kümedir. Yine sonuç listesini oluşturalım, bu liste de başlangıçta boş kümedir.

2- Sıra listesinde leksikografik olarak en büyük etiketi alalım. Bunu işlenecek etiket olarak işaretleyelim. Bu etiketi domine edilmemiş etiketler kümesine atalım.

3- İşlenecek etiketin ait olduğu düğümden çıkan kenarları tek tek ele alarak bu kenarlardan yeni etiketler oluşturalım. Bu etiketler şu şekilde oluşturulacaktır. İşlenecek etiket $\langle w, t, v, u, x, y \rangle$ olsun. Bu durumda w düğümünden çıkan kenarlar ele

alınacaktır. Bu düğümünden çıkan ve z düğümüne giden kenarı ele alalım. Bu kenarın iki kriter açısından uzunlukları v' ve u' olsun. Bu durumda yeni etiket şu şekilde olacaktır: $\langle z, v+v', u+u', w, t \rangle$.

4- Oluşturulan etiket sıra listesine atılmadan önce, sıra listesinde ve domine edilmemiş etiketler kümesindeki elemanlar ile karşılaştırılalım. Eğer etiket domine edilmemişse, sıra listesine atalım. Bu noktada domine edilme kavramının açıklanması gerekmektedir. Eğer bir düğüme ait olan bir etiket, o düğüme ait herhangi bir etikete göre iki kriter açısından da daha kısa ise o etiket domine edilmiştir. Eğer kriterlerden biri açısından eşit ve diğeri açısından da daha kısa ise yine domine edilmiştir. Kriterlerden en az birisi açısından daha uzun ise bu durumda domine edilmemiştir.

5-Oluşturulan bu etiketin ait olduğu düğüm eğer bitiş düğümü ise bu durumda ilgili etiketi sonuç listesine atalım.

6-Sıra listesinde etiket kaldıysa 2'nci adıma gidelim. Aksi takdirde sonuç listesini çözüm kümesi olarak sunalım.

Tablo 18 - İki kriterli en uzun yol çözüm algoritması önerisi

Yukarıda Tablo-18'de yer alan önerimiz, literatürde daha önceden çözümü önerilmemiş bir problemin çözümüdür.

Bir sonraki bölümde iki kriterli en uzun yol probleminin özel bir durumu olan Maxsum-Minmax türü en uzun yol problemi incelenecektir.

2.2.3. İki Kriterli Maxsum-Minmax En Uzun Yol Problemi

Çalışmamızın bu bölümünde bir kriterli en uzun yol diğeri ise Minmax türü kriter olan, iki kriterli güzergah optimizasyonu problemi ele alınacaktır. Bu problemin çözümü çalışmamız açısından önem arz etmektedir, zira bu problemin çözümü, Çalışmamızın 3'üncü kısmında yer alan tahsilat probleminin çözümünde kullanılacaktır.

Problemimizin matematiksel aşağıda Model-7'de yer almaktadır.

$$\text{Max } \sum x_{ij} w_{ij}, \forall (i, j) \in E \quad (7.1)$$

$$\text{Min}(\text{Max}(x_{ij} v_{ij})) \quad (7.2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\} \quad (7.3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1 \quad (7.4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1 \quad (7.5)$$

$$x_{ij} \in 0,1, \forall (i, j) \in E \quad (7.6)$$

Model 7- Maxsum-Minmax matematiksel model

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu, bütün kenarlar için x_{ij} değişkeninin çarpımları ile her kenara atanmış amaç ağırlık değerlerinin toplamından oluşur. Burada x_{ij} , kenarların çözümde kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen değişkendir. İlk amaç fonksiyonu (7.1 numaralı denklem) güzergah uzunluğunu maksimize ederken ikinci amaç fonksiyonu ise (7.2 numaralı denklem) güzergahtaki en yüksek ağırlığın minimize edilmesini hedeflemektedir.

Kısıtlar açısından bakıldığında, ilk kısıt (7.3 numaralı denklem) akış koruma kısıtıdır. Bu kısıt, başlangıç ve bitiş düğümleri dışındaki herhangi bir düğüme giren ve o düğümden çıkan akışın eşit olmasını gerektirir. İkinci (7.4 numaralı denklem) ve üçüncü (7.5 numaralı denklem) kısıtlar başlangıç ve bitiş düğümleri için akış koruma kısıtlarını tanımlar. İkinci kısıt, başlangıçtan çıkan akış ile başlangıca giren akış arasında sadece bir fark olması gerektiğini belirtirken, üçüncü kısıt bitiş düğümü için akış koruma kısıtını belirtir. Son kısıt (7.6 numaralı denklem) ise karar değişkeninin binary olduğunu belirtmektedir. Negatif ağırlık olmama kısıtı burada mevcut değildir. Ağırlıklar negatif olabilmektedir.

Bu problem çözüldüğünde, diğer iki kriterli güzergah optimizasyonu problemleri gibi, elimizde bir Pareto optimal çözüm kümesi oluşacaktır. Bu çözüm kümesinde yer alan her bir eleman, ait olduğu güzergahın yol uzunluğu ile o yolda ikinci kriter açısından karşılaşılan en yüksek değeri içerecektir.

Bu probleme ilişkin çözüm önerimiz aşağıdaki gibidir. Önerimiz Minoux'un eşik algoritmasının (1989), en uzun yol için uyarlanmış versiyonudur. Bu algoritma, Model-7'deki değişkenler kullanılarak, Tablo-19'daki gibi gösterilebilir.

- 1- v_{ij} değerlerini büyükten küçüğe doğru sıralayalım, bunları m_t olarak yeniden adlandıralım, m_t kenarların büyükten küçüğe olarak sıralandığı bir liste olacaktır.
- 2- $t = 1 \dots$ kenar sayısı olarak döngüye başlayalım
- 3-Eğer $t \geq 2$ ve $m_t = m_{t-1}$ ise 2'nci adıma geri dönelim
- 4-Eldeki verileri kullanarak en uzun yol algoritması kullanarak en uzun güzergahı bulalım. Bu güzergahı S_t olarak adlandıralım. Ve çözüm kümesinin içine koyalım.
- 5- $k \leq t$ için m_t değerlerini ∞ olarak belirleyelim. Aynı şekilde ilgili kenarın w_{ij} , değerini de ∞ olarak belirleyelim.
- 6- $t =$ kenar sayısı ise çıkalım değilse 2'nci adıma gidelim

Tablo 19 - Maxsum-Minmax çözüm algoritma önerisi

Algoritma aslında standart tek kriterli en uzun yol algoritmasının, kenar sayısınca tekrarlanmasıdır. Burada eğer, ikinci ağırlığın kriterinde farklı değer sayısı fazla değilse, algoritmanın 3'üncü aşaması boş yere en uzun yol algoritması yapılmasını engelleyecektir. Bu algoritmanın her türlü çizgede çalışacaktır; ancak, eğer eldeki çizge yönlü ve döngüsel olmayan bir çizge (DAG) değilse, 4'üncü aşamanın çözümü NP-Zor olduğundan, algoritmanın tamamı da NP-Zor olacaktır. Eğer çalışılan eğer eldeki çizge yönlü ve döngüsel olmayan bir çizge (DAG) ise bu durumda 4'üncü aşama doğrusal

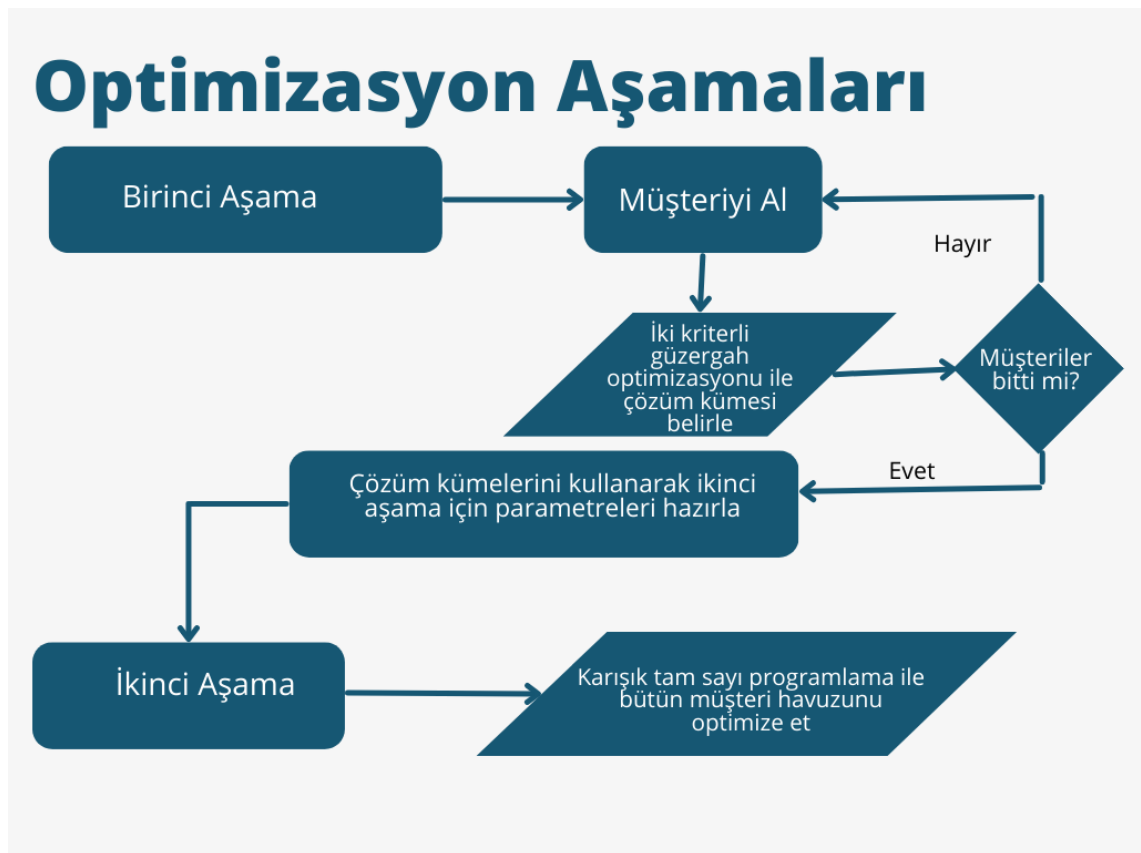
çözümüne sahip olduğundan, algoritmanın karmaşıklığı $O(E.V+E^2)$ olacaktır; çünkü, $(V+E)$ karmaşıklığa sahip olan en uzun yol algoritması her kenar için bir kere tekrarlanacaktır.

Çalışmamızın bu kısmında güzergah optimizasyonu detaylı olarak incelenmiş ve literatürde incelenmemiş problemler için çözüm önerileri geliştirilmiştir. Güzergah optimizasyonunun bu kadar detaylı olarak incelenmesinin sebebi ise çalışmamızın araştırma amacı için bir sonraki kısımda geliştireceğimiz metodoloji içerisinde güzergah optimizasyonunun kullanılmasıdır. Çalışmamızın bir sonraki kısmında, güzergah optimizasyonu da kullanılarak, gecikmiş alacakların tahsilatına ilişkin olarak bir metodoloji geliştirilecektir.

3. BÖLÜM: TAHSİLAT PROBLEMİNE ÇÖZÜM ÖNERİSİ

3.1. ÇÖZÜM AŞAMALARI

Çalışmamızda kullanılacak olan çözüm yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır. İkinci aşamanın da iki alt aşaması olduğu göz önüne alındığında, yöntemin daha iyi anlaşılabilmesi için bir şema üzerinde gösterilmesi daha doğru olacaktır. Aşağıda Şekil-10'da çözüm aşaması özetlenecektir anlatılacaktır.



Şekil 8 - Problem çözüm metodolojisi

Probleme ilişkin çözüm temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama yukarıda yer alan Şekil-8'de birinci aşama olarak gösterilmiştir. Bu aşamada öncelikle gecikmiş alacaklar havuzunda yer alan müşterilerin her birisi için iki kriterli güzergah optimizasyonu kullanılarak Pareto optimal gün/aksiyon güzergahları bulunacaktır. Bu aşamada kullanılacak iki kriterli güzergah optimizasyonunun metodolojisine ilişkin açıklamalar çalışmamızın İkinci Kısım'ında ayrıntılı olarak yer almaktadır. Çalışmamızın

bu kısmında ise sözü geçen iki kriterli güzergah optimizasyonu metodolojisinin problemimize uyarlanması yer almaktadır. Bu uyarılma, problem çözüm metodumuzun ilk aşamasıdır ve çalışmamızın 3.2 Bölümünde açıklanacaktır.

Problemimizin ikinci aşamasında ise Şekil-8'de de görüleceği üzere, karmaşık tam sayı programlaması yöntemi ile müşteri havuzunun optimize edilmesi yer almaktadır. Bu aşamaya ilişkin detaylı açıklamalarımız çalışmamızın 3.3 Bölümünde yer almaktadır.

3.2. TAHSİLAT PROBLEMİNİN ÇOK KRİTERLİ GÜZERGAH OPTİMİZASYONU PROBLEMİ OLARAK ELE ALINMASI

3.2.1. Problemin Tanımlanması

Çalışmamızın esas amacı, karar vericilere tahsilat optimizasyon problemini çözmek için bir strateji bulmaktır. Bu stratejinin kapsamına karar vericilere çeşitli araçların sağlanması da girmektedir. Tahsilat problemi, çalışmamızın birçok noktasında açıkladığımız gibi hem genel ekonomiyi hem de bireysel olarak bankaları etkileyen bir problemdir. Karar vericilerin buna ilişkin temel bir stratejilerinin olması gerekmektedir.

Tahsilat probleminin en basit çözümü hiçbir şey yapmamak, yani tahsilatı bir sorun haline getirmemek ve müşterilerin kendiliğinden ödemesini beklemektir. Bu durumda, müşterilerin küsmeme olasılığı yüksektir. Öte yandan, bankalar tahsilatı artırmak ve alacakları ile başa çıkmak için en sert taktikleri kullanabilirler; örneğin, ilk günden itibaren yasal yaptırım seçeneklerini kullanabilirler. Bu strateji şüphesiz tahsilat olasılığını artıracaktır. Ancak bu yöntemin hem operasyon maliyetleri yüksek hem de müşteri kaybına sebep olma olasılığı yüksektir. Bu iki uç arasındaki herhangi bir alacağı tahsil etmek için çok sayıda ara yol vardır. Bu planların her birinin kendine ait bir tahsilat olasılığı ve müşteri kaybı riski mevcuttur.

Yöntemin ayrıntılarına girmeden önce, iki kriteri ağırlıklandırıp tek kriter şekline getirmek yerine çift kriterli bir optimizasyon metodolojisi kullanmamızın nedenlerini açıklamak önemlidir. Ağırlıklandırma yaklaşımında, kriterlerin ağırlıkları toplamı bir olur. Ayrıca, her

bir kriter aynı ölçü birimlerini kullanır. Söz konusu yöntemde, çözüm çift kriterli bir yönteme kıyasla daha basit ve daha hızlı olacaktır. Minimum maliyeti bulmak istiyorsak, minimum ağırlıklı maliyet çözümünü kolayca seçebiliriz. Ancak bu yöntemin bazı eksiklikleri vardır. İlk olarak, bir kriterin başka bir kriterle dönüştürülmesi her zaman mümkün değildir. Örneğin, tehlikeli bir madde kamyonunun bir yoldan geçme tehlikesini veya bir müşterinin küsme olasılığını maliyet kriteri cinsinden ifade etmek her zaman kolay olmayacaktır. İkincisi, kriterlerin ağırlıklandırılması, karar vericilerin perspektiflerine bağlıdır, bu nedenle önceden belirlenmiş ağırlıklar her zaman mükemmel değildir. Bazı karar vericiler, bir kriteri diğer kriterlerden daha önde tutabilir ya da tersi olabilir. Üçüncüsü, ağırlıklandırmanın dağılımı modele özgü olmayan faktörlere bağlı olabilir. Örneğin, finansal olarak zor bir dönemde, karar verici, toplama olasılığı kriterini normal zamanlardakine göre daha yüksek değerlendirebilir.

Bu noktada problemin modellenmesine başlayabiliriz. Öncelikle sadece bir müşteri ile ilgili işlem yapacağımızı varsayalım. Bu durumda problemimiz aşağıdaki matematiksel modelinin çözülmesine dayanmaktadır. Modelde sadece amaç fonksiyonlarına yer verilmektedir.

$$\min \sum_{(i,j \in E)} x_{i,j} \cdot \ln \text{probNoCollection}_{i,j} \quad (8.1)$$

$$\min (\max_{(i,j \in E)} (x_{i,j} \cdot \ln \text{probChurn}_{i,j})) \quad (8.2)$$

$$\sum_{(j \in \text{Actions})} x_{i,j} = 1 \quad (\forall i \text{ in days}) \quad (8.3)$$

Model 8- Bireysel optimizasyon matematiksel model

Model-8'de E (gün, aksiyon) çiftlilerinin oluşturduğu kümedir. Herhangi bir gün/aksiyon düğümünden (i düğümü) başka bir gün/aksiyon düğümüne (j düğümü) bağlantı sağlayan kenarların sahip olduğu ağırlıklar ise sırasıyla 8.2 ve 8.3 numaralı denklemler görülen parametrelerdir. x_{ij} ise binary karar değişkenidir. Karar değişkeninin değer 1 ise i gününde j aksiyonunun seçildiği anlaşılmaktadır.

Model-8'de iki adet amaç fonksiyonu bulunmaktadır. İlk amaç fonksiyonunda (8.1 numaralı denklem) güzergah üzerindeki tahsil edememe olasılığı minimize etmeye çalışılmaktadır. Bu denklemi açıklamadan önce neden doğal logaritma değerlerinin

kullanıldığını da açıklamak gerekmektedir. p_k değerlerinin bir güzergahta alınan bir aksiyon sonucunda alacağı tahsil edememe ihtimali olduğunu varsayalım. Eğer bu güzergah n adet aksiyondan oluşuyorsa, bu durumda alınan aksiyonlar sonucunda alacağı tahsil edememe olasılığını minimize eden denklemin

$$\min(p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots p_n) \quad (8.4)$$

Olduğu açıktır. 8.4 numaralı denklem ise aşağıda yer alan 8.5 numaralı denkleme döneceği de açıktır.

$$\min \log(p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots p_n) \quad (8.5)$$

bu denklem ise nihayetinde aşağıda yer alan 8.6 numaralı denkleme dönüşecektir.

$$\min \{ \log(p_1) + \log(p_2) + \log(p_3) \dots + \log(p_n) \} \quad (8.6)$$

Duman'a göre $\log p_k$ terimlerinin düğümler arasındaki mesafeyi temsil ettiği varsayılırsa, diğer bir deyişle bu terimlerin çizgedeki kenarların değerleri olduğu varsayılırsa, bu durumda 8.6 numaralı denklem aslında, başlangıç ve bitiş düğümleri arasındaki en kısa yolun bulunmasını sağlamaktadır. (Duman v.d., 2017).

Dolayısıyla Model-8'de yer alan 8.1 numaralı denklemde, i gün/aksiyon düğümünden j gün/aksiyon düğümüne hareket edilmesi durumunda, diğer bir deyişle i gün/aksiyon düğümünün ait olduğu günde yine bu düğümün içerdiği aksiyon yapılırsa ve j gün/aksiyon düğümünün ait olduğu günde yine bu düğümün içerdiği aksiyon yapılana kadar beklenirse, bu durumda karşımıza çıkan tahsil edememe riskinin minimizasyonu amaçlanmaktadır.

Model-8'de yer alan 8.2 numaralı denklemde ise güzergah üzerinde alınan aksiyonlar sonucunda müşterilerin küsme olasılıklarının o güzergahtaki en yüksek değerinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç fonksiyonu Minmax türü bir amaç fonksiyonudur. Bu amaç fonksiyonunda Minmax türü bir denklem tercih edilmesinin nedeni ise müşterilerin karşılaştıkları aksiyonların küstürme olasılıklarının toplamı değil

en sert olasılığın küstürme olasılığının dikkate alınması gerektiğini düşünmemizdir. Sert bir aksiyonun ardından uygulanan daha yumuşak bir aksiyonun, artık küstürme olasılığının olmayacağını düşünmekteyiz. Keza tahsilat gecikmesinin daha erken zamanlarında uygulanan aksiyonların, daha sonraki zamanlarda uygulanan aksiyonlara göre daha yüksek küstürme etkisinin olduğunu da düşünmekteyiz, zira bir müşteriye daha ilk günlerden sert aksiyon uygulanması, o müşteriyi daha çok rahatsız edecektir. Yani aynı aksiyonun daha erken günlerde uygulanması ile daha sonraki günlerde uygulanması da birbirinden farklı etkiye sahiptir, daha açıkça belirtmek gerekirse, daha sonraki günlerde uygulanması durumunda daha düşük bir küstürme riskiyle karşılaşılacağını düşünüyoruz.

Model-8'in amaç fonksiyonlarının incelenmesi neticesinde, genel amacımızın, bir yandan bir müşteriden olan alacağın tahsilat olasılığını maksimize ederken diğer taraftan aynı müşteriyi küstürme riskini minimize etmek olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle iki kriterimiz mevcuttur. Dolayısıyla optimizasyon sonucunda tek bir çözüm noktası değil, birçok çözüm noktasını içeren bir çözüm kümesi oluşacaktır. Bu küme Pareto optimal çözüm noktalarından oluşan bir çözüm kümesidir. Bu kümedeki her nokta etkin birer noktadır.

Matematiksel modelden görülebileceği üzere, analiz sürecinde J adet aksiyon ve D adet gün bulunmaktadır. Yani problemin çözümü için J^D farklı yol bulunmaktadır. Çalışmamızda yapacağımız uygulamada ise 12 aksiyon ve 60 gün için 12^{60} güzergah oluşmaktadır. Bahsedilen her bir güzergahın bir tahsilat olasılığı ve bir küstürme olasılığı bulunmaktadır. Optimizasyon sürecinde bu güzergahların her birisinin diğerleri ile karşılaştırmasının yapılması, söz konusu güzergahın Pareto optimal çözümlerden birisi olup olmadığının anlaşılması gerekmektedir. Bu durum problemimizi NP-Zor bir problem haline getirmektedir.

Ancak çalışmamızın 2.2 bölümünde gördüğümüz üzere, kullanılan çizgenin uygun olması durumunda, problemin polinomsal zamanda çözüm yöntemleri bulunmaktadır. Çalışmamızın bu kısmının ilerleyen bölümlerinde sözü geçen yöntemler kullanılacaktır.

3.2.2. Problemin Genel Çerçevesi

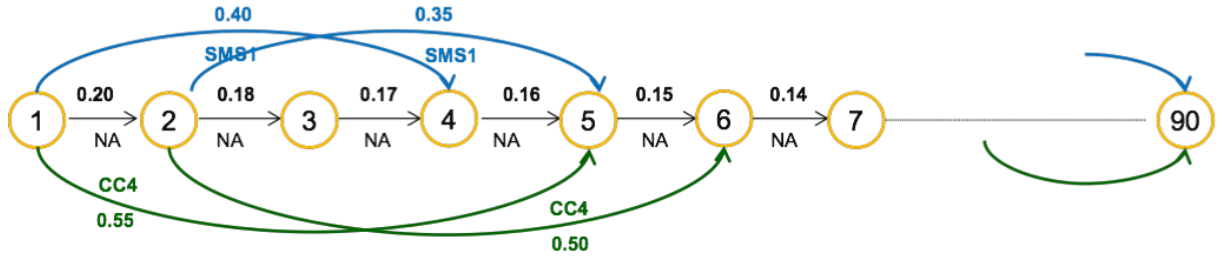
Bu bölümde çalışmamızdaki problemin genel çerçevesi çizilecektir. Tahsilat havuzu, bankaların takipteki alacaklarının ilk 60 günde olan kısmını içermektedir. Yani vadesinden itibaren 60 gün içinde ödenmemiş olan alacaklar problemin konusunu oluşturan tahsilat havuzunda yer alacaktır. 60'ncı günden itibaren, alacaklar bankanın hukuk birimlerine devredilmektedir. Hukuk departmanlarının takibe aldığı alacaklar bir süre sonra banka bilançolarından çıkarılıp, varlık yönetim şirketlerine devredilmektedir.

Bankaların tahsilatı artırmak için uyguladığı aksiyonlar vardır. Bu aksiyonlara müşteriye atılan uyarı kısa mesajları ve e-mailleri, müşteriye borcun durumunu ve karşılaşılabileceği yasal uygulamaları anlatan “sesli mesajlar”, ihtarnameler ya da çağrı merkezlerinden yapılan telefon aramaları örnek olarak verilebilir. Bunların yanında hiçbir şey yapmamak da problemimizde bir aksiyon olarak dikkate alınmaktadır. Bu aksiyonların sertlik seviyesi, içerikleri ile de ilgilidir. Ödemenin geciktiğini kibar bir dille hatırlatan bir kısa mesaj çok sert bir aksiyon değilken, çağrı merkezlerinden yapılan yasal uyarı niteliğinde ve bazı durumlarda telefonda tartışmalara da sebep olan telefon konuşmaları ise oldukça sert bir aksiyondur. Genel olarak aksiyonlar sertleştikçe, tahsilat olasılığının arttığı söylenebilir.

Problemimizin çerçevesinde başka kısıtlamalar da bulunmaktadır. Bu kısıtlamalar kısaca şu şekildedir. Banka tahsilat gecikmesinin ilk zamanlarında sert tedbirler uygulamayacaktır. Banka herhangi iki aksiyon arasında önceden belirlenmiş sayıda gün bekleyecektir. Banka uyguladığı bir aksiyondan sonra artık daha yumuşak bir aksiyon uygulamayacaktır. Bu kısıtlamalar müşteri seviyedeki kısıtlamalardır. Bu kısıtlamalara ek olarak, bankanın uygulayacağı aksiyonlara ilişkin olarak da kısıtları bulunmaktadır. Örneğin bir gün içerisinde yapılabilecek telefon görüşmesi sayısı kısıtlıdır. Model çerçevesi oluşturulurken bu kısıtlamalara riayet edilecektir. İlk kısıtlar aksiyon-gün haritası oluşturulurken dikkate alınacak, son kısıt ise çalışmamızın ilerleyen kısımlarında gündeme gelecektir.

Problemimizde bankanın takipteki alacaklar havuzunda yer alan her bir müşteri için uygulayacağı aksiyon planlarının bulunması hedeflenmektedir. Bu aksiyon planları, bankanın ilgili müşteri için her gün yapması gereken aksiyonları belirlemektedir. Aşağıda yer alan Şekil-9'da böyle bir aksiyon planının örneği görülmektedir. Şekil-9'da birden fazla alternatif aksiyon planı görülmektedir. Örneğin banka birinci günde SMS1 ya da

CC4 kodlu aksiyonları uygulayabilir. Ya da banka birinci gün herhangi bir aksiyon almayabilir, diğer bir deyişle hiçbir şey yapmadan bekleyebilir. Bir şey yapmadan beklediği bu durum da NA olarak kodlanmıştır. Her aksiyonun, tahsil edememe ve küstürmeye ilişkin olasılıkları mevcuttur.



Şekil 9 - Bireysel alternatif güzergahlar (Kaynak: Duman v.d. 2017)

Problem genel çerçevesinde, tahsilat sürecinde bankanın uygulayacağı aksiyonları gösteren bir aksiyon tablosu bulunmaktadır. Aşağıda yer alan Tablo-20 böyle bir tablonun örneğidir. Bu tabloda, ilk sütun satırlarda yer alan aksiyonlar için belirlenmiş kısaltma kodlarını içermektedir. İkinci sütun her bir aksiyon için kısa bir açıklama içermektedir. Üçüncü sütun ise aksiyonların sertlik sıralamasını göstermektedir.

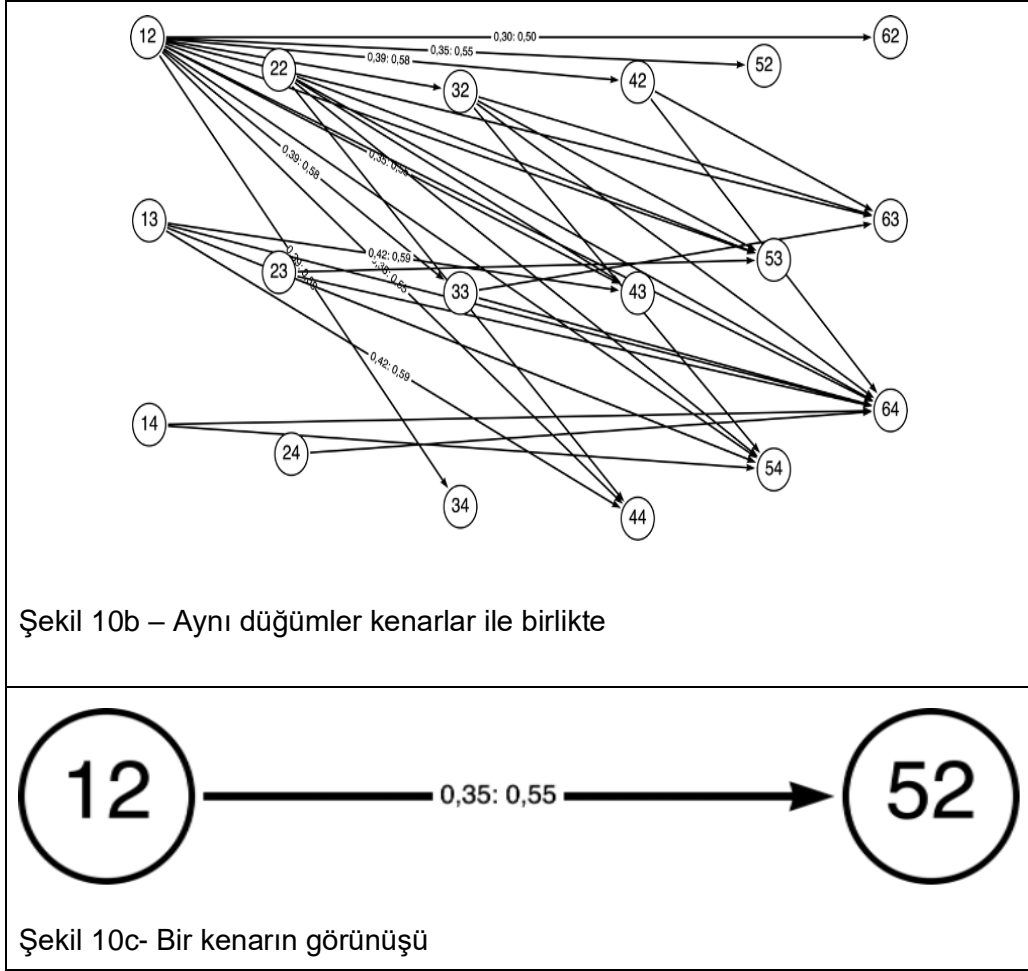
Aksiyon Kodu	Açıklama	Sertlik Sıralaması
NA	Aksiyon yok. Bekle.	1
EML1	1'nci seviye email	2
SMS1	1'nci seviye Kısa Mesaj	3
IVN1	1'nci seviye sesli mesaj	4
...
EML3	3'üncü seviye email	...
...

...
CCT6	6'nci seviye çağrı merkezi araması	...
....

Tablo 20 - Aksiyon tablosu

Aksiyon güzergahımız aslında bir gün/aksiyon güzergahı haline gelmektedir, zira, güzergahtaki herhangi bir günde, Tablo-20'deki aksiyonlarından sadece bir tanesi, diğer kısıtlamalara da riayet edilmek suretiyle, uygulanabilecektir. Böylelikle herhangi bir günde sadece bir aksiyon uygulandığı için haritamızdaki herhangi bir düğüm de bir gün/aksiyon düğümü olmakta, bu düğümleri içeren güzergah da gün/aksiyon güzergahı olmaktadır. Gün/aksiyon düğümü, gün/aksiyon güzergahı, aksiyon haritası gibi kavramların kafamızda daha iyi oturması için aşağıda yer alan Şekil-9 gibi bir çizge çizmek en doğrusu olacaktır.





Şekil 10 - Örnek Çizge

Şekil-10a'da, sadece üzerinde sayılar bulunan çemberler görmekteyiz. Her çember bir gün/aksiyon düğümüdür. Bu şekilde gün/aksiyon düğümlerini ilgili gün ve aksiyona göre isimlendirmiş bulunmaktayız. Örneğin üzerinde 23 yazılı olan düğüm, "2"nci gün "3"üncü aksiyondur. Diğer düğümler de benzer şekilde isimlendirilmişlerdir. Şekil-10b'de Şekil-10a'da yer alan düğümlere, çizgenin kenarlarının bir kısmı da eklenmiştir. Bu kenarların soldan sağa doğru yönlü olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Örneğin, yukarıda belirttiğimiz 23 etiketli gün/aksiyon düğümünden; 53, 54, 63 ve 64 numaralı düğümlere geçiş yapılabildiği Şekil-9-b'de görülmektedir. 23 yazılı düğümünden gidebileceğimiz bu düğümlerin tamamı, aksiyon sertlik seviyesi olarak en az 23 numaralı düğümün sertliğine sahip olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Bankanın, herhangi bir aksiyondan sonra daha yumuşak bir aksiyon tercih edemeyeceğine ilişkin sınırlama ile uyumlu olarak bu kenarlar oluşturulmuştur. Bunun yanında aynı günde yer alan gün/aksiyon düğümlerini birbirlerine bağlayan bir kenar olmadığı da yine Şekil-10b'den anlaşılmaktadır. Bu husus da iki noktayı göz önüne koymaktadır: aynı günde birden fazla aksiyon alınamaz ve

gün/aksiyon güzergahımız zaman doğrultusunda ilerlemektedir. Şekil-10a ve Şekil-10b'de yer alan çizge sadece 6 gün, günlük 3 aksiyon ve toplam 18 düğümden oluşmakta ve 60 gün, günlük 12 aksiyon ve toplamda 720 düğümden oluşan büyük çizgemizin sadece küçük bir kısmını göstermektedir. Çalışmamızda kullandığımız büyük çizgenin kenar sayısı 125.272 adettir.

Şekil-10b'de ayrıca, kenarların üzerinde yer alan ikilileri görmekteyiz. Bu ikiler, tahsil etme ve küstürme olasılıklarına ilişkin sembolik sayılardır. Bu sayılar ilk bakışta iki hususu göz önüne sermektedir. Birincisi, şekilde yukarıdan aşağıya inildikçe tahsil etme ve küstürme olasılıkları artmaktadır. Zira şekilde yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe aksiyonların sertliği artmaktadır. Bu da hem tahsil etme hem de küstürme olasılıklarını artırmaktadır. İkincisi ise, soldan sağa doğru gittikçe tahsil etme ve küstürme olasılıkları düşmektedir, zira aksiyonların etkileri ilk günlerde daha yüksektir.

Şekil-10c'de ise sadece bir kenar ve bu kenarın başlangıç ve bitişindeki iki düğüm çizilmiştir. Bu sayede ikililer daha iyi görülecektir.

Tahsil etme olasılığı, sadece alınan aksiyona değil, bir sonraki aksiyona kadar geçen süreye de bağlıdır. Yapılan çalışmalarda, bankaların aldıkları aksiyonların etkisinin ilk günlerde daha yüksek, zaman geçtikçe azaldığı, ancak kümülatif olarak toplanması gerektiği, göstereceği etkinin önemli bir kısmını aksiyon alınmasıyla başlayan üç günlük süreçte gösterdiği belirtilmektedir (Duman v.d. 2017). Bu nedenle de bir gün/aksiyon düğümünden çıkan kenarın üzerinde yer alan tahsil etme olasılığı, aksiyondan sonra beklenen gün sayısı arttıkça artmakta, ama bu artış gün sayısı arttıkça azalmaktadır.

Öte yandan, alınan bir aksiyonun müşteriye küstürme olasılığı doğrudan alınan aksiyona bağlıdır. Bu aksiyonlar, önceki ve sonraki aksiyonlardan bağımsızdır. Zira çalışmamızdaki temel varsayımlarımızdan birisi, küstürme olasılığının aksiyon güzergahında yer alan aksiyonlardan en yüksek küstürme olasılığı olanına ait küstürme olasılığının, aksiyon güzergahının küstürme olasılığı olduğudur. Bu varsayımımız da davranışsal iktisadın temel nitelikleri ile uyumludur, zira bir müşteri, kendisine uygulanan aksiyonlardan, kendisini en rahatsız eden hatırlayacaktır. Bu da küstürme olasılığı en yüksek olan aksiyondur. Bu aksiyon çok yüksek ihtimalle, aksiyon güzergahında karşılaştığı en şiddetli aksiyon olacaktır. Ancak ilk günlerde yapılmış olan bir aksiyonun,

ilerleyen zamanlarda yapılan daha sert bir aksiyondan daha yüksek küstürme olasılığından daha yüksek bir küstürme olasılığına sahip olabileceği de unutulmamalıdır.

3.2.3. İki Kriterli Güzergah Optimizasyonu Probleminin Çözümü

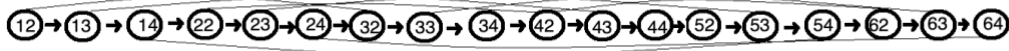
İki kriterli güzergah optimizasyonu yöntemlerini tercih etme nedenimiz, müşterilere uygulanacak olan aksiyon güzergahlarının tespitinde, gün/aksiyon düğümlerinden çıkan her bir kenarın birden fazla ağırlığa sahip olmasıdır. Söz konusu ağırlıklar birbirleri ile çelişen iki farklı amaca dönük olduğu için de hedefimiz bir optimal çözüm değil, Pareto optimal çözüm kümesi olmalıdır. Diğer bir anlatımla, herhangi bir müşteriye uygulanacak olan aksiyon güzergahları, tahsilat olasılığını maksimize edecek (ya da tahsil edememe riskini minimize edecek) güzergah ile müşteriyi küstürme riskini minimize edecek olan aksiyon güzergahları uç noktalar olmak üzere, domine edilmemiş aksiyon güzergahlarından oluşmalıdır. Bunu sağlayacak olan da iki kriterli bir güzergah optimizasyon metodudur.

Çalışmamızın İkinci Kısımında açıkladığımız üzere, iki kriterli güzergah optimizasyonu problemlerinin en çok çalışılan türü, iki kriterin de Minsum türünden olduğu problemlerdir. Bu problemlerde ilgili kısımda açıkladığımız BOA* türü metotlar ile çok hızlı çözümler elde edilebilmektedir. Çalışmamızın konusu da iki kriterlidir; ancak, kriterlerden birisi Minmax türüdür. Gerçekten de müşterinin küsme olasılığı, bir önceki bölümde de detaylı olarak açıklandığı üzere, Minmax türündedir. Diğer kriterimiz ise tahsil edememe olasılığının minimize edilmesidir.

Öte yandan çalışmamızın bir önceki bölümünde detaylı olarak açıkladığımız üzere, gün/aksiyon düğümlerinden çıkan kenarlarda tahsil edememe olasılığının kendisini değil, logaritmasını kullanacağız, böylece toplama yapılabilecektir. Tahsil edememe olasılıkları 0 ile 1 arasında değerler alabildiği için bunların logaritmaları da doğal olarak negatif değerler olacaktır. Negatif ağırlıklı kenarlardan oluşan bir çizgede en kısa yolu bulmak aslında aynı kenarların ağırlıklarının mutlak değerlerinin ağırlık olarak kullanıldığı bir çizgede en uzun yolu bulmak ile aynıdır. Bu durumda aslında çalışmamızda yer alan iki kriterli güzergah optimizasyonu, iki kriterli Maxsum-Minmax türü bir güzergah optimizasyonuna evrilmektedir.

Çalışmamızın ikinci bölümünde ayrıntılı olarak açıkladığımız üzere, en uzun yol problemlerinde eğer eldeki çizge yönlü ve döngüsel olmayan (DAG) bir çizge değilse, bu durumda problem NP-Zor bir problem haline gelmektedir. Ancak çalışmamızda kullandığımız çizge, yönlü ve döngüsel olmayan bir çizgedir. Zira çizgedeki kenarların tamamı yönlüdür, ayrıca çizgedeki kenarlar zaman doğrultusunda ilerlemektedir yani bir kenar ancak çıkış düğümünden daha sonraki bir güne ait gün/aksiyon düğümüne bağlanmaktadır. Bu durumda bu çizgede döngünün oluşmayacağı da aşikar hale gelmektedir. Bu durumda çalışmamızda kullanılan çizgede iki kriterli Maxsum-Minmax güzergah optimizasyonu yapılabileceği ortaya çıkacaktır.

Maxsum-Minmax güzergah optimizasyonunda ilk aşama çizgenin topolojik olarak sıralanmasıdır. Buna ilişkin algoritma, çalışmamızın 2.4.3 bölümünde yer almaktadır. Kahn algoritması kullanılarak, çalışmamızın bir önceki bölümünde yer alan Şekil-10b'de yer alan çizge topolojik olarak sıralandığında, aşağıda yer alan Şekil-11 elde edilmektedir.



Şekil 11- Topolojik sıralanmış çizge

Yukarıda yer alan Şekil-11'de, iki farklı tür kenar görülmektedir. İlk tür kenar, kalın olarak gösterilen ve topolojik sıralamayı gösteren ağırlıksız kenarlardır. İkinci tür kenarlar ise ince olarak çizilmiş, yay şeklindeki kenarlardır. Bu yay şeklindeki kenarların ağırlıkları, Şekil-10b'de denk düştükleri kenarların ağırlıklarıdır. Bu kenarlar, Şekil-10b'de gösterilen kenarların bir kısmıdır. Şekil-11'de görüntü karmaşıklığına sebep olmamak için Şekil-10b'de yer alan bütün kenarlar gösterilmemektedir.

Çalışmamızda kullanılan çizge topolojik olarak sıralandıktan sonra, çalışmamızın 2.4.3 bölümünde önermiş olduğumuz Maxsum-Minmax güzergah optimizasyon algoritması ile Pareto optimal çözümler kümesini elde etmiş olacağız. Mezkur bölümde yer alan algoritmanın, doğrudan çalışmamızın konusuna uyarlanmış sözde kodu aşağıda yer almaktadır.

İlk Tarama:
<i>Herhangi bir kısıtlama yapmadan (tek kriterli gibi hareket edilerek) en düşük küstürme olasılığına sahip güzergah bulunur. Bu güzergahtaki en yüksek küstürme olasılık değeri MINMAX olarak adlandırılır.</i>
<i>Herhangi bir kısıtlama yapmadan (tek kriterli gibi hareket edilerek) çizgedeki en uzun güzergah bulunur. Bu güzergahtaki en yüksek küstürme olasılığı bulunur ve bu değer MAXCHURN olarak adlandırılır.</i>
Sıralama Aşaması:
<i>Çizgedeki kenarlarda yer alan bütün küstürme olasılıkları büyükten küçüğe sıralanır, MINMAX'ten küçük ve MAXCHURN'den büyük olan bütün değerler çıkarılır. Bu değerlere sahip olan kenarlar çizgeden çıkarılır. Diğer bütün küstürme olasılıkları arama kümesine alınır, bu kümeye ARAMAKÜMESİ adı verilir.</i>
Arama Aşaması:
<i>ÇÖZÜMKÜMESİ = {} olarak belirlenir,</i>
<i>ARAMAKÜMESİ'nin içindeki her KÜSTÜRMEDEĞERİ için:</i>
<i>Çizgede KÜSTÜRMEDEĞERİ'nden büyük küstürme olasılığına sahip bütün kenarlar çizgeden çıkarılır.</i>
<i>Kalan kenarlar kullanılarak bulunan en uzun yol, UZUNYOL olarak adlandırılır.</i>
<i>Bulunan UZUNYOL, ÇÖZÜMKÜMESİ'nin içine atılır.</i>
Eleme Aşaması:
<i>ÇÖZÜMKÜMESİ'nde yer alan her bir UZUNYOL için:</i>
<i>UZUNYOL'u ÇÖZÜMKÜMESİ'nde yer alan diğer elemanlar ile karşılaştırılır, eğer UZUNYOL herhangi bir eleman tarafından domine ediliyorsa UZUNYOL ÇÖZÜMKÜMESİ'nden çıkarılır. Eğer UZUNYOL herhangi bir elemanı domine ediliyorsa ilgili eleman ÇÖZÜMKÜMESİ'nden çıkarılır</i>
Sonuç:
<i>ÇÖZÜMKÜMESİ Pareto optimal çözümleri içeren çözüm kümesi olur.</i>

Tablo 21 - Sözde kod

Bu aşamaya kadar anlattığımız hususlar bireysel müşteri bazındaki genel çerçeveyi tanımlamaktadır. Her bir müşteri için teker teker optimizasyon yapılmış olması yeterli olsaydı, problemin çözümü için genel çerçeve aslında tamamlanmış olacaktı. Ancak bilindiği üzere bankaların gecikmiş alacağı tek bir müşteriye ilişkin olmamaktadır. Aynı

anda binlerce müşteri gecikmiş alacak havuzunda yer almaktadır. Bu havuzda yer alan müşterilerin her biri için Pareto optimal aksiyon güzergahları üretilecektir. Bu üretilen aksiyon güzergahlarından herhangi birinin uygulanması durumunda, müşteri bazında optimal bir çözüm sağlanmış olacaktır. Ancak bu çözümün bankanın geneli açısından optimize bir sonuç olup olmadığı kesin değildir. Çünkü bankanın müşterilere atanacak aksiyon haritalarının tamamını sağlayacak kaynağı olmayabilir. Bu durumda bankanın kaynaklarını kısıt olarak kullanan bir atama probleminin optimizasyonu, her bir müşteri için Pareto optimal aksiyon güzergahlarının atanması yapıldığı için, aynı zamanda her bir müşteri için de optimize bir çözüm olacaktır. Öte yandan bahsettiğimiz müşteri havuzu durgun bir havuz değildir. Her gün yüzlerce müşteri bu havuza girmekte, bu müşterilerin bir kısmı borçlarını ödeyip bu havuzdan çıkmakta, bir kısmı ise borçlarını ödememekte ısrar edip hukuk departmanına ve hatta varlık yönetim şirketlerine devredilerek bu havuzdan çıkmaktadır. Yani elimizde ne tek bir müşteri ne de statik bir müşteri havuzu bulunmaktadır. Tam tersine elimizde olan şey sürekli giriş ve çıkışların olduğu bir ekosistemdir.

Çalışmamızın amacı işte bu belirttiğimiz dinamik ekosistemin sürekli olarak optimize edilmesidir. Bu optimizasyon ise çalışmamızın bir sonraki aşamasında yapılacaktır.

3.3. KARMAŞIK TAM SAYI PROGRAMLAMASI İLE MÜŞTERİ HAVUZUNUN OPTİMİZE EDİLMESİ

Tablo-21'de yer alan sözde kod, her bir müşteri için Pareto optimal çözümleri içeren çözüm kümesinin oluşturmaktadır. Havuzdaki her müşteri için bu çözüm kümelerinin oluşturulması ile birlikte Şekil-8'de atıfta bulunulan ikinci aşamaya geçilir.

İkinci aşamada ise karışık tam sayı programlama ile müşteri havuzunda yer alan her müşteriye, kendi çözüm kümesinde yer alan aksiyon güzergahlarından birisi atanacaktır. Bu aşamada bir binary atama problemi çözülmüş olacaktır. Bahsi geçen karışık tam sayı programlamaya ilişkin matematiksel model aşağıda Model-9'da yer almaktadır.

Bu aşamada amaç fonksiyonu için amaç programlaması yöntemi ile birden fazla çözüm üretilmesi mümkündür; ancak, biz çalışmamızda amaç fonksiyonunu maliyet bazlı tek amaçlı bir fonksiyon haline getireceğiz.

Kümeler

A : Aksiyonlar

D : Günler

C : Müşteriler

Parametreler:

$Debt_c$: Müşteri c 'nin borcu

$PofNonPayment_{c,n}$: Müşteri c 'nin n 'nci aksiyon güzergahının tahsil edememe olasılığı.

$PofChurn_{c,n}$: Müşteri c 'nin n 'nci aksiyon güzergahının küstürme olasılığı.

$PathBin_{a,d,c,n}$: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Müşteri } c\text{'nin } n\text{'nci aksiyon güzergahında } d\text{'nci günde} \\ \text{a aksiyonu uygulandıysa } 1 \\ \text{Aksi takdirde } 0 \end{array} \right.$

$Actionscosts_a$: a aksiyonunun maliyeti

Karar değişkenleri:

$custpathbin_{c,n}$: $\left\{ \begin{array}{l} c\text{'nci müşterinin } n\text{'nci aksiyon güzergahı} \\ \text{seçildiyse } 1 \\ \text{Aksi takdirde } 0 \end{array} \right.$

Model:**Amaç Fonksiyonu:**

Minimize et:

$$\sum_c \sum_n custpathbin_{\{c,n\}} * (PofNonPayment_{\{c,n\}} * Debt_{\{c\}} + PofChurn_{\{c,n\}} * CLV_{\{c\}}) + \sum_a \sum_d \sum_c \sum_n (custpathbin_{cn} * pathbin_{adcn}) * Actioncosts_{\{a\}} \quad 9.1$$

Kısıtlar:

$$\sum_n custpathbin_{c,n} = 1, \forall c \in C \quad 9.2$$

$$\sum_c \sum_n (custpathbin_{cn} * pathbin_{adcn}) \leq constraints_{ad}, \forall a \in A, \forall d \in D \quad 9.3$$

$$custpathbin_{c,n} : \text{binary} \quad 9.4$$

Model 9- Karışık Tam Sayı matematiksel model

Model-9'da yer alan matematiksel modeli inceleyelim.

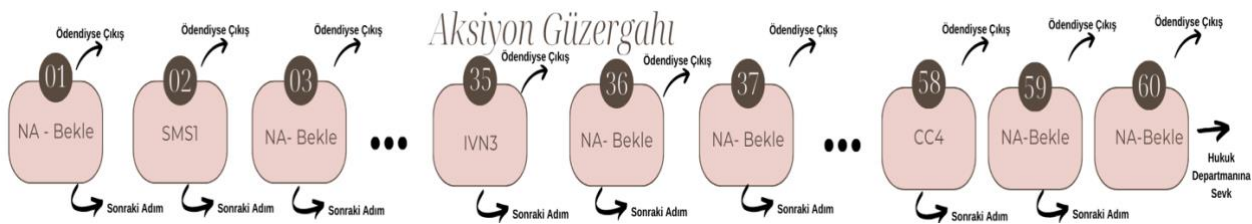
Matematiksel modeli inceleyelim. Amaç fonksiyonu (9.1 numaralı denklem) maliyeti minimize etmeyi amaçlamaktadır. Burada minimize edilecek olan maliyet iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda birbiri ile çelişen iki unsur mevcuttur. Bunlar alacağın tahsil edilememesi maliyeti ve müşterinin küsme maliyetidir. Alacağın tahsil edilememe maliyet, seçilen güzergahın tahsil edememe olasılığı ile ilgili müşterinin borcunun çarpımı olarak hesaplanmaktadır. Müşterinin küsme maliyeti ise seçilen güzergahın küstürme olasılığı ile ilgili müşterinin hayat boyu değerinin çarpımıdır. Amaç fonksiyonunun ikinci kısmı ise seçilen aksiyon güzergahında yer alan aksiyonların maliyetidir.

Modeldeki kısıt sayısı az ve bu kısıtlar basit kısıtlardır. İlk kısıt (9.2 numaralı denklem) her müşteriye bir yol atanmasını öngörmektedir. Bu kısıt sayesinde her müşteriye

mutlaka bir güzergah atanacak, hiçbir müşteriye de birden fazla güzergah atanmayacaktır. İkinci kısıt (9.3) aksiyonların sayısına ilişkin kısıttır. Bu kısıt bankanın sahip olduğu kaynaklar dahilinde atama yapılmasını sağlamaktadır. Son kısıt ise (9.4) karar değişkeninin binary bir değişken olmasına ilişkindir, yani bu değişken ya 1 ya da 0 olacak, diğer bir deyişle herhangi bir güzergah ya atanacak ya da atanmayacaktır. Ara bir değer olmayacaktır.

Bu aşamanın da tamamlanması ile birlikte iki aşamalı çözüm yöntemimiz tamamlanmış olacaktır. Bu aşama sonucunda, her bir müşteri için bir aksiyon güzergahı atanacaktır. Bu aksiyon güzergahı, banka tahsilat birimlerinde çalışanlara, uygulamaları için verilecektir. Çalışanlar ise o müşteri için günlük olarak uygulamaları gereken aksiyonları bu aksiyon güzergahlarına göre yapacaklardır.

Aşağıda Şekil-12’de bir müşteri için güzergah ataması örneği görülmektedir. Bu örnekte ilk gün hiçbir şey yapılmadan beklenmektedir (NA aksiyonu). İkinci gün hatırlatma kısa mesajı atılmaktadır (SMS1 aksiyonu). Örnekteki müşteri için 60 günlük planlamada hangi gün hangi aksiyonun uygulanacağı, baştan belirlenmiştir. Yapılan her işlemten sonra, müşterinin ödeme yapıp yapmadığı beklenmektedir. Müşteri ödeme yaparsa, havuzdan çıkarılmaktadır. Ödeme yapmazsa, ertesi gün geldiğinde ertesi günün işlemi yapılmaktadır. Bu şekilde 60 günlük planlanan süreç bittiğinde, müşteri hala ödeme yapmamışsa, hukuk departmanına sevk edilmektedir.



Şekil 12 - Güzergah Ataması Örneği

Çalışmamızın bu bölümünde, tahsilat problemi için bir çözüm önerisinde bulduk. Çalışmamızın bir sonraki önerimize ilişkin olarak uygulama yapılacaktır.

4. BÖLÜM: STATİK, DİNAMİK (SİMÜLASYON) VE SENARYO ANALİZLERİ ÇERÇEVESİNDE UYGULAMA

4.1. UYGULAMA AŞAMALARI VE UYGULAMA ÇERÇEVESİ

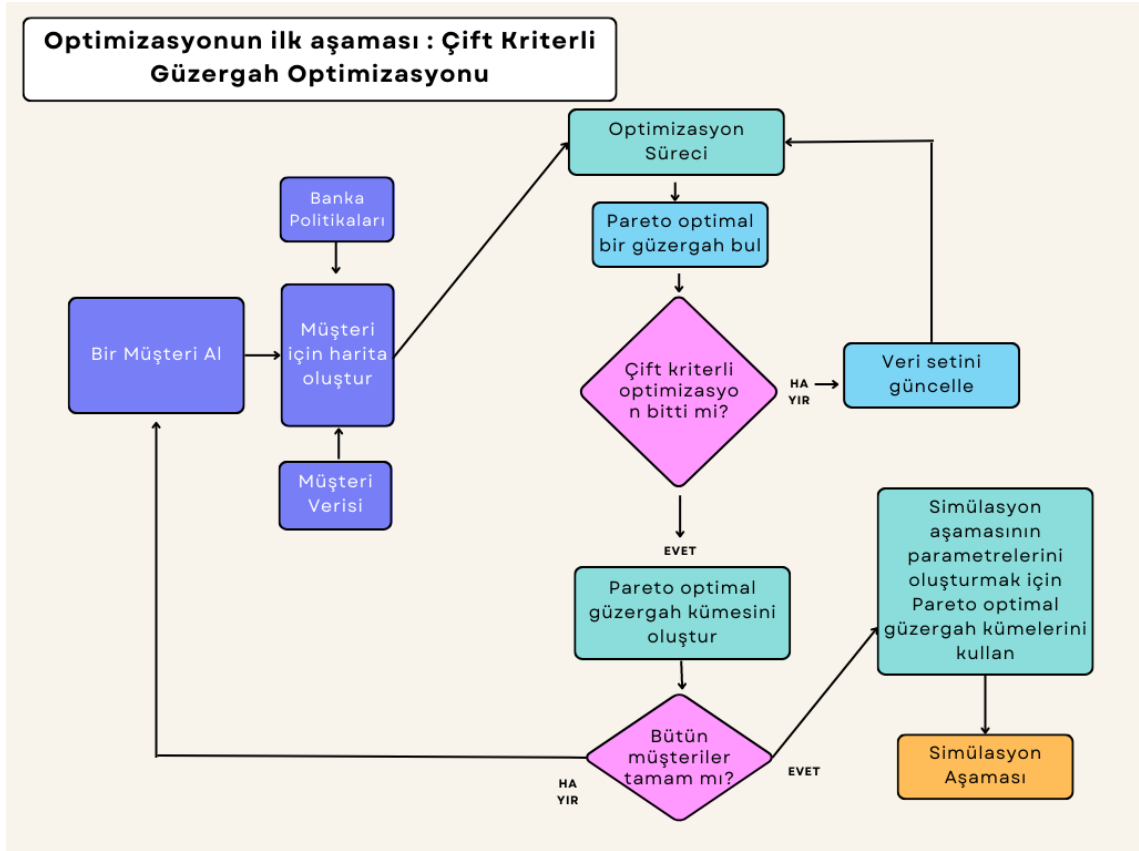
Çalışmamızın 3.1 bölümünde çözüm aşamaları genel; takip eden 3.2 ve 3.3 bölümlerinde ise detaylı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde ise bir uygulama yapılacaktır.

Uygulamamızda üç farklı analiz yapılacaktır.

İlk yapılacak analiz, statik analiz olarak adlandırdığımız ve çalışmamızın 4.2 bölümünde yer alan analizdir. Bu analiz Şekil-15'te gösterilen analizin, bütün müşteri havuzu için yapılmasından ibarettir.

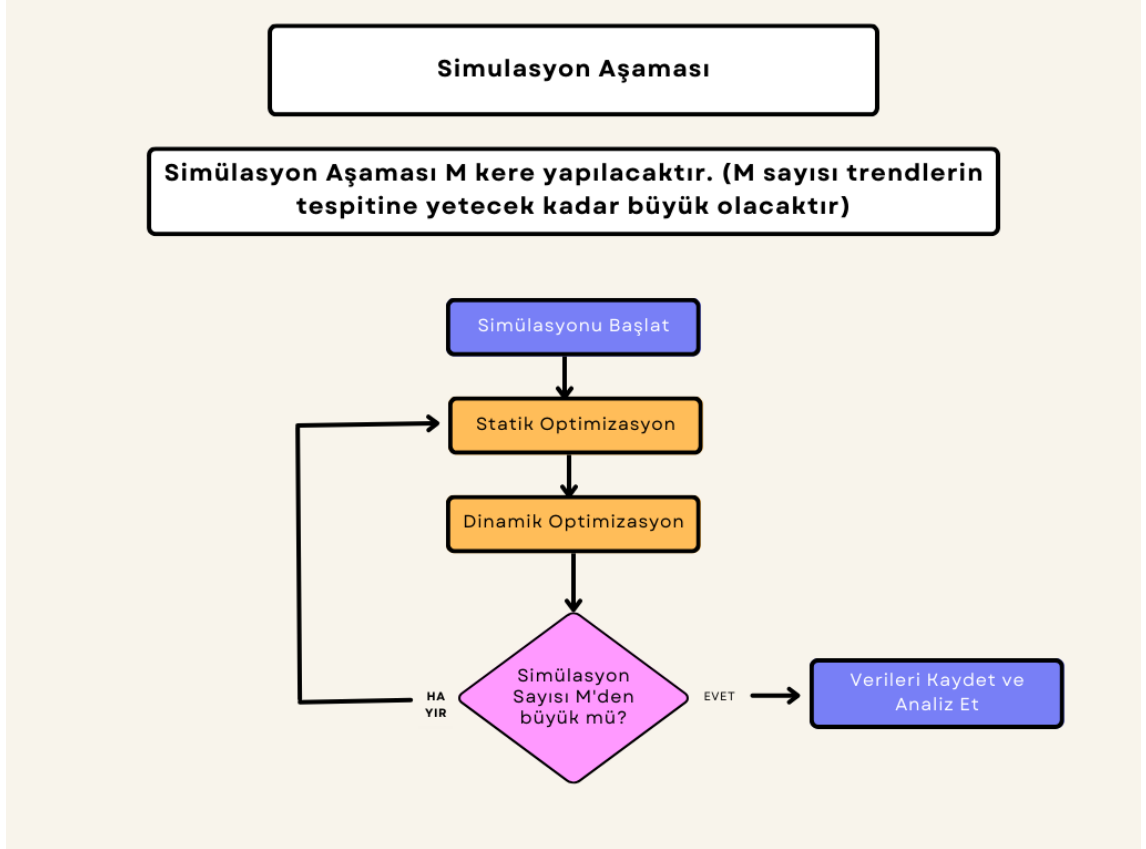
İkinci analizimiz dinamik analiz olarak adlandırdığımız analizdir. Bu analiz ise aşağıda yer alan Şekil-13 ila Şekil-16 arasında akış şemalarında gösterilmiştir. Bu ikinci analizde stokastik bir müşteri giriş çıkış süreci mevcut olduğu için, sistemin hareketini analiz edebilme adına bir simülasyon yapılacaktır. Bu sayede, çözüm önerimizin, çok farklı müşteri giriş ve çıkışlarında hangi noktalara kadar çözüm üretebildiği, ya da ürettiği çözümlerin ne şekilde işlediği gösterilecektir. Böylelikle stokastik sürecin karar vericiler tarafından gözlenebilmesi sağlanacaktır.

Son olarak yine bütün müşteri havuzu için statik ve dinamik analizi birlikte uygulayacağımız ve çeşitli senaryoları test edeceğimiz analizdir.



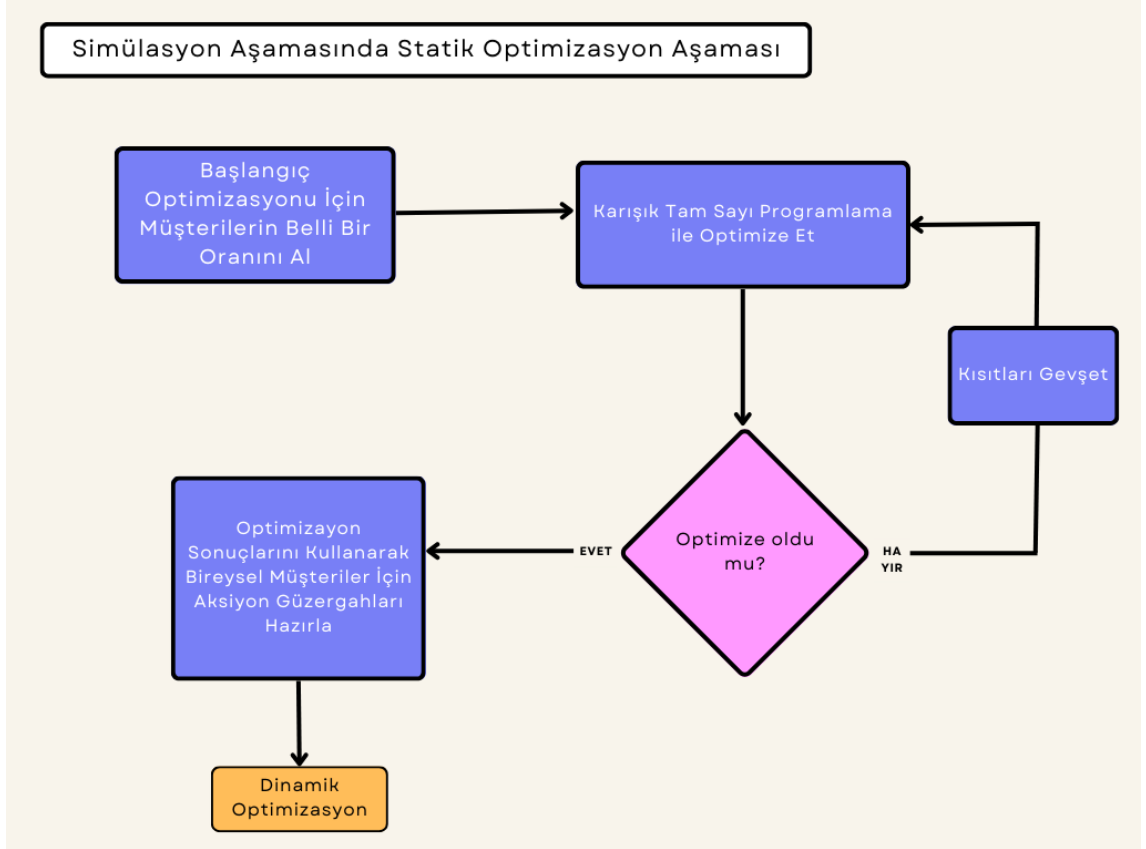
Şekil 13 - Akış Şeması 1

Yukarıda yer alan Şekil-13'te çözümün ilk aşaması yer almaktadır. Bu aşamada havuzda yer alan müşteriler bitene kadar her bir müşteri için iki kriterli güzergah optimizasyonu yapılacak ve her bir müşteri için Pareto optimal çözümler üretilecektir. Her bir çözüm noktası, ilgili müşteriye uygulanabilecek olan 60 günlük aksiyon güzergahını içermektedir. İlk safhada kullanılan iki kriterli güzergah optimizasyon yöntemleri, çalışmamızda detaylı olarak anlatıldığı için tekrar edilmeyecektir. Bu aşamada her bir müşteri için Pareto optimal çözüm kümeleri oluşturulacaktır. Oluşturulan Pareto optimal çözüm kümelerinden her müşteri için bir tanesi ilerleyen safhalarda ilgili müşteriye atanacaktır. Oluşturulan Pareto optimal çözüm kümesinin elemanları, aksiyon güzergahlarıdır. Bu aksiyon güzergahları, 1'nci günden 60'ncü güne kadar hangi aksiyonun alınması gerektiğini belirtmektedir. Bu aksiyon güzergahları, ikinci safha öncesinde, her bir müşteri için modelin parametresi haline çevrilecektir. Böylelikle ilerleyen safhalarda çözülecek olan atama probleminde, herhangi bir aksiyon haritası doğrudan parametre olarak kullanılabilir.



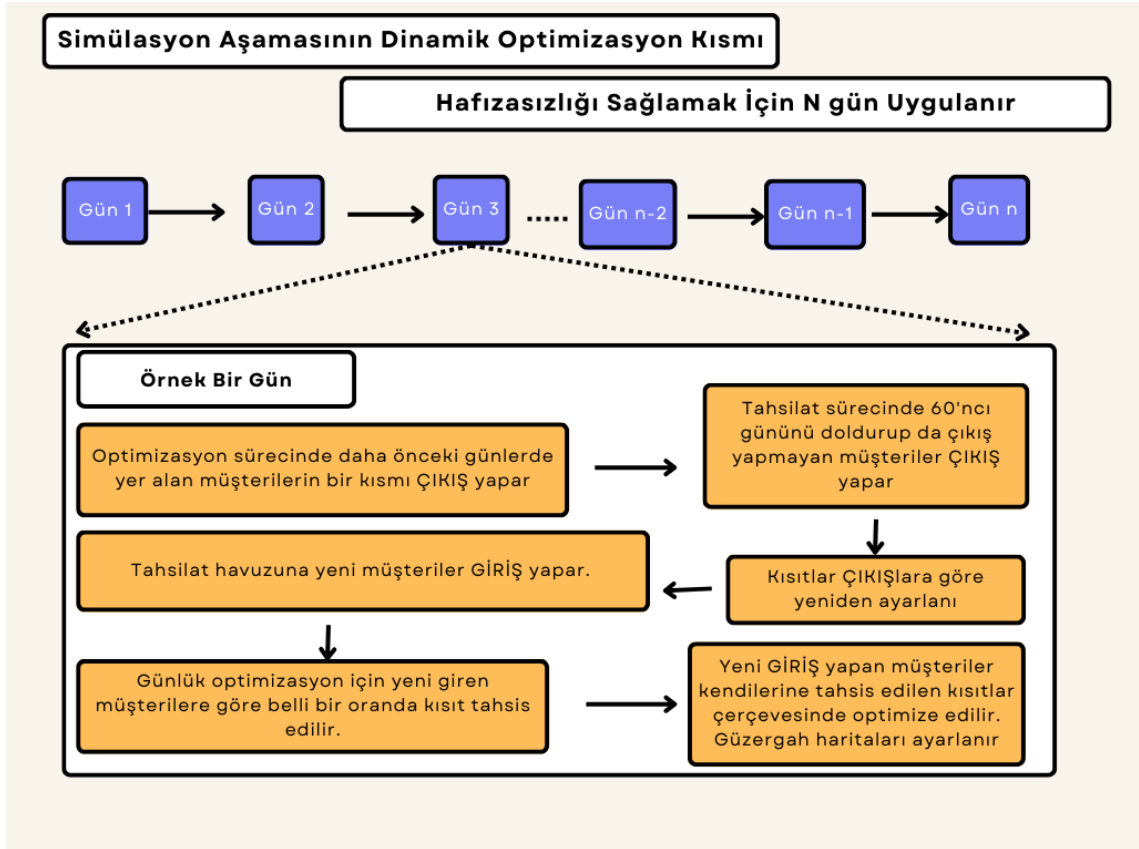
Şekil 14- Akış Şeması 2

Şekil 14'te ise uygulamamızın simülasyon aşamasının genel şeması çizilmiştir. Uygulamanın sınırlarını görmek, uygulama sonucu oluşacak verileri analiz edebilmek için bir simülasyon optimizasyonu çalışması yapılmaktadır bu safhada. Bu aşamada simülasyon çok defa tekrarlanacak ve trendler belirlenecektir. Takip eden akış şemalarında ise statik ve dinamik optimizasyon tanımlanacaktır.



Şekil 15 - Akış Şeması 3

Şekil-15'te statik optimizasyon aşaması tanımlanmaktadır. Statik optimizasyon aşaması, çözüm önerimizin bankada ilk uygulandığı gün yapılacak olan optimizasyonu tarif etmektedir. Bu aşamada eldeki müşteri havuzunda yer alan müşteriler için optimizasyon yapılacaktır. Her bir müşteriye kendi Pareto optimal çözüm kümelerinden birer adet aksiyon güzergahı atanacaktır. Bu atanan güzergahlara göre bankanın kısıtları güncellenecektir. Bu aşama tamamlandığında, artık müşteri havuzuna günlük giriş ve çıkışları içerecek şekilde yapılan dinamik optimizasyon aşaması başlayacaktır.



Şekil 16 - Akış Şeması 4

Uygulamamızın son aşaması ise dinamik optimizasyon kısmıdır. Bu kısımda N gün boyunca optimizasyon yapılacaktır. Burada N sayısı hafızasızlığı sağlamak içindir. İlk 60 günlük süreç bitince, başlangıç havuzundan hiçbir müşteri olmayacağından, artık bankanın normal dönem süreci başlamış olacaktır. N sayısı başlangıç ve bitişten 60'ar günlük süreci kısıktan sonra, analize müsaade edecek kadar uzun olmalıdır. Yani en az 180 günlük bir süreci içine alacak bir dinamik optimizasyon yapılmalıdır. Çalışmamızda 250 günlük bir dinamik optimizasyon yapılacaktır. Bu aşama ise Şekil-16'da gösterilmektedir.

Dinamik optimizasyonun her bir gününde, öncelikle ÇIKIŞ yapan müşteriler belirlenecektir. Bunlar iki türdür, ilk kısmı havuzda 60 günü doldurup, hukuk departmanına devredilerek çıkanlardır. İkincisi ise rastgele bir şekilde seçilen ve ödeme yaparak çıktığı varsayılan müşterilerdir. Bu rastgele seçim sırasında özellikle müşteriye o ana kadar uygulanan aksiyonlar sonucunda düşük tahsil edememe olasılığına sahip olanların seçilme olasılığı daha yüksek olacak şekilde bir rastgele seçim mekanizması kullanılmaktadır. ÇIKIŞ'lar belirlendikten sonra, bu ÇIKIŞlar sonucunda kısıtlarda

meydana gelen rahatlama, kısıtlara yansıtılır. Ardından ortalaması belli bir sayı olan ancak tam giren sayısı rastgele olacak şekilde bir grup yeni müşteri havuza GİRİŞ yapar. Yeni giriş yapan müşterilere belli bir miktar kısıt tahsis edilerek, optimizasyon yapılır. Ve bu dinamik optimizasyon süreci N gün devam eder.

Bahsettiğimiz simülasyon M kere yapılır. Bu sayede kısıtların kullanımı, optimizasyon yapılıp yapılamadığı gibi birçok veri kaydedilir. Buna göre bankaya politika önerisi sunulur.

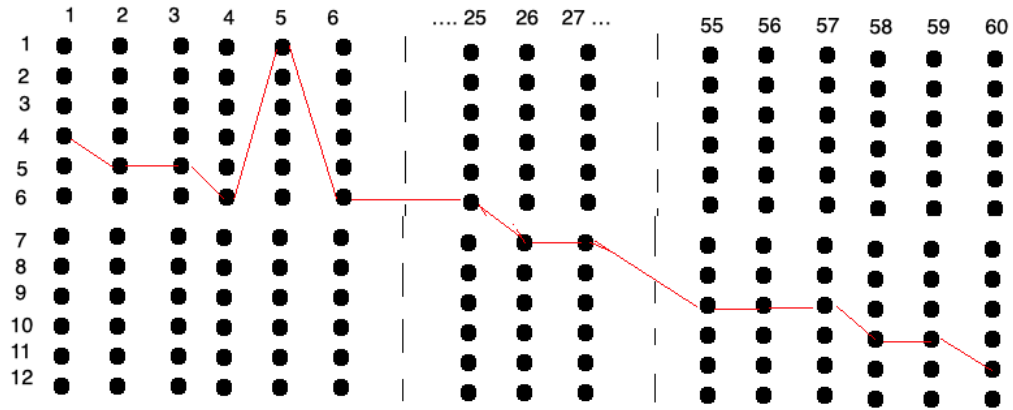
Uygulamamız sırasında kullanacağımız aksiyonlar aşağıda yer alan Tablo-22'de gösterilmektedir. Bu tablo, genel gösterim olan Tablo-20'nin uygulamamız için özelleştirilmiş halidir.

Aksiyon Kodu	Açıklama	Sertlik Sıralaması
NA	Aksiyon yok. Bekle.	1
EML1	1'nci seviye email	2
SMS1	1'nci seviye Kısa Mesaj	3
IVN1	1'nci seviye ses kaydı	4
EML2	2'nci seviye email	5
SMS2	2'nci seviye Kısa Mesaj	6
IVN2	2'nci seviye ses kaydı	7
EML3	3'ncü seviye email	8
SMS3	3'ncü seviye Kısa Mesaj	9
CCT1	1'nci seviye çağrı merkezi araması	10

CCT2	2'nci seviye çağrı merkezi araması	11
CCT3	3'ncü seviye çağrı merkezi araması	12

Tablo 22 - Aksiyon Tablosu

Tablo-22'de, çalışmamızda kullanacağımız 12 aksiyon yer almaktadır. Daha önceden de belirttiğimiz üzere 60 gün ve 12 aksiyon içeren uygulamamızda toplam 720 gün/aksiyon düğümü yer almaktadır. Bu düğümlerden her gün bir tanesi seçilerek aksiyon güzergahı oluşturulacaktır. Aşağıda Şekil-17'de örnek bir aksiyon güzergahı görülmektedir. Bu güzergahta ilk gün 4'üncü aksiyon yani 1'nci seviye ses kaydı atılacaktır. İkinci gün ise 5'nci aksiyon yani 2'nci seviye email atılacaktır. Bu haritada NA aksiyonu 1'nci aksiyondur ve herhangi bir şey yapılmadan beklenecek olan bir günde bu düğüme gidilecektir. Bunun haricinde herhangi bir seviye aksiyona gelmişse, artık daha düşük seviye bir aksiyona gidilmeyecek, hep aynı seviye ya da daha "aşağıda" yani daha sert aksiyonlar uygulanacaktır.



Şekil 17 - Örnek bir aksiyon güzergahı

Aşağıda yer alan Tablo-23'te aksiyonlara ilişkin diğer bir sınırlama görülmektedir. Bu tabloda herhangi bir aksiyonun ilk olarak hangi gün uygulanabileceği ve herhangi bir aksiyon uygulandıktan sonra en az kaç gün beklenmesi gerektiği gösterilmektedir. Buna göre örneğin EML1 ilk günden itibaren uygulanabilecektir, uygulandıktan sonra ise NA haricinde başka bir aksiyon alınacaksa en az bir gün beklenmesi gerekmektedir. Bu

süreler CCT kodlu aksiyonlar için 4 gündür, yani ilk olarak 4'üncü gün uygulanabilecek ve uygulandıktan sonra 4 gün beklemeden başka bir aksiyon uygulanamayacaktır.

Aksiyon Kodu	Uygulanabileceği İlk Gün	Bekleme Süresi
NA	1	Yok
EML1	1	1
SMS1	1	1
IVN1	1	1
EML2	2	2
SMS2	2	2
IVN2	2	2
EML3	3	3
SMS3	3	3
CCT1	4	4
CCT2	4	4
CCT3	4	4

Tablo 23- Aksiyon sınırlamaları

Tablo 23'de yer alan sınırlamaları dikkate aldığımızda, banka politikaları çerçevesinde oluşturulan çizge ortaya çıkmaktadır. Bu çizgede 720 adet gün/aksiyon düğümü ile 125.272 adet kenar yer almaktadır. Bu çizgede Maxsum-Minmax algoritmasının her müşteri için çalıştırılması gerekmektedir. Bu algoritmanın ilk aşaması olan topolojik sıralamanın tek bir defa yapılması yeterli olacaktır. Sonrasında her müşteri için algoritma

uygulanabilecektir. Bu algoritma bu bölümde yapacağımız statik, dinamik ve senaryo analizlerinin tamamında kullanılacaktır. Yani her analiz, temel olarak çözüm önerimizin çeşitli sayılarda ve çeşitli kısıtlar altında çalıştırılmasından ibarettir. Ancak bu çalıştırma sayıları ve kısıtlar önemli sonuçlar doğurmaktadır. Bu analizler Çalışmamızın 4.2 ila 4.4 bölümlerinde yapılacaktır.

4.2. STATİK ANALİZ

Çalışmamızın bu bölümünde, bütün müşteri havuzu çalışmamızın 3.2 ve 3.3 bölümlerinde ortaya konular çözüm yöntemi çerçevesinde optimize edilecektir. Bu optimizasyon neticesinde ulaştığımız sonuçlar da bu bölümde yer alacaktır.

Apple M1 işlemci ve 8GB RAM'e sahip kişisel bilgisayar üzerinde Python3 programlama dili ile yazmış olduğumuz program (çalışmamızın ekine alınmıştır) örnek bir müşteri için 182 adet Pareto optimal çözümü içeren çözüm kümesini 14.8 sn'de bulmuştur. Banka uzmanlarından alınan bilgiler çerçevesinde, programın günlük olarak işlevsel olabilmesi için 2 saat içinde çözüm vermesi uygun olacaktır. Bu da 2 saat içerisinde yaklaşık olarak 500 defa çalıştırılabileceği anlamına gelmektedir. Daha hızlı bilgisayarlar ile bu programın iki saat içinde 5000 defa daha çalıştırılabilmesi mümkündür. Herhangi bir banka için günlük 5000 müşteri girişi olmadığı sürece programımız kullanıma uygun olacaktır. Diğer yandan, paralel hesaplama ya da birden çok bilgisayarda ayrı ayrı çalıştırma gibi metotlar kullanılarak, bu sayının onlarca katına artırılabilmesi mümkündür.

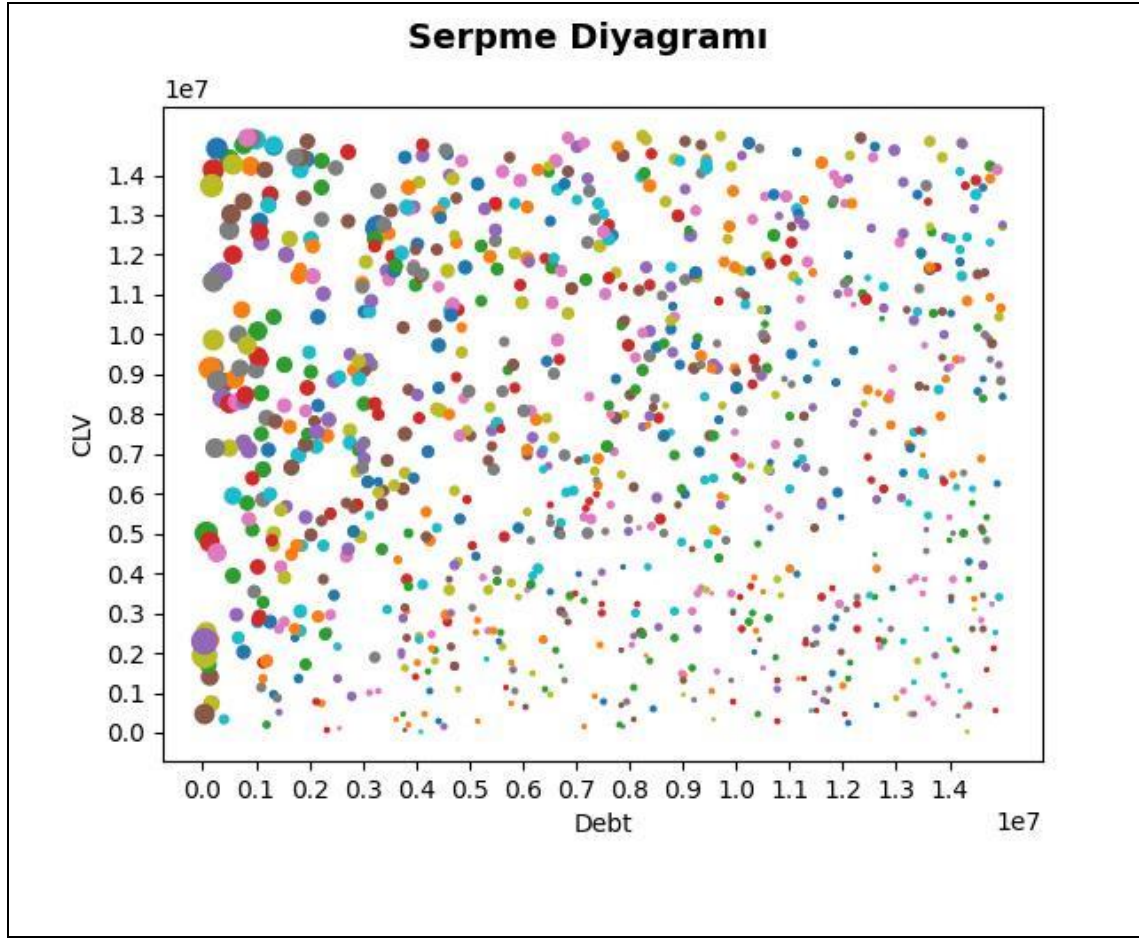
Uygulamamızın statik analiz kısmı 1.000 örnek müşteri verisi ile çalıştırılmıştır. Buradaki optimizasyon sürecinde Gurobi çözücü ile yukarıda belirtilen konfigürasyona sahip bilgisayar kullanılmıştır. Örnek veri setinde 1.000 müşteri için 118.315 adet Pareto optimal güzergah mevcuttur. Bu veri setinde ortalama müşteri başına 118 adet Pareto optimal güzergah bulunmaktadır. Pareto optimal güzergah sayısı 103-182 aralığında gerçekleşmiştir. Programımız bu veri setini 34 saniye içinde optimize etmiştir. Söz konusu veri seti ile kaynak kodları kişisel GitHub depomuzda yer almaktadır. Kaynak kodlar ayrıca bu çalışmamızın ekine alınmıştır. Çözüm çıktısı ise aşağıda Tablo-24'te yer almaktadır. Optimize edilmiş olan atama probleminde, her müşteriye bir aksiyon güzergahı atanmıştır. Statik optimizasyonun esas olarak alınması durumunda, banka statik optimizasyon havuzunda yer alan müşteriler için 60 günlük aksiyon güzergahları elinde bulunduğu için, 60 gün boyunca her müşteriye hangi aksiyonun uygulanacağını

baştan belirlemiş olacaktır. Bu durumda müşteriler için hangi aksiyonların uygulanacağını planlaması baştan bilindiği için tahsilat biriminde belirlilik en üst düzeyde olacaktır.

```
Gurobi Optimizer version 10.0.0 build v10.0.0rc2 (mac64[arm])
CPU model: Apple M1
Thread count: 8 physical cores, 8 logical processors, using up to 8 threads
Optimize a model with 1723 rows, 118315 columns and 7571971 nonzeros
Model fingerprint: 0xc2150f1d
Variable types: 3 continuous, 118312 integer (118312 binary)
Coefficient statistics:
  Matrix range    [1e+00, 3e+07]
  Objective range [1e+00, 1e+00]
  Bounds range    [1e+00, 1e+00]
  RHS range       [1e+00, 1e+03]
Presolve removed 1723 rows and 118315 columns
Presolve time: 1.65s
Presolve: All rows and columns removed
Explored 0 nodes (0 simplex iterations) in 2.05 seconds (7.43 work units)
Thread count was 1 (of 8 available processors)
Solution count 1: 5.63835e+08
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 5.638352311736e+08, best bound 5.638352311736e+08, gap
0.0000%
Static optimization finished in 34.56
```

Tablo 24 - Statik Optimizasyon Çözüm Çıktısı

Statik analiz sonucunda müşterilerin her birisi için bir aksiyon güzergahı atanmış olup, bu aksiyon güzergahlarının müşterilerin borç ve yaşam boyu değerlerine göre oluşturulmuş serpm diyagramı aşağıda Şekil-18 olarak yer almaktadır. Bu şekilde x eksenini müşterilerin borç tutarlarını, y eksenini yaşam boyu değer tutarlarını, noktaların büyüklükleri ise ne kadar yumuşak aksiyon güzergahlarının uygulandığını göstermektedir. Serpm diyagramı bağlamındaki yumuşaklık-sertlik kavramları, müşteri için kullanılabilir olan aksiyon güzergahlarının içerisindeki yüzdeye göre belirlenmektedir. Örneğin müşteri için 120 adet alternatif güzergah mevcutsa, güzergahlar küstürme olasılığı en yüksek güzergahtan itibaren büyükten küçüğe sıralandığında, 108'nci sırada yer alan güzergah en yumuşak %90'lık pozisyonda olacaktır. Bu noktanın büyüklüğü 90 ile orantılı olmaktadır. Başka bir müşteri için en sert aksiyon uygulandığında en sert %1'lik pozisyonda olacağından, oluşacak noktanın boyutu 1 ile orantılı olmaktadır.



Şekil 18 - Statik Analiz Serpme Diyagramı

Şekil-18 detaylı olarak incelendiğinde müşteri borcu yükseldikçe daha sert aksiyon güzergahlarının (küçük boyutlu noktalar), müşterinin yaşam boyu değeri arttıkça daha yumuşak aksiyonlar (büyük boyutlu noktalar) uygulandığı görülecektir. Modelimizde

4.3. SİMÜLASYON (DİNAMİK ANALİZ)

Çalışmamızın 4.2. bölümünde statik analiz uygulaması anlatılmıştır. Statik analiz uygulaması, herhangi bir belirsizliğin olmadığı, müşterilerin tamamına aksiyon güzergahlarının uygulandığı analizdir. Ancak bu analizin gerçek hayat şartlarına uymayacağı aşikardır. Zira gerçek hayat uygulamalarında, birçok müşterinin daha ilk aksiyon uygulandığı anda hemen ödemelerini gerçekleştirdikleri görülmektedir. Bu durumda baştan yapılan uygulama, daha ilk birkaç gün içerisinde optimize olmayan bir hale gelecektir, zira birçok aksiyon için kısıtlar gevşeyecek, kısıtlar nedeniyle daha yüksek tahsilat olasılığı bulunan aksiyon güzergahları uygulanamayan müşteriler için ise daha düşük tahsilat olasılığı bulunan aksiyon güzergahları seçilmiş ve uygulamaya

devam edilmiş olunacaktır. Ayrıca, ilk birkaç gün içinde ödemesini yapıp sistemden çıkan müşteriler olduğu gibi, her gün sisteme yeni giren müşteriler de olacaktır. Daha önceden sistemde olan müşterilerin sistemdeki gün sayısı ile yeni giren müşterilerin sistemdeki gün sayıları birbirlerini tutmayacak, uygulamanın 60 günlük penceresi kayarak ilerleyecektir. Bu nedenle de bütün müşterilerin bir anda statik olarak optimize edilmesi her ne kadar optimize bir çözüm sunsa da dinamik bir analizin yapılması kaçınılmaz hale gelmektedir.

Bu dinamik analizde, belirsizlik ön plandadır, zira hangi müşterinin ödemesini yapıp sistemden çıkacağı, hangi müşterinin sisteme gireceği ve bu müşterilerin hangi gün sistemden çıktığı ya da hangi gün sisteme girdiği hep belirsizdir. Bu durumda stokastik bir optimizasyon ya da bir simülasyon yapılarak analiz yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmamızda, simülasyon yapılacak, simülasyon sonuçları ise ayrıca değerlendirilecektir. Simülasyon sırasında uygulanacak metodoloji Çalışmamızın 4.1 bölümünde anlatılmış ve Şekil-13 ile Şekil-15 arasında görsel olarak özetlenmiştir.

Dinamik analizde uyguladığımız metodoloji ise aşağıda Tablo-25'te açıklanmıştır.

- 1- Çalışmamızda statik optimizasyon için kullanılan 1000 müşterilik veri seti kullanılmıştır.
- 2- Simülasyon 8 farklı kısıt oranı için ve her bir kısıt oranında 10 defa çalışacak şekilde yapılmıştır. Bu 8 farklı kısıt oranı, kullanılan aksiyonların 8 ila 12'nci arasında olanlar için, müşterilerin sayısına göre kullanılan orandır. Kullanılan oranlar %30 ila %100 arasında %10'luk artışlar olacak şekilde belirlenmiştir. Örneğin %40 kısıt oranı belirlendiğinde, toplam müşteriler için $1000 \times \%40 = 400$ adet aksiyon belirlenmiştir. Böylelikle bankanın hangi kaynaktan ne kadar esnekliğe sahip olduğu görülecektir. Çalışmamızda yazmış olduğumuz ve çalışmamızın EK-4'ünde yer alan programda herhangi bir kısıt oranı için simülasyon yapılabilecek ve bankanın kısıt esneklikleri ölçülebilecektir.
- 3- Her bir simülasyonda öncelikle statik analiz için optimizasyon yapılmıştır. Statik analiz için Python'un üniform rasgele dağılım kütüphanesi kullanılarak, çalışmada yer alan müşterilerin yaklaşık %10'u seçilmiştir. Seçilen müşteri adetleri yapılan toplam 80 adet simülasyonda 77 ila 122 arasında yer almaktadır. Statik analiz için seçilmiş olan müşteriler, Şekil-14 gösterilmiş olan sürece tabi tutulmaktadır. Bu müşterilerin her birisi için başlangıçta birer adet aksiyon güzergahı ataması yapılmış ve ilerleyen günler için sistemin sahip olduğu kısıtlar, bu aksiyon güzergahlarında yer alan kısıtlara göre güncellenmiştir.
- 4- Her bir simülasyon için başlangıçtaki statik analiz haricinde kalan müşteriler için günlük analiz yapılacaktır. Günlük analiz için yeni müşteriler seçilmeden önce, o gün sistemden çıkan müşterilerin, ilerleyen günlerde kullanmayacakları kısıtlar, sisteme geri yüklenmektedir. Ardından günlük analiz için müşteriler, yine üniform rasgele dağılım kütüphaneleri kullanılarak seçilmektedir. Bu noktada sisteme gelen müşteri sayısının poisson dağılıma uygun olması için Python Numpy kütüphanesinde yer alan poisson dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Bu müşteriler için genel kısıt sayısının kendilerine düşen kısmı kadar bir kısıt ayarlanarak, günlük optimizasyon yapılmaktadır. Optimizasyon yapılamazsa bu durum simülasyon loglarında belirtilerek, bu seçilen müşteriler de tekrardan havuza alınarak, ertesi güne geçilmektedir.
- 5- Takip süreci 60 günlük olduğu için hafızasız bir süreç simülasyonu için her simülasyon 250 gün olacak şekilde yapılmaktadır.

Tablo 25- Dinamik Analiz Metodolojisi

Çalışmamızın 4.3 bölümünde yer alan uygulamada, bir simülasyon optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Simülasyon optimizasyonunda çalışmamızın 3.1 bölümünde ortaya koyduğumuz çözüm önerisinin; çalışmamızın 3.2 bölümünde yer alan problem çerçevesinde çözümü yapılmıştır. Simülasyon optimizasyonu çalışmamızın amacı ise, çözüm önerimizin, bankaların günlük hayatta karşılaştıkları çeşitli durumlar karşısında nasıl davrandığının görülmesi ve burada yer alan çeşitli parametreler hakkında banka karar vericilerine, kendilerine karar vermede kolaylık sağlayacak veriler sunulmasıdır. Çalışmamızın bu bölümünde yer alan simülasyon optimizasyonu, çeşitli müşteri veri setleri ve değişik parametrelerle çalışabilecek şekilde yapılmıştır. Bu nedenle çalışmamızda ortaya koyduğumuz veri seti ve çözüm çerçevesinde elde ettiğimiz sonuçlar haricinde de birçok sonuç ortaya koyabilecektir. Yani bu bölümde ortaya koyduğumuz veriler ve sonuçlar, aslında elde edilebilecek veri ve sonuçların sadece bir kısmıdır. Bu anlamda, özellikle karar vericiler için önemli bir araç olan bu simülasyon programımız kullanılarak, karar vericiler alacakları politika kararları için önemli veri ve sonuçlar elde edebileceklerdir.

Öncelikle simülasyon optimizasyonunda Tablo-25'te anlatılan metodoloji kapsamında elde edilen verileri sunmak faydalı olacaktır. Aşağıda Tablo-26'da genel veriler yer almaktadır.

Simülasyon Sayısı	80
Simülasyon Müşteri Sayısı	1000
Statik Optimizasyon Müşteri Sayı Aralığı	77-122
Dinamik Optimizasyon Müşteri Sayı Aralığı	878-923
Statik Optimizasyon Çözüm Süresi Aralığı	4,6 sn- 20,39 sn

Tablo 26 - Simülasyon Genel Verileri

Simülasyon sayısı 80 adet, her bir adet simülasyonun içerisindeki dinamik simülasyon adedi 250 gün olunca, toplamda 20.000 günlük simülasyon yapılmış olmaktadır. Bu noktada verilerin tamamının çalışmaya konulması fayda sağlamayacaktır. Bu nedenle yukarıda Tablo-26'da genel veriler verilmiştir. Bundan sonrasında ise elde edilen verilerin

çizmiş olduğu anlamlı trendler ve karar vericilerin kullanabileceği örnek veriler bu bölümde yer almaktadır.

Simülasyon ile görmeyi hedeflediğimiz ilk veri, kısıtların hangi noktaya kadar yeterli olabileceğine ilişkindir. Bu önemli bir veridir zira bankaların maliyetlerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Her ne kadar kısıtlar sınırsız tutulduğunda, müşteri borcu tahsil edememe maliyeti ve müşteri hayat boyu gelir kaybı maliyetleri de dahil optimizasyon yapıldığında, gereksiz kısıtlar da ortaya çıkacaktır. Ancak yine de bu kısıtların maliyetlerini görebilmek anlamlıdır. Ayrıca, kısıtların hangi noktaya kadar optimizasyonu etkileyeceğini görmek, karar vericilerin kritik kaynakları tespit etmesini sağlayacaktır.

Simülasyon optimizasyonu sonucunda elde etmiş olduğumuz veriler, bu bölümde daha önce bahsettiğimiz üzere, birçok politika kararı için kullanılabilir. Biz burada örnek olarak kısıtların yeterliliği ve havuzda yer alan müşterilerin uzun dönemdeki sayıları konusunda analize yer vereceğiz.

4.3.1. Kısıtların Yeterliliği

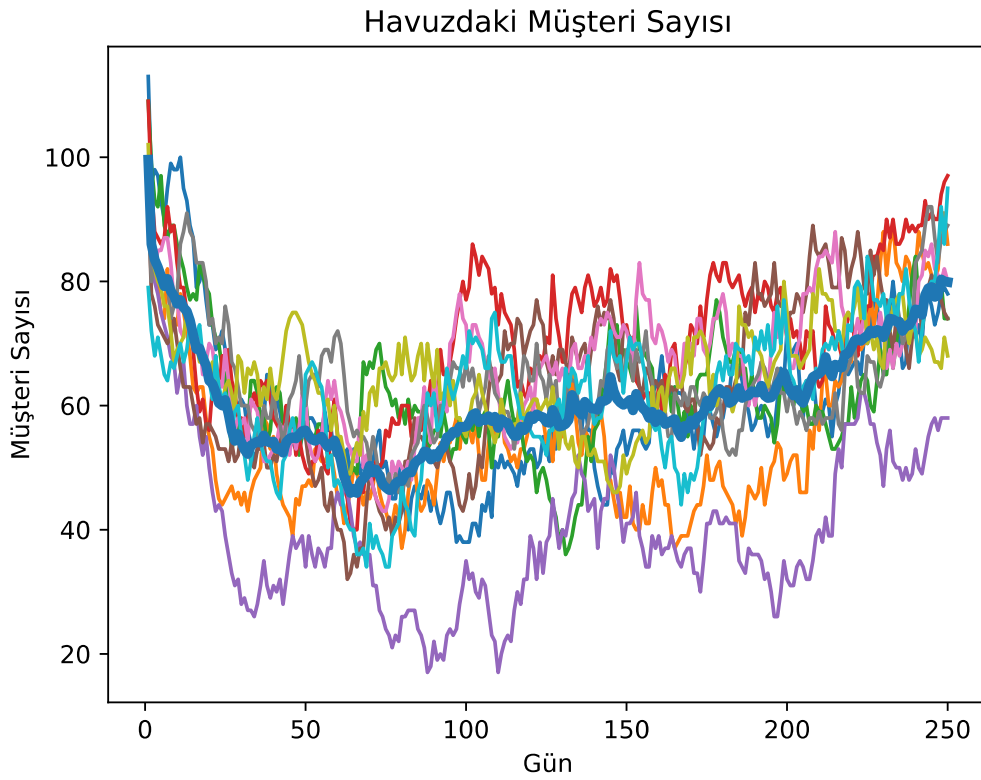
Simülasyon kümelerindeki hiçbir kümede kısıtların yetersiz kalıp da optimizasyonun tamamlanamadığı bir simülasyon yaşanmamıştır. Ancak Tablo-25'te açıklanan metodolojide de belirtildiği üzere, bazı günlerde o güne tahsis edilen kısıtlar yetersiz gelebilmekte, bu durumda da o gün sisteme girmiş olan müşteriler, henüz sisteme girmemiş müşteriler havuzuna geri atılmıştır.

Simülasyon kümelerinde kısıtlara ilişkin olarak yetersizlik yaşanmadığı görülünce, özellikle kısıtların müşteri sayısına göre düşük tutulduğu ekstrem analizler yapılmıştır. Bu ekstrem analizlerde görece sert aksiyonlar (9-10-11-12'nci aksiyonlar) için müşteri sayılarının %10, %5 ve %1'i kadar kısıt belirlenmiştir. Bu analizlerde yine optimizasyon yapılmıştır; ancak, görece sert aksiyonların yer aldığı Pareto optimal aksiyon güzergahlarının tercih edilmediği gözlenmiştir. Bu sonuç karar vericiler için esnekliğin olduğunu ortaya koymaktadır. Zira sert aksiyonlar açısından kısıtların sıkı olması durumunda bile optimizasyon sağlanmaktadır. Diğer bir deyişle, eldeki kaynakların daha da daralması durumunda bile alternatif çözümler bulunabilmektedir. Bu esnekliği

sağlayan ise aslında iki kriterli güzergah optimizasyonu ile her müşteri için çok sayıda alternatif Pareto optimal aksiyon güzergahının bulunabilmesidir.

4.3.2. Havuzda Yer Alan Müşterilerin Uzun Dönem Sayıları

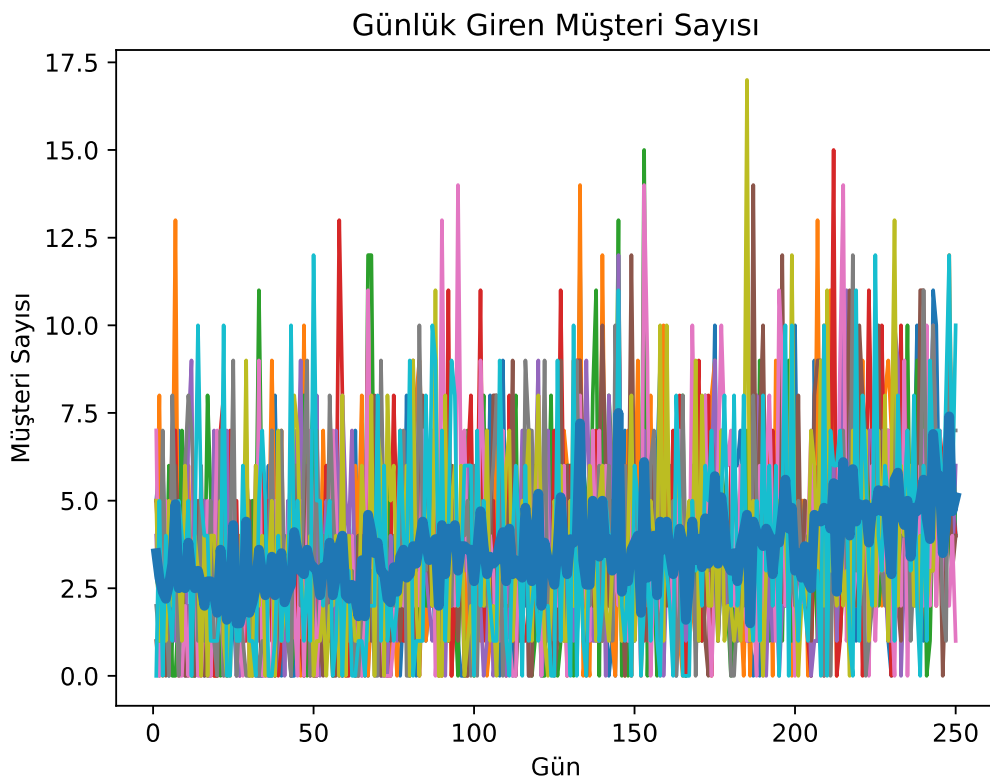
Çalışmamızda yapmış olduğumuz 8 farklı simülasyon kümesinden, örnek olarak seçilen bir tanesinde yer alan 10 adet simülasyona ilişkin 250 günlük, sistemdeki müşterileri gösteren grafik aşağıda Şekil-19'da yer almaktadır.



Şekil 19 - Havuzdaki müşteri sayısı grafiği

Şekil-18'de yer alan grafikte ince çizgiler, örnek simülasyon kümesindeki her bir simülasyonda havuzda yer alan müşteri sayısını göstermektedir. Kalın çizgi ise sözü geçen kümedeki 10 simülasyonun ortalamasını göstermektedir. Başlangıçta, statik analizdeki müşterilerin havuzda yer alması nedeniyle ortalama yüksek olsa da, sonrasında ortalama müşteri sayısı 50-80 aralığında oynama göstermektedir. Aşağıda Şekil-19, poisson dağılımına göre belirlenmiş olan ortama müşteri girişi grafiği yer

almaktadır. Şekil-20'deki grafik incelendiğinde, 2 ila 7 arasında günlük giriş görülmektedir. Ancak ortalama girişin 3-4 arasında olduğu görüldüğünde, havuzdaki müşteri sayısının günlük beklenen girişin 20 katı kadar olduğu söylenebilir. Banka karar vericilerine, tahsilat operasyonları için kullanacakları kaynakları, günlük beklenen girişlerin 20 katını idare edecek şekilde kurmaları önerilebilecektir. Bu örnek veri kullanılarak böyle bir analiz yapılabilecektir. Bu da banka karar vericilerinin, verecekleri kararlarda ne kadar önemli bir analiz aracı ortaya koyduğumuzu göstermektedir.



Şekil 20 - Havuza giren müşteri sayısı

4.4. SENARYO ANALİZİ

Çalışmamızın bu kısmında, çeşitli senaryolar kullanılacak ve çözümlere göre çeşitli önerilerde bulunulacaktır. Uygulanacak senaryolar aşağıda Tablo-27'de gösterilmektedir. Tablo-27'de gösterilen senaryolar dışında birçok senaryonun, banka

karar vericileri tarafından tasarlanması ve çalışmamız çerçevesinde uygulanması da mümkündür.

Kullanılacak Senaryolar
Çağrı merkezi senaryoları
Çağrı merkezi kullanılamaması
Çağrı merkezi çalışan sayısının 1 tane olması
Çağrı merkezi çalışan sayısının 3'ten az olması
Tahsilatın acil olarak hızlandırılmak istenilmesi
Aksiyonların bir kısmının dışarıdan paket şeklinde temin edilmesi

Tablo 27 – Senaryolar

4.4.1. Çağrı Merkezi Senaryoları

Bu kısımda çağrı merkezine ilişkin olarak çeşitli senaryolar değerlendirilecektir.

4.4.1.1. Çağrı Merkezinin Kullanılamaması

Bu senaryoda, çağrı merkezi kullanılamamaktadır. Bu senaryoda modelde değişiklik yapılmayacak ve sadece kısıtlar değiştirilecektir.

4.4.1.2. Çağrı Merkezi Çalışan Sayısının 1 tane olması

Bu senaryoda, çağrı merkezinde sadece 1 çalışan bulunmaktadır. Bu çalışan günde 20 arama yapabilmektedir. Ancak sadece 1 çalışan olduğu için haftanın 6-7'nci günlerinde izinli olmaktadır. Bu günlere denk gelen günlerde, çağrı merkezinden arama yapılamamaktadır. Bu senaryoda modelde bir değişiklik yapılmayacak, sadece kısıtlar belirlenirken yukarıda belirtilen sayılara uygun olarak kısıtlar güncellenecektir.

4.4.1.3. Çağrı Merkezi Çalışan Sayısının 3 tane olması

Bu senaryoda, çağrı merkezinde sadece 3 çalışan bulunmaktadır. Bu çalışanlar günde 20 arama yapabilmektedir. Her biri haftalık 2 gün izinli olduğundan, haftanın ilk günü 3 çalışan, diğer 6 gün ise iki çalışan olacak şekilde arama yapılabilmektedir. Bu senaryoda

modelde bir değişiklik yapılmayacak, sadece kısıtlar belirlenirken yukarıda belirtilen sayılara uygun olarak kısıtlar güncellenecektir.

4.4.1.4. Çağrı Merkezi Senaryo Sonuçları

Bu kısımda işlemiş olduğumuz 3 farklı senaryonun uygulanması ile şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Toplam maliyeti en düşük senaryo orijinal statik analiz senaryosu, ardından üç çalışan olduğu senaryo, ardından tek çalışanın olduğu senaryo, son olarak hiç çalışanın olmadığı senaryodur. Bu zaten beklenen bir durumdur, zira gittikçe kısıtlar daralmaktadır. Ancak maliyet farklılığı ile çalışan maliyeti karşılaştırılarak uzun dönemli çalışan kararı verilebilir.

Güzergah seçimlerinde yapılan değişikliklere bakıldığında ise şu tablo oluşmaktadır. Her bir kare, ilgili sütun ve satırdaki senaryolar arasındaki farklı güzergah sayısını göstermektedir.

	Orijinal	1 çalışan	3 çalışan	Çalışansız
Orijinal	-	995 değişiklik	998 değişiklik	996 değişiklik
1 çalışan		-	771 değişiklik	776 değişiklik
3 çalışan			-	806 değişiklik
Çalışansız		-		

4.4.2. Tahsilatın Acil Olarak Hızlandırılmak İstenilmesi

Bu senaryoda, banka acil bir şekilde tahsilatın bitirilmesini istemektedir. Bu durumda, amaç fonksiyonunda müşteri küsme değerine ilişkin maliyet dikkate alınmayacaktır. Bu senaryoda Model-9'da yer alan model güncellenecek. Ve aşağıda yer alan Model-10 olarak uygulanacaktır. Modelin küme, değişken, parametreleri ve kısıtları Model-9'daki ile aynıdır. Bu nedenle eklenmemiştir. Sadece amaç fonksiyonu eklenmiştir.

Model:

Amaç Fonksiyonu:

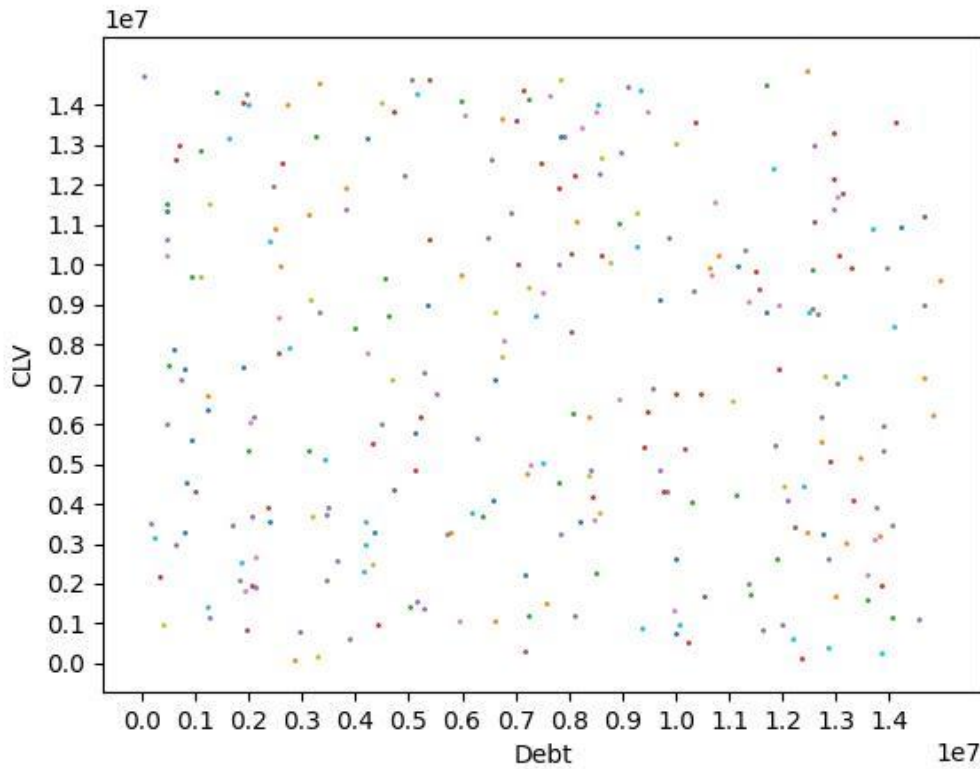
Minimize et:

$$\sum_c \sum_n custpathbin_{\{c,n\}} * (PofNonPayment_{\{c,n\}} * Debt_{\{c\}}) \quad 10.1$$

$$+ \sum_a \sum_d \sum_c \sum_n (custpathbin_{cn} * pathbin_{adcn}) * Actioncosts_{\{a\}}$$

Model 10- Tahsilat Hızlandırma Modeli

Programın çalıştırılması sonucunda aşağıdaki Şekil-21'de yer alan serpme diyagramı oluşmaktadır.

Serpme Diyagramı*Şekil 21 - Tahsilat Hızlandırma Serpme Diyagramı*

Şekil-21'deki serpme diyagramı ile Şekil-18'deki serpme diyagramı karşılaştırıldığında, son diyagramda artık noktaların hep küçük olduğunu görmekteyiz. Bu da kısıtlar dahilinde olabilecek en sert aksiyonların uygulandığını göstermektedir.

4.4.3. Aksiyonların Bir Kısımının Dışarıdan Paket Şeklinde Temin Edilmesi

Bu senaryoda, aksiyonlar birer adet şeklinde değil, paket şeklinde alınacak şekilde modelleme yapılacaktır. Örneğin SMS-IVN gibi aksiyonların aylık paketler şeklinde satın alınması gibi alt senaryolar kullanılacaktır. Bu durumda, amaç fonksiyonunda müşteri küsme değerine ilişkin maliyet dikkate alınmayacaktır. Bu senaryoda Model-9'da yer alan model güncellenecek. Ve aşağıda yer alan Model-11 olarak uygulanacaktır. Modelin küme, değişken ve parametrelerinden Model-9'da yer alanları buraya alınmamıştır. Bu senaryoda birçok aksiyon için paket şeklinde satın alma yapılabilecektir, örnek olarak SMS'lerin paket olarak satın alındığı bir durum ele alınacaktır. SMS'ler 1000'erli paketler şeklinde alınacaktır. Modelde normal SMS ücreti 0 olarak dikkate alınacaktır. Benzer şekilde birçok paket senaryosu üretilmesi mümkündür.

Amaç Fonksiyonu:

Parametre:

SMS Packet Price

Minimize et:

$$\sum_c \sum_n custpathbin_{\{c,n\}} * (PofNonPayment_{\{c,n\}} * Debt_{\{c\}} + PofChurn_{\{c,n\}} * CLV_{\{c\}}) + \sum_a \sum_d \sum_c \sum_n (custpathbin_{cn} * pathbin_{adcn}) * Actioncosts_{\{a\}} + smspackagenum * SMS Packet Price \quad 11.1$$

Kısıtlar:

$$\sum_n custpathbin_{c,n} = 1, \forall c \in C \quad 11.2$$

$$\sum_c \sum_n (custpathbin_{cn} * pathbin_{adcn}) \leq constraints_{ad}, \forall a \in A, \forall d \in D \quad 11.3$$

$Smspackagenum * 1000 \geq \sum_{a \in SMS} \sum_d \sum_c \sum_n (custpathbin_{cn} * pathbin_{adcn})$	11.4
$custpathbin_{c,n} : \text{binary}$	11.5
$SMSpackagenum : \text{integer}$	11.6

Model 11- Aksiyon Paketleri Modeli

4.5. DEĞERLENDİRME

Çalışmamızın bu bölümünde, 3'üncü bölümde önerilen çözüm yöntemine ilişkin olarak yapmış olduğumuz uygulamaya ilişkin değerlendirmeye yer verilmiştir. Çalışmamızın 3.2 ve 3.3 bölümlerinde yer alan analizler dikkate alındığında, çalışmamızın 3.1 bölümünde yaptığımız öneri kapsamında çalışmamızın bu bölümünde yapılan uygulama, çözüm yöntemimizin bankalar açısından önemli bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Çalışmamızın 4.2 bölümünde uygulamış olduğumuz statik analiz sonucunda, bütün müşteri havuzuna ilişkin olarak atama problemi çözülmüştür. Bu çözüm sonucunda ilgili bölümde analizlere yer verilmiştir.

Çalışmamızın 4.3 bölümünde uygulamış olduğumuz simülasyon analizi ile stokastik bir doğaya sahip olan probleme ilişkin olarak karar vericilerin eline ciddi imkanlar sunan bir araç geliştirilmiştir. Bu bölümde her ne kadar belli değişkenler açısından sonuçlar ortaya konulsa da geliştirilen araç bu sonuçlardan daha büyük öneme sahiptir, zira karar vericilerin görmeyi amaçladığı birçok noktayı ortaya koyabilecek potansiyele sahiptir.

Çalışmamızın 4.4 bölümünde ise bankaların tahsilat süreçlerinde karşılaşma ihtimalleri olan çeşitli senaryolar ile ilgili olarak probleme statik olarak yaklaşmıştır. Yine sözü geçen bölümde yer alan senaryolar, karşılaşılabilecek senaryoların küçük bir kısmıdır. Her bankanın kendi çalışma çevresine göre birçok farklı senaryo ile karşılaşması olasıdır.

Çalışmamızın bu bölümünde genel olarak; 4.2 ila 4.4'üncü bölümlerinde özel olarak birçok analiz yaptık. Bu analizler, karar vericilere yön gösterme anlamında önemli katkılar

sunmuştur. Ancak, her bankanın farklı bir müşteri havuzu, her müşterinin kendine özgü davranışları, yine her bankanın farklı aksiyon kümeleri ve aksiyon kısıtları olduğu göz önüne alındığında, çalışmamızın 3'üncü bölümünde önerdiğimiz yöntemin, her bankaya özgü olarak uyarlanması gerektiğini düşünmekteyiz. Yine bu uyarılmanın da zamanla bankanın müşteri havuzu ve müşterilerin davranışları sonucunda, yöntemimizde bulunan parametrelerin değiştirilmesi ile ilgili banka için optimize bir hale geleceğini de değerlendirmekteyiz. Bu uyarılma ve optimizasyonlar ise gelecekte yapılacak çalışmalarda değerlendirilebilecektir.

Keza makine öğrenmesi ya da derin öğrenme gibi çeşitli metodolojiler kullanılarak, müşterilerin aksiyonlara vereceği tepkilerin daha iyi ölçülmesi ise çözüm yöntemimiz daha iyi sonuç verecektir. Bu alanlarda yapılacak olan çalışmalara göre yöntemimizde uyarlamalar yapılması da gelecek çalışmalarda dikkate alınabilecek bir husustur.

SONUÇ

Çalışmamızın araştırma konusu, bankacılık sisteminin gecikmiş alacaklarının tahsilatlarının sayısal yöntemler kullanılmak suretiyle optimize edilip edilemeyeceğidir.

Çalışmamızın birinci kısmında Türk bankacılık sistemini, tarihi gelişimini ve yaşanan krizleri anlattık. Bu kısımda ayrıca, gecikmiş alacaklara ilişkin uluslararası ve ulusal mevzuatta yer alan hükümlere yer verdik. Özellikle Basel uyumlaşmaları ve Bankacılık Kanunu ve ilgili mevzuatta yer alan hükümlerin, bankacılık sektörünün gecikmiş alacaklara ilişkin işlemlerinde uymaları gereken ana kurallar oldukları için, detaylı olarak incelenmesi gerektiğini düşündüğümüzden, bu düzenlemelere geniş olarak yer verdik. Bu kısmı, sayısal bir örnek üzerinden gecikmiş alacakların, bankaların sermaye yapısı ve karlılıkları üzerindeki etkisini göstererek bitirdik.

Çalışmamızın ikinci kısmında güzergah optimizasyonu problemleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu kısımda tek kriterli en kısa yol probleminden başlayarak, özellikle iki kriterli en kısa yol problemi ve türleri detaylı incelenerek, güzergah optimizasyonu probleminin literatürde çok az çalışılan ya da hiç çalışılmayan alt problemlerine değinilmiştir. Bu kısımda özellikle Minmax türü en kısa yol problemlerine ilişkin olarak iki kriter ve çok kriterli en kısa yol problemlerine ilişkin yapılan çalışmaların, literatüre katkısının önemli olduğunu düşünmekteyiz. Keza literatürde çok az çalışılmış olan en uzun yol problemi ve bu problemin çeşitli varyasyonları da tarafımızca çalışılmıştır. Bu varyasyonlardan özellikle Maxsum-Minmax problemine ilişkin olarak çalışmamız derinleştirilmiştir. Kaynak kodlar ve algoritmik karmaşıklık hesaplamalarına da çalışmamızda yer verilmiştir; çünkü, bu problemin çözümü, çalışmamızın genel konusunu oluşturan problemin de çözümünü içermektedir.

Çalışmamızın son bölümünde ise, çalışmamızın ana konusunu oluşturan, bankaların tahsilat süreçlerinin optimizasyonuna ilişkin bir öneri sunulmuştur. İki aşamalı bu öneride öncelikle bireysel müşteriler için, Maxsum-Minmax probleminin çözüm yöntemi

kullanılmak suretiyle, Pareto optimal aksiyon güzergahları bulunmuş. Ardından da bankanın gecikmiş alacak havuzunda yer alan müşterilerin tamamına, bir atama probleminin karışık tam sayı programlama yöntemi ile, birer Pareto Optimal güzergah atamak suretiyle, optimizasyon sağlanmıştır. Bu aşamada bir simülasyon optimizasyonu yapılarak, problemin statik ve dinamik çözümü çalışılmıştır.

Çalışmamız özellikle iki açıdan önem arz etmektedir. Birincisi ekonomi için çok önemli olan bankacılık sektörünün kanayan bir yarası olan gecikmiş alacakların tahsilatına ilişkin olarak, daha önce kullanılmamış olan sayısal yöntemler kullanılmıştır. Çok kriterli güzergah optimizasyonu metotlarının, bu alanda kullanımı, bildiğimiz kadarıyla, literatürde ilktir. Öte yandan çalışmamızda güzergah optimizasyonu problemlerinin literatürde çalışılmamış alt problemlerine çözüm önerileri getirilerek, literatüre teorik anlamda da katkı sağlanmıştır. Özellikle Minmax kriterine sahip güzergah optimizasyonu problemleri ile en uzun yol problemlerine ilişkin olarak literatüre katkıda bulunulmuştur. Bu alanlarda ilerleyen zamanlarda yapılacak olan çalışmalar için de bir öncü olacaktır.

KAYNAKÇA

- Adiloğlu Burcu, Göksel Yücel, “Düyunu Umumiye ve Osmanlı Devleti Borçları İdaresi”, Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi, 2021
- Akçayol, M. A. , S. Toklu. “Genetic algorithm based a new algorithm for time dynamic shortest path problem.” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, December 2011. (<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76015>)
- Ahmadi, Saman , Tack Guido ; Harabor, Daniel ; Kilby, Philip, “Bi-Objective Search with Bi-Directional A*”, 29th Annual European Symposium on Algorithms, 2021. (<https://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2021/14584/pdf/LIPIcs-ESA-2021-3.pdf>)
- Ahuja, R.K. T. L., Magnanti , J. B. Orlin. Network Flows: MIT Working Paper No: 2059-88, Prentice Hall, 1988. Doi : <https://doi.org/10.1137/1037020>
- Aktan, O. (1998). Atatürk'ün ekonomi politikası: Ulusal bağımsızlık ve ekonomik bağımsızlık . Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi , Özel Sayı , 0-0 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/huefd/issue/42279/506996>
- Altay, N. Oğuzhan, “Türkiye’de İktisadi Dönüşümlerin Sosyo Ekonomik Sonuçları Üzerine Bir Deneme”, D.E.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi, 2000
- Altay, N. Oğuzhan, “ Türkiye’de Liberal Politikaların Bankacılık Sektörüne Etkileri (1847–1979)”, Ege Akademik Bakış, 2010
- Apak, S. & Tay, A. (2012). Osmanlı Devleti'nin 19. Yüzyıldaki Finansal Sisteminde Osmanlı Bankası'nın Yeri Ve Faaliyetleri . Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi , (3) , 63-103 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muftad/issue/30126/325052>

- Ardıç Hülya, “1994 ve 2001 Yılı Ekonomik Krizlerinin TCMB Bilançosunda Yarattığı Hareketlerin İncelenmesi”, Uzman Yeterlik Tezi TCMB, 2004
- Arslan, G. & Yavuzaslan, K. (2019), Bankacılık Sektöründe İnovasyonun Yeri ve Önemi: Türkiye Örneği, BMIJ, (2019), 7(2): 946-968 doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i2.1131>
- Arslan, H. , M. Manguoğlu. “A hybrid single-source shortest path algorithm”, Turkish Journal of Electric Engineering and Computer Sciences, 2019 doi:10.3906/elk-1901-23
- Ay İsmail Cem, “Basel Kriterleri Çerçevesinde Türk Finans Ve Bankacılık Sektörünün Yeniden Düzenlenmesi” Doktora Tezi, 2010
- Aykut Cenani, “Basel II Standartları”, Ekonomik Sorunlar Dergisi 2008
- Basel Bankacılık Denetim Komitesi, “Sermaye Ölçümü ve Sermaye Standartlarının Uluslararası Düzeyde Birbiriyle Uyumlaştırılması (Yeni Basel Sermaye Uzlaşısı)”, 2004
- BDDK, “Basın Açıklaması”, 2001
- BDDK, “Basel II Sayısal Etki Çalışması (QIS-TR) Değerlendirme Raporu”, 2004
- BDDK, “Krizden İstikrara Türkiye Tecrübesi”, 2009
- BDDK, “Sorularla Basel 2.5”, 2009
- BDDK, “Sorularla Basel III”, 2010
- BDDK, Tanıtım Kitapçığı, 2012

BDDK, "Türkiye Bankacılık Temel Göstergeleri", 2022

Bellman, E. "On a Routing Problem", Appl. Math., Vol 16, 87–90, 1958.
(<https://www.istor.org/stable/43634538>)

Bentley, Jon Louis, D. Haken, J.B. Saxe "A general method for solving divide-and-conquer recurrences", Carnegie Mellon University 1980
<https://doi.org/10.1145/1008861.1008865>.

Boyacı Aslı Çalış, Gencer C. "Tehlikeli maddelerin çok modlu taşımacılığı için çok ürünlü iki amaçlı bir model önerisi: Türkiye örneği", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2021

Bozoklu, D. "Atatürk Döneminde Bankacılık Sistemine ve Gelişimine Genel Bir Bakış". Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi 19 (2003): 269-302

Brumbaugh-Smith, J Shier D. "An empirical investigation of some bicriterion-shortest path algorithms". European Journal of Operational Research, 1989,
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90215-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90215-4)

Can Ayşegül, "İkinci Meşrutiyet Dönemi Milli Bankacılık Faaliyetleri (1908-1918)", Doktora Tezi, 2021

Cheikh, Mohamed , Jarboui Bassem , Loukil Taicir. "A genetic algorithms to solve the bicriteria shortest path problem", Electronic Notes in Discrete Mathematics, 2010., <https://doi.org/10.1016/j.endm.2010.05.108>

Cicioğlu Şükrü, C.G. Çil, "Türkiye’de Uygulanan Basel Kriterleri ve Basel III Kriterlerinin Türk Finans Sistemine Etkileri", Politik Ekonomik Kuram, 2019

Climaco, J.C.N. , E.Q.V. Martins. "A bicriterion shortest path algorithm" European Journal of Operational Research, 1982, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90205-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90205-3)

- Cormen, Thomas H, C. Leiserson, R. Rivest, C. Stein, "Introduction to Algorithms", MIT Press, 2001.
- Coşkun M. Necat, H.N.Ardor, A.H. Çermikli, H. O. Eruygur, F. Öztürk, İ.Tokatlıoğlu, G. Aykaç, T. Dağlaroğlu, "Türkiye'de Bankacılık Sektörü Piyasa Yapısı, Firma Davranışları Ve Rekabet Analizi", Türkiye Bankalar Birliği, 2012
- Çalışkan Abdulkerim, Eryılmaz, Ü. ve Oğlakçı, M. "19. Yy. Osmanlı Ekonomisinde Galata Bankerlerinin Rolü: Baltazzi Ailesi Örneği." Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, 2021.
- Dantzig, G.B., "On the Shortest Route Through a Network", Management Science, 187–190, 1960.
- Dijkstra, E.W., "A Note on Two Problems in Connection with Graphs", Numerische Mathematik, Vol 1, 269–271, 1959, <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Durer, S. (1982). "Türk bankacılık sistemindeki gelişmeler (1946 - 1960 dönemi)". Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(2), 155-164
- Ehrgott, M. Multicriteria Optimization 2nd edition, Springer , 2005, <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-27659-9>
- Erdoğan Utku Can, "Cumhuriyetin İlk Yıllarında Bankacılık (1923-1929)", Yüksek Lisans Tezi
- Erdoğan Ali, "Basel Kriterlerinin Bankacılık Sektörüne Etkisi Ve Türkiye'de Bankacılık Sektörünün Basel Kriterlerine Uyum Süreci", Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2014
- Erkut Erhan, Vedat Verter, "Modeling of Transport Risk for Hazardous Materials". Operations Research 46(5):625-642., 1998 <https://doi.org/10.1287/opre.46.5.625>

- Eşiyok, A. "Sanayi Planlarından 1947 Türkiye İktisadi Kalkınma Planı'na: Bir Dönüşümün Kısa Bir Öyküsü". Memleket Siyaset Yönetim 4 (2009): 86-131
- Fidan Mehmet Maşuk, "Ticari Alacaklarda Değer Düşüklüğü–TFRS 9 Finansal Araçlar Standardının Basit Yaklaşımı ve Vergi Usul Kanunu Karşılaştırılması", Muhasebe ve Finansman Dergisi, 2019
- Floyd, R.W. "Algorithm 97: Shortest Path", Communications of the ACM 5, 1962, <https://doi.org/10.1145/367766.368168>
- Ford, L.R. Jr. "Network Flow Theory, Paper P-923", The RAND Corporation, Santa Monica, California, 1956.
- Gencer Halil, "Basel I, Basel II, Basel III Sermaye Uzlaşmaları", Vergi Raporu Dergisi, 2013
- Genç Tolga, "Smyrna'dan İzmir'e Finansın ve Bankacılığın Gelişimi", Türkiye Bankalar Birliği, 2022
- Gürel Eymen, E.B.B. Gürel, N. Demir, "Basel III Kriterleri", Bankacılık ve Sigorta Araştırmaları Dergisi, 2012
- Gürsoy Hakan., Duman, E. "İki Kriterli En Kısa Yol Problemi Ve Bir Uygulaması" .Journal of Turkish Operations Management 6 (2022): 1373-1389 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/74779/1075286>
- Hanişoğlu Gülay Selvi, H. Altınbaş, "Türkiye Bankacılık Sektöründe Takipteki Alacaklar İle Sermaye Yeterliliği İlişkisi", Doğu Üniversitesi Dergisi, 2022
- Hansen, P. "Bicriterion Path Problems", Multiple Criteria Decision Making Theory. e Springer- Verlag, Berlin 1980., DOI: 10.1007/978-3-642-48782-8_9

- Hart, P. E., N.J. Nilsson, B. Raphael. "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost, Paths". IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 1968. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- Kamin Steven B., L.P. DeMarco, "How did a domestic housing slump turn into a global financial crisis?", Journal of International Money and Finance, 2012
- Kartopu Saffet, "Duyun-U Umumiye İdaresi Ve İdareyle İlgili Görüşler", GJEBS, 2012
- Kaya Emine, D.A. Çöllü, "Bankerlerden Günümüze Türk Bankacılık Tarihinin Kronolojik Olarak Değerlendirilmesi", BMIJ, 2020
- Kaya H. Pınar, Ş. Uzay, "Varlık Yönetim Şirketlerinin Finansal Sistem İçindeki Yeri Ve Önemi", Muhasebe ve Denetime Bakış, 2020
- Kazdağlı Hasan, "TCMB Kuruluş Tarihçesi ve 1934-1938 Dönemindeki Para Politikasının VAR Yöntemi İle Analizi", HÜ İİBF Dergisi, 1996
- Keskin Ekrem, E.A.İnan, M.Mumcu, P. Erdönmez, " 50. Yılında Türkiye Bankalar Birliği ve Türkiye'de Bankacılık Sistemi 1958-2007", Türkiye Bankalar Birliği, 2008
- Keskin Ekrem, E.A.İnan, Ü. Ünsal, " 60. Yılında Türkiye Bankalar Birliği ve Türkiye'de Bankacılık Sistemi 1958-2018", Türkiye Bankalar Birliği, 2019
- Köksal Oğuz, Ş. Babuşçu, A. Hazar, "Basel IV Neleri Değiştirecek", Ekonomi ve Finansal Araştırmalar Dergisi, 2020
- Köse Metin Ziya, "Galata'da Ermeni Sarraflar Ve Kredi İlişkileri (1700-1720)", Tarih Dergisi, 2016
- Külahi Ezgi Aslan, G. Tiryaki, A. Yılmaz, "Türkiye'de Basel I, Iı Ve Iıı Kurallarına Uyum Süreci", Öneri C.10, 2013

- Madow, L. , J.L. Pérez de la Cruz “Multiobjective A* search with consistent heuristics.”
Journal of the ACM 57 (5), 2010, <https://doi.org/10.1145/1754399.1754400>
- Madow L., Pulido, F.J. , J. L. Perez-de-la-Cruz. “Dimensionality reduction in multiobjective shortest path search” Computers , Operations Research 64:60–70. , 2015, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.05.007>
- Madow L., Pulido, F.J. , J.L.Perez-de-la-Cruz.“Multiobjective shortest path problems with lexicographic goal-based preferences”. European Journal of Operational Research 239, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.05.008>
- Martins, E.Q.V., On a “Multicriteria Shortest Path Problem”, European Journal of Operational Research,1984., [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(84\)90077-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(84)90077-8)
- Minoux M., “Solving Combinatorial Problems with Combined Min-Max-Min-Sum Objectives and Applications”, Mathematical Programming 45, North Holland (1989)
- Murthy, J. I. Mote , D.L. Olson. “A parametric approach to solving bicriterion shortest path problems”, European Journal of Operations Research 53, 1991,
- Ortabağ Erol, “Osmanlı İmparatorluğu’nda Bankacılığın Gelişimi ve Regülasyon”, Türkiye Bankalar Birliği, 2018
- Özpek Hasan Basri, “Basel Uzlaşmalarının Gelişim Sürecinin Finansal Krizler Paralelinde Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, 2014
- Raith, Andrea, Matthias Ehrgott. “A comparison of solution strategies for biobjective shortest path problems”, Computers , Operations Research 36, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.02.002>
- Resmi Gazete, 26.10.1989 Tarih ve 20324 sayı

Sağlam Figen, "Son Dönem Osmanlı Gelir Kaynaklarının Cumhuriyet Dönemi Gelir Kaynaklarıyla Mukayesesi", Doktora Tezi, 2011

Sayılgan Şevket, "5 Nisan Kararları ve Beklentiler", Marmara İletişim Dergisi, 1994

Schrijver A. "On the History of the Shortest Path Problem", Documenta Mathematica, 2012.

Sedgewick, Robert , K. Wayne. Algorithms, Addison Wesley Publishing, 2014.

Selçuk Hasan, A. Darıcı, "Türk Bankacılık Sektöründe Tahsili Gecikmiş Alacaklar", Öneri C.5, 2003

Serafini, P. (1986). "Some considerations about computational complexity for multi objective combinatorial problems." Recent advances and historical development of vector optimization, volume Bibliograph of Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer Verlag, Berlin.

Shi, Ning , Shaorui Zhou , Fan Wang , Yi Tao , Liming Liu. "The multi-criteria constrained shortest path problem", Transportation Research Part E, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.02.002>

Skriver, A. "A Classification of Bicriterion Shortest Path Algorithms", Asia Pasific Journal of Operational Research , 2000a.

Skriver, A., K. A. Andersen, "A Label Correction approach for solving bicriterion shortest-path problems", Computers, Operations Research, 2000b, [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00037-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00037-4)

Stewart, B.S., C.C. White. "Multiobjective A*". Journal of the ACM 38 (4), 1991, <https://doi.org/10.1145/115234.115368>

- Sümer Gökhan, "Türk Bankacılık Sektörünün Tarihsel Gelişimi Ve Ab Bankacılık Sektörü İle Karşılaştırılması", Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 2016
- Şeyhoğlu Turaç, "Türkiye'de 1944-1960 Dönemi Özel Sektör Bankacılığı: Akbank Örneği", Yüksek Lisans Tezi, 2009
- Tanyıldız Hakan, "TÜRK BANKACILIK Sisteminde BASEL II Kriterler Çerçevesinde Risk Yönetimi", Yüksek Lisans Tezi, 2007
- Topçu Neslihan, "Bankalarda Risk Yönetimi:Basel I, Basel Iı Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, 2007
- Tung, CT , K.L. KL. "A bicriterion Pareto-optimal path algorithm". Asia-Pacific Journal of Operations Research, 1988, <https://doi.org/10.1016/0377-2217%2892%2990248-8>
- TCMB Finansal İstikrar Raporu Kasım 2009
- Türkiye Bankalar Birliği, "Cumhuriyet Dönemi Bankalar Kanunları ve İlgili Yasal Düzenlemeler", 1998
- Türkiye Bankalar Birliği, "Sermaye Yeterliliği Konusunda BIS Tarafından Getirilen Yeni Öneriler ve Değerlendirmesi", 2000
- Türkiye Bankalar Birliği, "Basel-II Düzenlemeleri", 2012
- Ulloa, C.H. , W. Yeohz , J. Baier , H. Zhang , L. Suazo , S. Koenig. "A Simple and Fast Bi-Objective Search Algorithm", Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2020, <https://doi.org/10.1609/icaps.v30i1.6655>
- Uluyol Osman, "19. Yüzyılda Osmanlı Devleti'nde Bankacılığın Gelişimi", Muhasebe ve Finans Araştırmaları Dergisi, 2019a

Uluyol Osman, “1980-2000 Döneminde Türkiye’de Bankacılığın Gelişimi”, Muhasebe ve Finans Araştırmaları Dergisi, 2019b

Xiao-Bing, Hu , Chi Zhang Gong , Peng Zhang Ming , Kong Zhang , Hang Li , Mark S. Leeson, Jian-Qin Liao. “Finding the k shortest paths by ripple-spreading algorithms Finding the k shortest paths by ripple-spreading algorithms”, Artificial Intelligence, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.08.023>

Yayla Münür, Y.T.Kaya, “Basel-II, Ekonomik Yansımaları ve Geçiş Süreci”, BDDK Yayınları, 2005

Yen, Jin Y., “Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network”, Management Science, 1971

Yetiz Filiz, “Bankacılığın Doğuşu Ve Türk Bankacılık Sistemi”, Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi, 2016

Yıldırım Oğuz, “Türk Bankacılık Sisteminde Basel Kriterleri”, Finans Politik & Ekonomik Yorumlar, 2015

Yılmaz Naci, “1930-1946 Döneminde Türk Bankacılık Tarihi”, Doktora Tezi, 2007

Austin Knight Web Sites: <https://austinknight.com/writing/desire-paths-and-real-world-ux>
Erişim tarihi 05.09.2020

Wikipedia : https://en.wikipedia.org/wiki/Yen%27s_algorithm Erişim tarihi: 18.06.2021

Princeton Shortest Path Data, Princeton University,
“<https://algs4.cs.princeton.edu/44sp/>” Erişim tarihi: 18.06.2021

Dimacs Web Sitesi 2005, Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, “<http://www.diag.uniroma1.it/~challenge9/download.shtml>” Erişim tarihi: 18.06.2021

BDDK Web Sitesi a: <http://www.bddk.org.tr/BultenAylik/> BDDK Aylık Bankacılık Sektörü Verileri (Temel Gösterim) Erişim tarihi: 14.04.2023

BDDK Web Sitesi b:, <https://www.bddk.org.tr/Sss/Liste/108> Erişim tarihi : 14.04.2023

İşbank Web Sitesi <https://www.isbank.com.tr/bankamizi-taniyin/o-gunlerden-bugunlere>
Erişim Tarihi: 14.04.2023

KPMG Web Sitesi <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2021/10/basel-4-this-time-its-final.html> Erişim Tarihi : 14.04.2023

SBB Web Sitesi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/1999_Y%C4%B1l%C4%B1_Program%C4%B1.pdf
Erişim Tarihi: 14.04.2023

EK 1. ORİJİNALLİK RAPORU

Teze yönelik <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr> – formlar ve dilekçeler kısmında yer alan Tez Çalışması Orijinallik Raporu yer alacaktır. Taranmış kopya olabilir.

EK 2. ETİK KURUL/KOMİSYON İZİNİ YA DA MUAFİYET FORMU

Teze yönelik <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr/formlar.shtml> adresinden erişilerek doldurulan Etik Kurul/Komisyon ya da Muafiyet Raporlarından hangisi alındıysa onun tezin bu kısmına eklenmesi gerekmektedir. Etik Kurul/Komisyon'dan izin alındıysa Etik Kurul/Komisyon onay yazısı eklenmelidir. Alınmadıysa Etik Kurul/Komisyon Muafiyet formunu eklemeniz yeterlidir. Taranmış kopya olabilir.

EK 3. MAXSUM-MINMAX PROGRAMININ KAYNAK KODU:

Aşağıda yer alan kaynak kodun güncel hali <https://github.com/gursoyhakan/LPMM> adresinde yer almaktadır.

```

import copy
import random
import time
import math
import os
import numpy as np
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Mon Feb 1 19:05:46 2021

@author: hakan
"""

BIGNUM = 1000000000

def convert(print_path):
    converted_path = [1 for i in range(60)]
    for i in range(1, len(print_path)-1):
        j_day = (print_path[i]-2)//12
        j_action = print_path[i-1] % 12
        if j_action == 0:
            j_action = 12
        converted_path[j_day] = j_action
    return converted_path

def longest_path(max_w2): # here we try to find the longest path, without passing the minmax
limit
    weights = {}
    for j in nodes.keys():
        weights[j] = -1*BIGNUM
    weights[end] = 0
    new_max_w2 = -1
    parents = dict()
    node_keys = [i for i in nodes.keys()]
    for j in node_keys:
        parents[j] = -1
    node_keys.sort(reverse=True)
    for j in node_keys:
        if nodeweights[j] < max_w2:
            if nodeweights[j] > new_max_w2:
                new_max_w2 = nodeweights[j]
            for k in revadj[j]:
                if nodeweights[k] < max_w2:

```

```

        if nodeweights[k] > new_max_w2:
            new_max_w2 = nodeweights[k]
        if weights[k] < weights[j]+edges[k, j]:
            weights[k] = weights[j]+edges[k, j]
            parents[k] = j
    return new_max_w2, parents, weights[start]

def first_pass(nodeweights): # here we do the first pass traversal on the graph, to find the
MINMAX value
    priority_q = []
    weights = {}
    for j in nodes.keys():
        weights[j] = BIGNUM
    weights[end] = 0
    priority_q.append(end)
    pivot = end
    visited = dict()
    for i in nodes.keys():
        visited[i] = 1
    visited[pivot] = 0
    visited[0] = 0
    is_it_done = 1
    while priority_q and is_it_done:
        pivot = 0
        for j in range(len(priority_q)): # selects the minimum of the priority queue as pivot
            if weights[priority_q[j]] < weights[priority_q[pivot]]:
                pivot = j
        pivot = priority_q.pop(pivot)
        visited[pivot] = 0
        for j in revadj[pivot]:
            # passing through reverse adjacency list of the pivot, doing relaxation and pushing to
priority queue
            if max(nodeweights[j], weights[pivot]) < weights[j]:
                weights[j] = max(nodeweights[j], weights[pivot])
                priority_q.append(j)
        if priority_q:
            k = 0
            for j in range(len(priority_q)):
                if weights[priority_q[k]] > weights[priority_q[j]]:
                    k = j
            priority_q[0], priority_q[k] = priority_q[k], priority_q[0]
        is_it_done = 0
        for t in nodes.keys():
            if visited[t]:
                is_it_done = 1
    return weights[start]

def reading(FILENAME):#here we read the map from the file
    arr = np.loadtxt(FILENAME,delimiter=",")
    if FILENAME[3:7]=='road' or FILENAME[3:6]=='soc' :
        directed = 0
        ek = 0
    else:
        directed = 1
        ek = 1
    adjacency={}

```

```

revadj={}
nodenum=0
nodeweights={}
edgenum=0
start=1
end=30
edges = {}
nodes = {}
labelnums={}
for i in arr:
    edgenum += 1
    a=int(i[0])+ek
    b=int(i[1])+ek
    d=(i[2],i[3])
    edges[a,b]=d[0]
    nodeweights[a]=d[1]
    nodes.setdefault(a,1)
    nodes.setdefault(b,1)
    labelnums.setdefault(a,0)
    labelnums.setdefault(b,0)
    if directed:
        adjacency.setdefault(a,[]).append(b)
        revadj.setdefault(b,[]).append(a)
    else:
        adjacency.setdefault(a,[]).append(b)
        revadj.setdefault(b,[]).append(a)
        adjacency.setdefault(b,[]).append(a)
        revadj.setdefault(a,[]).append(b)
        nodeweights[b]=d[1]
        edges[b,a]=d[0]

nodenum = len(nodes.keys())
return nodenum, edgenum, edges, nodes, start, end, adjacency, labelnums, directed,
revadj, nodeweights

# reading from the file
path = " # Path should be given with respect to the machine
files = os.listdir(path)
filelist=[]
for f in files:
    if f[-3:]=='txt' and f[0:3]=='BOA':
        filelist.append(f)
outfile = open("outfile.txt","w")

for fil in sorted(filelist):
    print(f"{fil} basladi\n")
    t1=time.time()
    nodenum, edgenum, edges, nodes, start, end, adjacency, labelnums, directed, revadj,
    nodeweights= reading(fil)

# below is the first pass to find MINMAX
minW2 = first_pass(nodeweights)
paths = list()
max_w2 = BIGNUM
while max_w2 >= minW2:
    max_w2, path, lp = longest_path(max_w2)

```

```

    #print(max_w2, lp, minW2)
    paths.append([lp, max_w2, path])
#print(paths)
if paths[-1][1] == 0:
    del(paths[-1])
isunique = [1 for i in range(len(paths))]
for i in range(len(paths)-1):
    if paths[i][0] == paths[i+1][0]:
        isunique[i] = 0
t2 = time.time()
f = open(f"result_{fil}", "w")
strr = "Completion time: "
strr += str(t2-t1)
f.writelines(f"Completion time : {(t2-t1):.2f} seconds" )
f.writelines("\n")
t = -1
printing_paths = {}
printing_paths[0] = []
print(f"{len(paths)}, tamamlandi")
for i in paths:
    t += 1
    if isunique[t]:
        f.writelines(f"{i}\n")
        printing_paths[0].append((i[0], i[1], i))
f.close()
outfile.writelines(f"{fil} {(t2-t1):.2f} {nodenum} {edgenum}")

outfile.close()

```

EK 4. SİMÜLASYON OPTİMİZASYONU KAYNAK KODU

Aşağıda yer alan kaynak kodun güncel hali:
https://github.com/gursoyhakan/customer_path_assignment adresinde yer almaktadır.

```
# this program simulates the pattern of incoming and exiting customers for any predefined
number
# of times. The result of each run is saved and will be used for evaluation of our studies
import copy
import random
import time
import gurobipy as gp
import numpy as np
from linear_programming import FileOperations, Optimization
input_file = "customers1000.txt"
output_file = '_poisson_customers1000out.txt'
# Here we get the data by using FileOperations class
reading = FileOperations()
num_day, num_actions, num_people, num_paths, paths, debts, CLV, action_costs,
base_action_constraints, reading_time = \
    reading.read_from_file(input_file)
action_rate_num = 0
for action_rate in [1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3]:
    action_rate_num += 1
    if output := open(f"{action_rate_num}{output_file}", "a"):
        pass
    else:
        output = open(f"{action_rate_num}{output_file}", "w")
    action_constraints = dict()
    for day, action in base_action_constraints:
        if action >= 8:
            action_constraints[day, action] = int(action_rate*base_action_constraints[day, action])
        else:
            action_constraints[day, action] = base_action_constraints[day, action]

# ##### STATIC OPTIMIZATION #####
static_time = time.time()
first_static_optimization = Optimization()
first_static_optimization.paths = copy.deepcopy(paths)
first_static_optimization.num_people = num_people
first_static_optimization.num_paths = copy.deepcopy(num_paths)
first_static_optimization.num_day = num_day
first_static_optimization.num_actions = num_actions
first_static_optimization.action_constraints = {}
for i in range(1, num_day + 1):
    for j in range(1, num_actions + 1):
        first_static_optimization.action_constraints[i, j] = action_constraints[i, j]
first_static_optimization.action_costs = action_costs
first_static_optimization.CLV = copy.deepcopy(CLV)
first_static_optimization.debts = copy.deepcopy(debts)
first_static_optimization.reading_time = time.time()
first_static_optimization.log_to_console = 1
status, objVal, cust_path_bin, optimization_time = first_static_optimization.optimize()
print(f"Static optimization finished in {(time.time()-static_time):.2f}")
```

```

output.writelines(f"Static optimization finished in {(time.time()-static_time):.2f}\n")
# ##### SIMULATIONS #####
number_of_simulations = 10
simulation_customer_number = 1000
static_ratio = 0.1
dynamic_ratio = 1 - static_ratio
simulation_days = 250
customer_exit_probability = dict()
customer_exit_probability[0] = 0
customer_exit_probability[1] = 0.2
for i in range(2, 61):
    customer_exit_probability[i] = 0.05
for i in range(61, simulation_days):
    customer_exit_probability[i] = 1

simulations = []

# Simulation part
for simulation in range(number_of_simulations):
    # Random customer selection for static and dynamic optimization
    customer_selected = []
    dynamic_customer_list = []
    static_customer_list = []
    customer_entry_day = {}
    customer_exit_day = {}
    customers_in_system = []
    customers_selected_path = {}
    for i in range(num_people):
        if random.random() <= float(simulation_customer_number/num_people):
            customer_selected.append(i)
            if random.random() <= static_ratio:
                static_customer_list.append(i)
                customer_entry_day[i] = 1
                customers_in_system.append(i)
            else:
                dynamic_customer_list.append(i)
    print(f"# of customers selected for simulation Total : {len(customer_selected)}, "
          f"for static: {len(static_customer_list)}, for dynamic {len(dynamic_customer_list)}")
    output.writelines(f"# of customers selected for simulation Total : {len(customer_selected)}, "
                     f"for static: {len(static_customer_list)}, for dynamic {len(dynamic_customer_list)}\n")
    # Static optimization
    daily_remaining = {}
    for day in range(1, simulation_days+61):
        for action in range(1, num_actions+1):
            daily_remaining[day, action] = action_constraints[1, action]
    sim = Optimization()
    sim.paths = [paths[i] for i in static_customer_list]
    sim.num_people = len(static_customer_list)
    sim.num_paths = [num_paths[i] for i in static_customer_list]
    sim.num_day = num_day
    sim.num_actions = num_actions
    sim.action_constraints = {}
    for i in range(1, num_day + 1):
        for j in range(1, num_actions+1):
            sim.action_constraints[i, j] = action_constraints[i, j] * len(static_customer_list) //
num_people

```

```

sim.action_costs = action_costs
sim.CLV = [CLV[i] for i in static_customer_list]
sim.debts = [debts[i] for i in static_customer_list]
sim.reading_time = time.time()
sim.log_to_console = 0
status, objVal, cust_path_bin, optimization_time = sim.optimize()
if status == gp.GRB.OPTIMAL:
    print(f"Static Optimization is optimal with objective Value: {objVal:.2f} in
{optimization_time:.2f} seconds")
    output.writelines(f"Static Optimization is optimal with objective Value: {objVal:.2f} in
{optimization_time:.2f} seconds\n")
else:
    print(f"Static Optimization is infeasible in {optimization_time} seconds, passing to the
next simulation")
    output.writelines(f"Static Optimization is infeasible in {optimization_time} seconds,
passing to the next simulation\n")
    continue
daily_uses = sim.action_number_render(cust_path_bin)
for customer, path_num in cust_path_bin.keys():
    if cust_path_bin[customer, path_num] == 1:
        customers_selected_path[static_customer_list[customer]] = path_num
for day, action in daily_uses.keys():
    daily_remaining[day, action] -= daily_uses[day, action]
print(f"Dynamic simulation starts for simulation number : {simulation + 1}")
output.writelines(f"Dynamic simulation starts for simulation number : {simulation + 1}\n")
sim.reset()
# dynamic simulation
daily_customers = dict()
exiting_customers = dict()
for sim_day in range(simulation_days):
    daily_customers[sim_day] = []
    exiting_customers[sim_day] = []
    dynamic_customer_list_len = len(dynamic_customer_list)
    poisson_mean = int(dynamic_customer_list_len/(simulation_days-sim_day))
    poisson_num = np.random.poisson(poisson_mean)
    daily_average_dynamic_customers_selection_ratio =
float(poisson_num/dynamic_customer_list_len)
    for customer in dynamic_customer_list:
        if random.random() <= daily_average_dynamic_customers_selection_ratio:
            daily_customers[sim_day].append(customer)
            customer_entry_day[customer] = sim_day + 1
            dynamic_customer_list.remove(customer)
    for customer in customers_in_system:
        if random.random() <= customer_exit_probability[sim_day] -
customer_entry_day[customer] + 1]:
            exiting_customers[sim_day].append(customer)
            customer_exit_day[customer] = sim_day + 1
            customers_in_system.remove(customer)
            if customer in static_customer_list:
                static_customer_list.remove(customer)
            selected_path = paths[customer][customers_selected_path[customer]]
            for i in range(customer_exit_day[customer] - customer_entry_day[customer],
num_day):
                removed_action = selected_path[i]
                daily_remaining[sim_day + i + 1, removed_action] += 1
            for customer in daily_customers[sim_day]:
                customers_in_system.append(customer)

```



```

output.writelines(f" Simülasyon sayısı {simulation + 1}, simülasyon günü {sim_day + 1},
"
    f"sisteme giren müşteriler {len(daily_customers[sim_day])}, "
    f" sistemden çıkan müşteri sayısı {len(exiting_customers[sim_day])}, "
    f"statik analizden kalan müşteri sayısı {len(static_customer_list)}"
    f"   Sisteme henüz girmeyen dinamik analiz müşteri sayısı
{len(dynamic_customer_list)}\n")
daily_sim = Optimization()
daily_sim.paths = [paths[i] for i in daily_customers[sim_day]]
daily_sim.num_people = len(daily_customers[sim_day])
daily_sim.num_paths = [num_paths[i] for i in daily_customers[sim_day]]
daily_sim.num_day = num_day
daily_sim.num_actions = num_actions
daily_sim.action_constraints = {}
if dynamic_customer_list_len > 0:
    for i in range(1, num_day+1):
        for j in range(1, num_actions+1):
            daily_sim.action_constraints[i, j] = \
                max(daily_remaining[i, j] * len(daily_customers[sim_day]) //
dynamic_customer_list_len+1, daily_remaining[i, j])
        else:
            continue
daily_sim.action_costs = action_costs
daily_sim.CLV = [CLV[i] for i in daily_customers[sim_day]]
daily_sim.debts = [debts[i] for i in daily_customers[sim_day]]
daily_sim.reading_time = time.time()
daily_sim.log_to_console = 0
status, objVal, cust_path_bin, optimization_time = daily_sim.optimize()
if status == gp.GRB.OPTIMAL:
    daily_sim_used_actions = dict()
    daily_sim_used_actions = daily_sim.action_number_render(cust_path_bin)
    for day, action in daily_sim_used_actions.keys():
        daily_remaining[sim_day + day, action] -= daily_sim_used_actions[day, action]
    for daily_customer, customer_path_no in cust_path_bin.keys():
        if cust_path_bin[daily_customer, customer_path_no] == 1:
            customers_selected_path[daily_customers[sim_day][daily_customer]] =
customer_path_no
    else:
        daily_backup = copy.deepcopy(daily_customers[sim_day])
        for customer in daily_backup:
            customers_in_system.remove(customer)
            dynamic_customer_list.append(customer)
        continue
    daily_sim.reset()
output.close()

```