

**T.C.
KADİR HAS ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
FİNANS VE BANKACILIK DOKTORA PROGRAMI**

BANKALARDA NAKİT YÖNETİM YAPILANMASININ OPTİMİZASYONU

Doktora Tezi

ENGİN TOPALOĞLU

İstanbul, 2011

**T.C.
KADIR HAS ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
FİNANS VE BANKACILIK DOKTORA PROGRAMI**

BANKALARDA NAKİT YÖNETİM YAPILANMASININ OPTİMİZASYONU

Doktora Tezi

ENGİN TOPALOĞLU

Danışman: DOÇENT DOKTOR HASAN EKEN

İstanbul, 2011

GENEL BİLGİLER

İsim ve Soyadı	: Engin Topaloğlu
Enstitü	: Sosyal Bilimler Enstitüsü
Program	: Finans ve Bankacılık Doktora Programı
Tez Danışmanı	: Doçent Doktor Hasan Eken
Tez Türü ve Tarihi	: Doktora – Şubat 2011
Anahtar Kelimeler	: Banka, Yerleşim, Yönlendirme, Nakit Yönetimi

ÖZET

Çalışmamızda bankalardaki nakit yönetim yapılanmasının optimize edilmesine yönelik bir yöntem önerisi getirilmiştir. Öncelikli olarak banka nakit yönetim yapılanması incelenmiş ve karşılaşılan temel problemler tespit edilmiştir. Belirtilen problemler vade bazında stratejik, taktik ve operasyonel, tür bazında da yerleşim, yönlendirme ve envanter olarak ifade edilebilecek bir sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Her bir problemin çözümüne yönelik olarak kullanılabilir literatürde yer alan standart modeller tespit edilmiş ve bunların nakit yönetimi yapılanması problemlerine ne şekilde uyarlanabilecekleri tartışılmıştır.

Parçaların müstakil optimizasyonunun, bütünün optimum olmasını sağlamayabileceğinden hareketle sistemin tümleşik olarak iyileştirilmesini mümkün kılacak tekrarlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde her biri nakit yönetim yapılanmasının belirli bir kısmını adresleyen modeller ardışık olarak çalıştırılmaktadır. Bir modelin sonuçları ile bunlar üzerinden hesaplanan bazı parametreleri sonraki model ve aşamalarda kullanan bu yöntemde, durma koşulu sağlanıncaya kadar çözüm tekrarlı olarak iyileştirilmektedir.

Son bölümde önerilen yöntem gerçek ve kurgusal verilerden terkip edilen bir banka örneğine uygulanmış ve başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname : Engin Topaloğlu
Institute : Graduate Institute of Social Sciences and Humanities
Programme : Ph. D. in Finance and Banking
Supervisor : Associate Professor Hasan Eken
Degree and Date : Ph. D. – February 2011
Keywords : Banking, Location, Routing, Cash Management

ABSTRACT

In this study, a methodology is devised to optimize cash management systems in banking. Firstly, cash management system in banking is examined and the fundamental problems are identified. Those problems are classified by term as strategic, tactic and operational, and by type as location, routing and inventory. In order to solve each, the standard models in the literature are identified and later their applications to the cash management system problems are discussed.

By observing the fact that optimization of parts may not make the whole optimum, an iterative methodology is suggested to improve the overall problem. In this methodology, the models each addressing a separate piece of the cash management system are run sequentially. The algorithm improves the solution iteratively; by feeding the results of each model and the parameters calculated on those results to the subsequent models, till the stopping criterion is being met.

Finally the suggested methodology is applied to a bank example consisting of both real and hypothetical data. It is observed that algorithm generates successful results.

ÖNSÖZ

Yüksek fırsat maliyeti oluşturması nedeniyle bankacılık sektöründe şube kasalarında yer alan nakdin yönetimine özel önem atfedilmektedir. İhtiyaç fazlası nakdin minimize edilmesine yönelik olarak bankalarda büyük nakit yönetim yapılanmaları bulundurulmaktadır. 2000’li yıllarla birlikte nakit yönetimine yönelik oluşturulan organizasyonların etkinlik ve verimliliğini etkileyen şube sayısı, faiz oranı, ulaşım ağının kalitesi gibi temel faktörlerde önemli değişimler meydana gelmiştir. Belirtilen gelişmeler bankaların nakit yönetimine ilişkin mevcut organizasyonlarının yeterliği üzerinde soru işareti oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bankalarda optimal nakit yönetim yapılanması tasarımı kullanılmak üzere, literatürde yer alan üç standart modeli uyarlayarak birleştiren tümleşik bir yöntem önerisi getirilmiştir. Sözü edilen yöntem dışsal nitelikli verileri gerçek, içsel nitelikli verileri ise kurgusal olan bir banka örneğine uygulanmıştır. Belirtilen bankanın Anadolu’nun orta kısmında yer alan 86 şubeden oluşan ağı analiz edilmiş ve bu ağ üzerinde faaliyet göstermesi gereken nakit yönetim yapılanmasına ilişkin temel büyüklükler belirlenmiştir.

Tez çalışmalarım sırasında sabrının sınırlarını sıklıkla zorladığım halde bana olan güvenini sürekli yineleyen, daha iyisini yapabileceğim konusunda beni cesaretlendiren değerli hocam Doçent Doktor Hasan Eken’e, araştırma yapmak için ihtiyaç duyduğum her anı onlara ayırmam gereken zamandan çalmama rağmen, desteklerini eksik etmeyen ve nadiren şikâyetçi olan sevgili eşim Gülümser’e ve biricik oğlum Emre Hasan’a teşekkürü borç olarak addediyorum.

İstanbul, 2011

Engin TOPALOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ŞEKİL LİSTESİ	i
GRAFİK LİSTESİ	ii
TABLO LİSTESİ	iii
KISALTMALAR	vi
GİRİŞ	1
1 BANKALARDA NAKİT YÖNETİMİ	5
1.1 BANKALARDA NAKİT HAREKETLERİ	5
1.2 BANKALARDA NAKİT TRANSFERİ YAPILANMASI	7
1.3 NAKİT YÖNETİMİ YAPILANMASI SORUNLARI	9
1.3.1 Ekonomik Konjonktür Etkisi	9
1.3.2 Bankacılık Sektörü Şube Sayısında Meydana Gelen Artış	15
1.3.3 Diğer Etmenler	15
1.4 NAKİT YÖNETİM SİSTEMİNDE İYİLEŞTİRİLECEK FAKTÖRLER	16
1.4.1 Ağ Üzerinde Faaliyet Gösterecek NYBB Sayısı	16
1.4.2 NYBB'lerin Şube Ağı Üzerindeki Konumları	17
1.4.3 Şubelerin NYBB'ler Arasında Paylaşımı	17
1.4.4 NYBB'lerde Hizmet Verecek ZA Sayısı	17
1.4.5 ZA'ların İzleyeceği Rota	18
1.4.6 Şubelerde İzlenecek Kasa Yönetimi Politikaları	18
2 NAKİT YÖNETİMİNDE KULLANILABİLECEK MODELLER	20
2.1 MATEMATİKSEL MODELLERİN ZORLUK DERECELERİ	20
2.2 KAPASİTE SINIRSIZ TESİS YERLEŞİMİ PROBLEMİ	23
2.2.1 Model Tanımı	23
2.2.2 Matematiksel Model	25
2.2.3 Grafıksel Gösterim	26
2.2.4 KSTYP ile ilgili Literatür	28
2.3 ARAÇ YÖNLENDİRME PROBLEMİ	40
2.3.1 Model Tanımı	40
2.3.2 Matematiksel Model	41
2.3.3 Grafıksel Gösterim	42
2.3.4 AYP İle İlgili Literatür	44
2.4 RASSAL ŞARTLAR ALTINDA NAKİT YÖNETİMİ PROBLEMİ	58

2.4.1	Model Tanımı	58
2.4.2	Matematiksel Model	59
2.4.3	RŞANYP İle İlgili Literatür	61
2.5	NYS'LERİN TASARIMINA TÜMLEŞİK YAKLAŞIMLAR	71
2.5.1	Yerleşim / Yönlendirme Problemi Literatürü	73
2.5.2	Yönlendirme / Envanter Problemi Literatürü	79
2.5.3	Tüm Başlıkları Birlikte İçeren Çalışmalar	81
3	TÜMLEŞİK YÖNTEM ÖNERİSİ	83
3.1	STRATEJİK MODEL: KSTYP	86
3.2	TAKTİK MODEL: AYP	90
3.3	TAKTİK MODEL: ARAÇ SAYISI BELİRLEME PROBLEMİ	94
3.4	OPERASYONEL MODEL: RŞANYP	96
3.4.1	Benzetişim Modeli	101
3.4.2	Arama Yordamı	108
3.5	TÜMLEŞİK MODELİN GÖRSEL GÖSTERİMİ	115
3.5.1	KSTYP	115
3.5.2	AYP	116
3.5.3	ASBP	117
3.5.4	RŞANYP	118
3.6	TÜMLEŞİK YÖNTEMİN BAŞLAMA VE DURMA KOŞULLARI	119
3.6.1	Başlama Koşulları	119
3.6.2	Durma Koşulları	120
4	UYGULAMA	122
4.1	ŞUBE AĞ YAPILANMASI VE ŞUBE KONUMLARI	122
4.2	GİDER PARAMETRELERİ	124
4.2.1	ZA Giderleri	124
4.2.2	NYBB Giderleri	126
4.2.3	Personel Giderleri	127
4.2.4	Şubelerdeki Nakit Hareketleri	129
4.3	PROBLEMİN ÖNERİLEN YÖNTEMLE ÇÖZÜMÜ	131
4.3.1	Hazırlık Aşaması	131
4.3.2	Birinci Etap	132
4.3.3	İkinci Etap	135
4.3.4	Üçüncü Etap	136
4.3.5	Dördüncü Etap	140
4.3.6	Beşinci Etap	142
4.3.7	Altıncı Etap	144

4.3.8	Yedinci ve Son Etap	145
4.3.9	Modelleri Bağlayan Parametrelerin Gelişimi	146
	SONUÇ	148
	KAYNAKÇA	156

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1: Ağ Yapılanması - KTSYP.....	27
Şekil 2: Ağ Yapılanmasında KSTYP Probleminin Çözümü.....	28
Şekil 3: Ağ Yapılanması - AYP	43
Şekil 4: AYP.....	44
Şekil 5: Tümeleşik Yöntem Önerisi	85
Şekil 6: Benzetişim Modeli - Nakit Hareketleri Sayfası – Nakit Verme	102
Şekil 7: Benzetişim Modeli - Nakit Hareketleri Sayfası – Nakit Alma	103
Şekil 8: Benzetişim Modeli – Parametreler Sayfası.....	104
Şekil 9: Rota Üzerinde Ortalama Mesafe.....	105
Şekil 10: Mesafe ve Süre Katkısı Büyüklüklerinin Hesaplanması.....	106
Şekil 11: Arama Yordamı – Excel Sayfası.....	109
Şekil 12: Tümeleşik Yöntem – KSTYP	115
Şekil 13: Tümeleşik Yöntem – AYP.....	116
Şekil 14: Tümeleşik Yöntem – ASBP.....	117
Şekil 15: Tümeleşik Yöntem – Rassal Şartlar Altında Nakit Yönetimi.....	118
Şekil 16: Modellerin Etkileşimi	120
Şekil 17: Uygulamaya Konu Edilen Şubelerin Yer Aldığı Bölge.....	123

GRAFİK LİSTESİ

	Sayfa No.
Grafik 1: NYS Maliyetleri.....	13
Grafik 2: Faiz Oranı Değişikliğinin Nakit Yönetim Maliyetlerine Etkisi.....	14
Grafik 3: Baumol Modeli	63
Grafik 4: Miller-Orr Modeli	65
Grafik 5: Arama Yordamının Çalışma Şekli.....	111
Grafik 6: Konveks Benzeri Fonksiyon Örneği.....	112
Grafik 7: Optimuma Yakınsamamaya Neden Olabilecek Fonksiyon Örneği.....	113
Grafik 8: α – Konveks Fonksiyon Örneği.....	114

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No.
Tablo 1: Şubelerin İller Bazında Dağılımı	123
Tablo 2: Araç Giderleri	126
Tablo 3: NYBB Bina Giderleri	127
Tablo 4: Personel Giderleri	128
Tablo 5: ZA Personel Giderleri.....	128
Tablo 6: NYBB Personel Giderleri	129
Tablo 7: Etap Başlangıcında RŞANYP	132
Tablo 8: 1. Etap KSTYP	132
Tablo 9: 1. Etap AYP.....	133
Tablo 10: 1. Etap ASBP.....	133
Tablo 11: 1. Etap RŞANYP	134
Tablo 12: 1. Etap Sonuçları	134
Tablo 13: 2. Etap KSTYP	135
Tablo 14: 2. Etap AYP.....	135
Tablo 15: 2. Etap ASBP.....	135
Tablo 16: 2. Etap RŞANYP	136
Tablo 17: 2. Etap Sonuçları	136
Tablo 18: 3. Etap KSTYP	137

Tablo 19: 3. Etap AYP.....	137
Tablo 20: 3. Etap ASBP.....	137
Tablo 21: ASBP Aşamasında Araç Sayısını Belirleme	138
Tablo 22: 3. Etap RŞANYP	140
Tablo 23: 3. Etap Sonuçları	140
Tablo 24: 4. Etap KSTYP	140
Tablo 25: 4. Etap AYP.....	141
Tablo 26: 4. Etap ASBP.....	141
Tablo 27: 4. Etap RŞANYP	141
Tablo 28: 4. Etap Sonuçları	142
Tablo 29: 5. Etap KSTYP	142
Tablo 30: 5. Etap AYP.....	142
Tablo 31: 5. Etap ASBP.....	143
Tablo 32: 5. Etap RŞANYP	143
Tablo 33: 5. Etap Sonuçları	143
Tablo 34: 6. Etap KSTYP	144
Tablo 35: 6. Etap AYP.....	144
Tablo 36: 6. Etap ASBP.....	144
Tablo 37: 6. Etap RŞANYP	145
Tablo 38: 6. Etap Sonuçları	145

Tablo 39: c^{t-1} Parametresinin Gelişimi	146
Tablo 40: e^{t-1} Parametresinin Gelişimi	146
Tablo 41: k^{t-1} Parametresinin Gelişimi	147

KISALTMALAR

ASBP	Araç Sayısı Belirleme Problemi
ATM	Automated Teller Machine
AYP	Araç Yönlendirme Problemi
CBS	Coğrafik Bilgi Sistemleri
GPS	Global Positioning System
KSTYP	Kapasite Sınırsız Tesis Yerleşimi Problemi
KYP	Kasa Yönetimi Politikası
NYBB	Nakit Yönetim Bölge Birimi
NYS	Nakit Yönetim Sistemi
RŞANYP	Rassal Şartlar Altında Nakit Yönetimi Problemi
TL	Türk Lirası
TCMB	Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
TBS	Türkiye Bankacılık Sektörü
YP	Yabancı Para
ZA	Zırhlı Araç

GİRİŞ

Banka nakit yönetim yapılanmasının optimize edilmesini hedefleyen bu çalışmada, literatürde yer alan standart modeller belirlenerek nakit yönetimi problemlerine uyarlanacak, sistemin tümleşik olarak iyileştirilmesini sağlayan, uyarlanmış modelleri sıralı ve tekrarlı olarak çalıştıran bir yöntem geliştirilecek, gerçek ve kurgusal verilerden terkip edilen bir banka örneğine belirtilen yöntem uygulanacaktır.

NYS yapılanmaları banka şube ağı üzerinde konumlandırılmış nakit yönetim bölge birimleri (NYBB), bunlara bağlı olarak faaliyet gösteren zırlı araçlar (ZA), merkez ve bölge organizasyonlarında ihtiyaç duyulan bina, makine ve teçhizat ile yeterli sayıda personelden oluşmaktadır.

Nakit yönetimine ilişkin maliyetler iki temel kalemi içermektedir. Bunlardan ilki NYS yapılanması içinde kullanılan bina, araç, teçhizat, personel vb. kalemlerden oluşan operasyonel maliyettir. İkincisi ise şube kasalarında bulundurulmuş ihtiyaç fazlası nakdin fırsat maliyetidir. Bahsi geçen iki maliyet kalemi arasında ters yönde bir ilişki söz konusudur. NYS yapılanmasının büyüklüğü ve dolayısıyla maliyeti artırıldığında (azaltıldığında), şubelerdeki kasa ortalaması ve dolayısıyla kasa maliyeti azalmaktadır (artmaktadır). Bankalarda belirtilen iki kalemden oluşan toplam NYS maliyetinin minimal düzeyde tutulması hedeflenmektedir.

2000'li yıllarla birlikte Türkiye Bankacılık Sektöründe (TBS) NYS yapılanmalarının etkinlik ve verimliliğini etkileyen çok önemli değişimler meydana gelmiştir. İlk olarak 2001 – 2010 dönemi arasında faiz oranlarında bir önceki on yıla göre büyük düşüşler yaşanmış, buna bağlı olarak şube kasalarında yer alan atıl nakdin maliyeti de düşmüştür. Konuyla ilgili ikinci önemli gelişme ise 2000'li yıllarla birlikte sektördeki banka şubesi sayısında %50'yi aşan ölçüde artış olmasıdır. Ülke karayolu ağının genişletilmesi, kalitesinin artırılması, bölünmüş yol miktarında sağlanan artışlar da nakit yönetim yapılanmalarının verimliliği üzerinde tesir eden diğer faktörler olmaktadır. Yakın dönemde gerçekleşen belirtilen gelişmeler sonrasında TBS'de yer

alan mevcut NYS'lerin minimal maliyeti sağlayacak yapılanmada olup olmadıkları soru işaretidir.

Çalışmamızda bankalardaki nakit yönetim sistemlerinin optimal olarak tasarımı amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, stratejik düzeyde banka şube ağı üzerinde kaç adet nakit yönetim birimi olması gerektiği, bunların konumları, hangi şubelere hizmet verecekleri konuları irdelenecektir. Taktik düzeyde ise her bir NYBB'ye bağlı kaç ZA bulunacağı, bunların rotaları inceleme konusu yapılacaktır. Operasyonel seviyede şubelerin kasa yönetimi politikasına ilişkin büyüklüklerin belirlenmesi hedeflenecektir. Bu kapsamda, şubelerin kasalarındaki nakit hangi düzeye ulaştığında ihtiyaç fazlası nakdi merkezi birimlere devredecekleri, kasa bakiyeleri hangi tutara indiğinde merkezi birimlerden nakit talebinde bulunacakları, bu işlemler sonucunda kasalarını hangi bakiyelerde tutmayı hedefleyecekleri araştırma konusu yapılacaktır.

Çalışmamızın birinci bölümünde öncelikle bankalarda nakit hareketi oluşturan temel faaliyetler tartışılacaktır. Sonrasında nakit yönetiminde kullanılan kaynaklar ile bu kaynakları kullanan süreçler ve organizasyonel yapılanmaya değinilecektir. Birinci bölümün sonunda TBS'de yer alan mevcut nakit yönetim yapılanmalarını ideal olmaktan uzaklaştıracak, son dönemde meydana gelen gelişmeler detaylı olarak tartışılacaktır.

İkinci bölümde ilk olarak nakit yönetim yapılanmalarında kullanılabilir standart modeller ve ilgili literatür çalışmaları inceleme konusu yapılacaktır. Ayrıca, belirtilen yöntemlerin nakit yönetim sistemlerine nasıl uyarlanabileceklerine de değinilecektir.

NYS'lerin tasarımı kapsamında incelenecek ilk standart model Kapasite Sınırsız Tesis Yerleşimi Problemidir (KSTYP). KSTYP'de bir mal üretmekte ya da hizmeti sunmakta olan tesislerin, çeşitli talep noktalarından müteşekkil bir ağ üzerinde, üretim ve dağıtım maliyetlerini en düşük kılacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Bir yerleşim modeli yaklaşımı olan KSTYP'nin şube ağı üzerinde NYBB'lerin konumlandırılmasında ne şekilde kullanılacağı değerlendirilecektir.

İrdelenecek ikinci standart model bir yönlendirme modeli niteliği taşıyan Araç Yönlendirme Problemidir (AYP). AYP’de ağ üzerinde çeşitli noktalara konumlanmış müşterilerin ihtiyaçlarını en düşük maliyetle karşılamak üzere, merkezi bir depoya bağlı olarak çalışan araçların rotalarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. NYBB’lere bağlı olarak çalışan ZA’ların rotalarının belirlenmesinde AYP’den ne şekilde faydalanılabileceği tartışılacaktır.

İkinci bölümün takip eden kısmında, AYP tarafından üretilen çözümlerin kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla bir yöntem önerisi getirilecektir. Bu yöntemle AYP tarafından tavsiye edilen rotalardaki araca ihtiyaç duyma ihtimalleri hesaplanacak, tüm rotalarda aynı anda araca ihtiyaç olması ihtimalinin belirlenen bir eşik değerden düşük olması durumu irdelenecektir.

İkinci bölümde tartışılacak son standart model Rassal Şartlar Altında Nakit Yönetimi Problemidir (RŞANYP). Bir envanter yönetimi modeli hüviyeti taşıyan RŞANYP’den nakit yönetimi politikası büyüklüklerinin belirlenmesinde yararlanılacaktır. RŞANYP için literatürde yer alan çözüm yöntemlerinin uygulamasındaki güçlükler dikkate alınarak farklı bir çözüm yöntemine başvurulacaktır. Öncelikli olarak, şubede belirli bir kasa yönetimi politikası altında ortaya çıkacak maliyetleri belirlemek üzere, mevcut nakit hareketleri üzerinden şube nakit hareketlerinin gelişimini izlemek üzere oluşturulan benzetişim modeli tartışılacaktır. Sonrasında, şubenin nakit hareketleri veri alındığında hangi nakit yönetimi politikasının şubenin maliyetlerini minimum kılacağını belirlemek için oluşturulan arama yordamına değinilecektir.

Bahsi geçen modellerin her biri NYS’nin belirli bir bölümüne ilişkin büyüklükleri en iyi kılmaya çalışmaktadır. Bir sistemin parçalarının ayrı ayrı optimize edilmesinin, sistemin bütünü en iyiye ulaştırmayacağı tespitlerinden hareketle, ikinci bölümün son kısmında, standart modellerin iki ya da daha fazlasını birleştiren modeller ve bu modellere ilişkin literatür detaylı olarak tartışılacaktır.

Üçüncü bölümde, önceki bölümde değinilen dört modeli birleştiren bir Tümlşik Yöntem önerisi getirilecektir. Bu yöntemde NYS ihtiyaçlarına göre

yapılandırılan her bir standart nitelikli model, birbirini takip eder şekilde çalıştırılmakta, birinin sonucu diğerlerine girdi teşkil etmektedir. Böylelikle belirli bir durma koşulu sağlanıncaya kadar tekrarlı bir şekilde modeller çalıştırılmakta ve sonuçlar takip eden etaplarda iyileştirilmektedir. Tümüleşik Yöntemde modelleri birbirine bağlayan, model sonuçlarını daha gerçekçi kılan, önceki model sonuçlarını sonraki modellere aktaran bazı faktörler de üçüncü bölümde detaylı olarak tartışılacaktır.

Dördüncü bölümde önerilen Tümüleşik Yöntemin işlevselliğini görmek üzere bir uygulama çalışması gerçekleştirilecektir. Çalışmada, bir özel bankanın Karadeniz, Doğu ve Orta Anadolu Bölgesindeki şube örgütlenmesi baz alınacaktır. Bankanın şube ağına ilişkin olarak yol, süre gibi büyüklüklerde gerçek veriler kullanılacak, içsel veri niteliğinde olmaları nedeniyle temin edilmesi mümkün bulunmayan, ağ üzerinde yerleşik şubelerdeki nakit hareketleri gibi bazı veriler ise çeşitli varsayımlar altında kurgusal olarak üretilecektir. Bu bölümde verilerin ne şekilde temin edildiği, parametrelerin hangi tespit ve varsayımlar altında hesaplandığı da detaylı olarak tartışılacaktır.

Dördüncü bölümün son kısmında, optimal nakit yönetimi yapılanması büyüklüklerinin belirlenmesi amacıyla, gerçek ve kurgusal verilerden hareketle oluşturulan problemin Tümüleşik Yöntem yaklaşımıyla çözülmesi hedeflenecektir. Bu kapsamda, problemin başlangıç çözümünün ne şekilde oluşturulacağı, her bir etapta modellerin hangi sonuçları ürettiği ve sonraki modellere hangi girdileri sağladıkları, karar değişkenleri, modelleri birleştiren faktörler ve toplam maliyetin gelişimi detaylı olarak değerlendirilecektir.

Son bölümde çalışmanın bulgu ve sonuçlarının özetine yer verilecek, konuyla ilgili olarak gerçekleştirilebilecek yeni çalışmalara ilişkin yol gösterici önerilerde bulunacaktır.

1 BANKALARDA NAKİT YÖNETİMİ

Bu bölümde ilk olarak bankalarda nakit hareketlerinin gerekçeleri ve ne şekilde ortaya çıktığına değinilmiş, sonrasında bankalarda nakit yönetim sistemlerinin organizasyon yapısı ile nakit yönetim süreci üzerinde durulmuştur. Takip eden bölümde TBS’de nakit yönetim sistemlerinin neden optimal yapılanma içerisinde olamayabileceği tartışılmış, son bölümde de çalışmada optimize edilmesi hedeflenen nakit yönetim yapılanması faktörlerine yer verilmiştir.

1.1 BANKALARDA NAKİT HAREKETLERİ

Freixas ve Rochet (2008) bankacılığın tanımını “cari operasyonları kredi vermek ve müşterilerden mevduat toplamaktan ibaret olan firmadır” şeklinde yapmaktadır¹. Bankacılığın ilk mikroekonomi bakış açısıyla analizine ilişkin makalede Klein (1971) bankaların, mevduat ve kredi işlemleri yaptığı, sermaye ve mevduattan oluşan toplam kaynaklarının kredi ve kasada tutulan nakit dışında kalan kısmını ihtiyat saikiyla hazine bonolarına yatırdığı varsayımını yapmıştır². Klein’in bir diğer tespiti de bankaların üçüncü önemli bir faaliyet olarak bankaların cari hesap işlemlerine aracılık ettiğidir ki bu faaliyet daha genel bir tanımlama ile ödemeler sistemine aracılık etmek olarak ifade edilebilir. Bankacılığın mikroekonomi teorisine ilişkin Pringle³ (1973), Baltensperger⁴ (1980) ve Langohr⁵ (1982) tarafından hazırlanan makaleler de mevduat, kredi ve ödemeler sistemine aracılık olarak ifade edilen üç temel faaliyeti ana bankacılık faaliyetleri olarak incelemektedir.

Bankalar mevduat faaliyetlerinde bulunarak fon toplamak, kredi işlemleri gerçekleştirerek fon kullanırmak ve ödemeler sistemine aracılık etmek olarak özetlenebilecek belirtilen faaliyetlerini çoğunlukla şubeler aracılığı ile

¹ Xavier Freixas ve Jean-Charles Rochet, **Microeconomics of Banking**, 2. Basım, Cambridge : The MIT Press, 2008, s.1.

² Michael A. Klein, “A theory of the banking firm”, **Journal of Money, Credit and Banking**, Vol.3, No.2, (May 1971), s.206.

³ John J. Pringle, “A theory of the banking firm: comment”, **Journal of Money, Credit and Banking**, Vol.5, No.4, (November 1973), s.990, 991.

⁴ Ernst Baltensperger, “Alternative approaches to the theory of the banking firm”, **Journal of Monetary Economics**, Vol.6, No.1, (January 1980), s. 1-37.

⁵ Herwig Langohr, “Alternative approaches to the theory of the banking firm : A note”, **Journal of Banking & Finance**, Vol.6, No.2, (June 1982), s.297-299.

gerçekleştirmektedir. Belirtilen temel ve diğer bankacılık aktiviteleri bir kısım şubelerde nakit fazlası oluşmasına neden olurken, bir kısım şubelerde de nakit kullanımı ihtiyacını öne çıkarmaktadır. Şöyle ki diğer işlemleri sabit kalmak kaydıyla, herhangi bir gün itibariyle mevduat yoluyla yarattığı kaynak, kredi yoluyla kullandığı kaynaktan fazla olan şubeler gün sonunda gün başına göre daha fazla nakit mevcuduna sahip olmaktadır. Benzer şekilde gün içinde yarattığı kaynaktan daha fazla kredi kullandıran şubeler ise gün başı nakit mevcuduna göre, gün sonunda daha az nakde sahip olmakta, ihtiyaç duyulan nakdin gün başı nakit mevcudunu geçmesi halinde şubenin ilave nakitle desteklenmesi gerekmektedir. Ödemeler başlığı altındaki işlemlerin temel bileşenlerinden olan havale ürünü örnek alındığında ise, bu işlem özelinde havale amirinin şubesinde bir nakit fazlası oluşurken, havale lehtarının şubesinde bir nakit ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Sözü edilen nakit fazlaları bankalar açısından getirisiz bir aktif niteliği taşımaktadır. Öte yandan, soygun, dolandırıcılık ve suiistimale yönelik kaygılar nedeniyle de şubelerde fazlaca nakit bulundurulması tercih edilmemektedir. Bu nedenlerle de bankalar açısından şube kasalarında yer alan ihtiyaç fazlası nakdin iktisadi olarak minimum düzeye indirilmesi temel hedeflerden biri olmaktadır.

Şubelerde oluşan nakit ihtiyacı ise esasında bir müşteri talebini temsil etmektedir. Nakit ihtiyacı dolayısıyla kredi kullanan ya da mevduat hesabından çekiliş yapan müşteri açısından bu ihtiyacın talep edildiğinde fazla gecikmeye yer verilmeyerek giderilmesi önem arz etmektedir. Talebin zamanında karşılanması müşteri memnuniyetinin sağlanması bakımından elzem nitelikte olup, belirtilen sürenin uzaması ya da yaygınlık arz etmesi bankanın itibarının zedelenmesine, hatta uç noktalarda mevduat sahiplerinin hücumuna uğrayarak iflasına yol açabilecek nitelikte sonuçlara neden olabilecektir. Bu sebeple şube nakit ihtiyaçlarının karşılanmasında belirtilen türden risklerin oluşmasını en aza indirgeyecek hizmet seviyeleri baz alınmalıdır.

Özellikle çok şubeli bankacılığın hâkim olduğu ticari bankacılık sektöründe, şubelerdeki nakit fazla ve noksanlarının giderilmesine yönelik aktiviteler bankaların en kritik ve hacimli operasyonel nitelikteki faaliyetlerinden birini teşkil etmektedir.

Pek tabii ki yukarıda belirtilen örneklerde mevduat, kredi ve havale işlemlerinin nakit karşılığında yapıldığı, diğer bir ifadeyle kaydi olarak gerçekleştirilmedikleri varsayılmıştır. Zira kaydi işlemler söz konusu olması halinde, belirtilen şubelerde bir nakit fazlası/noksanı değil de daha genel bir tanım niteliğinde olan fon fazlası/noksanından bahsedilecektir. Fon ihtiyaç ve fazlasının giderilmesinde şubeler arasında nakit transferini gerektirecek bir durum ortaya çıkmayacak, bankacılıkta kullanılan temel Yönetim Muhasebesi Uygulamalarından biri olan Fon Transfer Fiyatlaması sistemi aracılığı ile tamamen kaydi nitelikteki belirtilen işlemler izlenecek ve fiyatlandırılacaktır.

1.2 BANKALARDA NAKİT YÖNETİMİ YAPILANMASI

Nakit transfer faaliyetleri bir kısım bankalarda iç kaynaklar kullanılarak yerine getirilirken, diğer bankalar tarafından temel bankacılık faaliyeti kapsamı dışında değerlendirilmekte ve dış tedarikçi firmalar tarafından gördürülmesi yöntemine başvurulmaktadır.

Tüm bankalarda şubelerdeki nakdin izlenmesi ve transferlerinin gerçekleştirilmesine yönelik özel birimler oluşturulurken, çok şubeli bankalarda şube ağının belirli bölgelerine konumlandırılmış bölgesel yapılanmalara da başvurulmaktadır. NYBB'ler yeter sayıda insan kaynağı ve ZA istihdamı ile kendilerine bağlı şubelerin nakit fazlalarını toplamakta ve nakit ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Öte yandan, NYBB'ler çoğunlukla Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) Şubelerinin ya da TCMB Depo hesaplarının bulunduğu T.C. Ziraat Bankası Şubelerinin bulunduğu il merkezlerinde yer almakta ve bu şubeler aracılığı ile kendilerinde oluşan nakit fazla ve noksanlarını gidermektedir.

NYBB'ler genellikle ilgili bankanın bir şubesi ile altlı/üstlü olarak aynı binada yer almaktadır. Binaların giriş ve diğer katlarının şube olarak kullanılmasının tercih edilmesi yanında, güvenlik olarak daha korunaklı da olmaları nedeniyle NYBB'ler genellikle zemin altı katlarda faaliyet göstermektedir. Ayrıca, NYBB'ler güçlendirilmiş beton duvarlarla çevrilmekte, çelik kapı ve büyük çelik kasalarla donatılmaktadırlar.

NYBB'lerde kullanılan teçhizat bankadan bankaya farklılık arz etmektedir. Bir kısım bankalar nakit işlemlerinin yoğunluğuna bağlı olarak para sayan, sahte banknotları ayıran, banknotları tasnif eden ve otomatik olarak desteleyen çok az insan müdahalesi gerektiren gelişmiş cihazlar kullanmaktadır. Bazı bankalar ağırlıklı olarak ucuz emek kullanımına dayalı olarak çalışmakta, yalnızca sahte banknotu tespite ve para saymaya yönelik basit cihaz kullanımı ile yetinmektedir.

Şubeler arasında para transferlerinde yüksek güvenlik ekipmanları ile donatılmış ZA'lerden faydalanılmaktadır. ZA'lar taşıdıkları özel donanımlar nedeniyle benzer büyüklükteki ticari araçların iki katına yakın ağırlığa ulaşmakta, yoğun kullanım nedeniyle daha sık bakıma ihtiyaç duymakta, yine buna bağlı olarak faydalı ömürleri benzer ticari araçlara kıyasla düşük olmaktadır.

NYBB'lerde genellikle fazla kalifiye olmayan düşük maliyetli iş gücü istihdamı söz konusu olmaktadır. İnsan kaynaklarını ağırlıklı olarak memur, yetkili, güvenlik görevlisi ve şoför olarak adlandırılan kadrolar oluşturmaktadır.

Bir ZA'da görev yapan personel sayısı bankadan bankaya değişiklik göstermektedir. Bazı bankalar araç ekibini bir güvenlik görevlisi ve bir şoförden terkip ederken, bazı bankalarda güvenlik görevlisi ve şoföre ek olarak araçlarda bir memur, bir de yetkili bulundurmaktadır. Birinci örnekte şoför ve güvenlik görevlisinin araçtan ayrılması mümkün bulunmadığından, araca nakit şube görevlileri tarafından ulaştırılmaktadır. Üç ya da dört kişilik araç ekipleri olduğu durumda ise şube ile araç arasındaki para taşıma işlemi memur tarafından yapılmakta, bu sırada araçtaki nakde, varsa, yetkili nezaret etmektedir.

Araçta çalışan personel dışında NYBB'lerde de sürekli olarak eleman bulundurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Gün içinde ZA'lar tarafından ulaştırılan nakdin sayım ve muhafazasını sağlayan ve birim kasasında sorumlu olan bir yetkili ile ilgili yasal düzenlemeler nedeniyle bulundurulması gereken asgari bir güvenlik görevlisi dışında, birimde oluşan nakit yoğunluğuna bağlı olarak daha fazla sayıda eleman da istihdam edilebilmektedir.

NYBB'ler nakit fazlası ya da ihtiyaçlarının şubelerce kendilerine bir gün öncesinden iletilmesini talep etmektedir. NYBB'ler bu taleplerin kasalarında hazır bulunan nakdin üzerindeki kısmını buldukları mahaldeki TCBB şubeleri ya da TCMB Depo Hesabı bulunan T.C. Ziraat Bankası şubelerinden ertesi sabah teslim alınmak üzere bir gün öncesinden talep etmektedir. NYBB'ler bağlı şubelerin talepleri doğrultusunda ZA'ların ertesi günkü seyir güzergâhlarını ve araçlarda yer alacak başlangıç nakitlerini planlamaktadır. Bunun dışında gün içinde oluşan acil talepler ise birimin talep anındaki imkânları çerçevesinde karşılanmaya çalışılmaktadır.

Gün içerisinde şubelerden toplanan nakitler belirlenen saat sınırı öncesinde TCMB'ye iletilmesi halinde aynı günden başlayarak faiz kazancı sağlanmaktadır. Hâlihazırda T.C. Ziraat Bankası nezdinde yer alan Depo Hesapları için saat sınırı TCMB şubelerine daha erken bir saat olarak belirlenmiştir.

NYBB'lerden alınan hizmetlerin maliyeti yönetim muhasebesi sistemleri vasıtasıyla şubelere yansıtılmaktadır. Bu maliyetin görece yüksek olması nedeniyle, şubeler ihtiyaçlarını öncelikli olarak ticari faaliyetleri nedeniyle gün içinde fazlaca nakdi tahsilât yapan Petrol İstasyonu, Süpermarket, Kuyumcu vb. gibi müşterilerinden mevduat karşılığı nakit temin ederek gidermeye gayret göstermektedir.

1.3 NAKİT YÖNETİMİ YAPILANMASININ VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Tez çalışmamız bankaların mevcut nakit yönetim sistemlerinin minimum maliyet sağlayacak yapılanmalar olmayabileceği şüphesinden hareket etmekte ve bu yapının en iyiye ulaştırılması için kullanılacak yöntemlere ilişkin önerilerde bulunmaktadır. Bankacılık sektörüne ilişkin bu belirlemeyi destekleyecek unsurlara üç ayrı başlık altında yer verilmiştir.

1.3.1 Ekonomik Konjonktür Etkisi

Siyasi çalkantılar ve buna bağlı olarak sürdürülen popülist politikalar, 90'lı yılları iktisadi dengeler bakımından da Türkiye'nin en sorunlu dönemlerinden biri haline getirmiştir. Merkezi yönetimin yüksek bütçe açıkları ve buna bağlı olarak ortaya

çıkan yüksek borçlanma ihtiyacı, dışlama (Crowding-out) etkisinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kamu borcunun bir kısmının parasal genişleme yoluyla yaratılan enflasyon ile karşılanması yönteminin benimsenmesi ile siyasi ve ekonomik dengesizliklerin getirdiği risk algısı artışı, faiz oranlarının tüm bu dönem boyunca çok yüksek seviyelerde seyretmesine yol açmıştır.

Yüksek faizler atıl para bulundurmanın maliyetini artırmış, bankalar da ilgili dönemde doğal olarak şube kasalarındaki nakitleri yakından izlemiş, bu maliyeti minimize etme amacıyla, şube kasalarında bulundurulan nakdi en aza indirmeye yönelik olarak büyük nakit yönetim yapılanmaları oluşturmuşlardır.

2001 krizi sonrasında uygulanan sıkı istikrar tedbirleri kapsamında oluşturulan yüksek faiz dışı fazla hedeflemeleri kamu borçlanma ihtiyacını azaltmıştır. Enflasyon hedeflemesi ile birlikte uygulanan sıkı para politikası yanında, tek parti iktidarı ile ortaya çıkan olumlu siyasi iklim neticesinde enflasyon oranları ve risk primleri düşmüştür. Tüm bu gelişmeler sonucunda bir aya kadar ortalama mevduat faiz oranları 1991 – 2001 yılları arasında % 53 – 84 bandında seyretmişken, 2002 yılından başlayarak kademeli olarak düşmüş 2010 yılı itibariyle % 8 – 10 bandına yerleşmiştir⁶.

Faiz oranlarında yaşanan büyük düşüş kasalarda atıl tutulan nakdin maliyetinde de önemli düşümlere neden olmuştur. Nakit transfer işlemlerinden sağlanan getirilerin düşmesine bağlı olarak, nakit transfer işlemlerine ayrılan yatırım ve kaynakların hacminde bir azalma olması beklenmelidir.

80’li yıllarda da görece yüksek enflasyon ve nominal faiz oranlarının mevcut bulunduğu dikkate alındığında, yaklaşık 20 yıllık bir süre devam etmiş olan büyük nakit yönetim yapılanmalarının uzun yıllara sâri, kurum içinde kökleşmiş, rasyonel değerlendirmeler yanında kurum kültürü, alışkanlıkları ve geleneklerinin etkisi altında bulunan, kolaylıkla değiştirilemeyecek yapılar haline bürünmesi kuvvetle muhtemeldir. Nedenlerinden biri bu olarak, bankaların 2000’li yıllarda belirtilen faaliyetlere ayırdıkları kaynaklarda önemli indirimlere gitmedikleri bilinmektedir. Bankacılık

⁶ Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, **Ağırlıklı Ortalama TL Mevduat Faiz Oranları**, Ankara, 2010, s.1

sektörünün nakit transferlerindeki mevcut kaynak kullanımlarının optimal düzeyde olup olmadığı bir soru işaretidir.

Faiz oranlarındaki düşüşten kaynaklanan bu etkinin matematiksel ve grafiksel olarak ifadesine takip eden bölümde yer verilmiştir. Bir bankanın nakit yönetimine ilişkin toplam maliyeti ağırlıklı olarak iki kalemden oluşmaktadır. Bunlardan ilki şubelerin nakit ihtiyaç ya da fazlasını karşılamaya yönelik olarak oluşturulan NYS'nin maliyetidir. Belirtilen maliyet kabaca aşağıdaki şekilde modellenenir:

H : Nakit yönetimde kullanılan kaynak hacmi (araç, teçhizat, personel vb.)

p : Nakit yönetimine ayrılan kaynağa ilişkin birim maliyet

K(H) : Nakit yönetim sisteminin maliyeti

$$K(H) = p \times H \quad (1.1)$$

Kullanılan kaynaklar personel, araç, bina vb. unsurlardan oluşmaktadır. Örneğin, buradaki analizde kaynak olarak NYS'de kullanılan ZA ve personeli olarak düşünülebilecektir.

Şube kasalarında bulunacak nakit ortalaması da nakit yönetimi hizmetlerine tahsis edilen ZA'ların bir fonksiyonu olacaktır. Kullanılan ZA sayısı artırıldıkça doğal olarak şube kasa ortalamaları azalır. Bu amaçla tahsis edilen ilk ZA'lar kasa ortalamalarında yüksek oranda düşüşler sağlarken, ilave edilen her yeni araç kasa ortalamalarında daha az düşüşe neden olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, nakit yönetimi hizmetlerine ayrılan her bir ZA'nın marjinal katkısı, araç sayısı arttıkça düşmektedir.

Bankanın nakit yönetimine ilişkin ikinci maliyet kalemi ise, kasalarda atıl tutulan nakit nedeniyle oluşan fırsat maliyetidir.

B(H) : Kasada tutulan nakdin ortalaması

i : Faiz oranı

F(H): Kasada tutulan atıl nakdin fırsat maliyeti

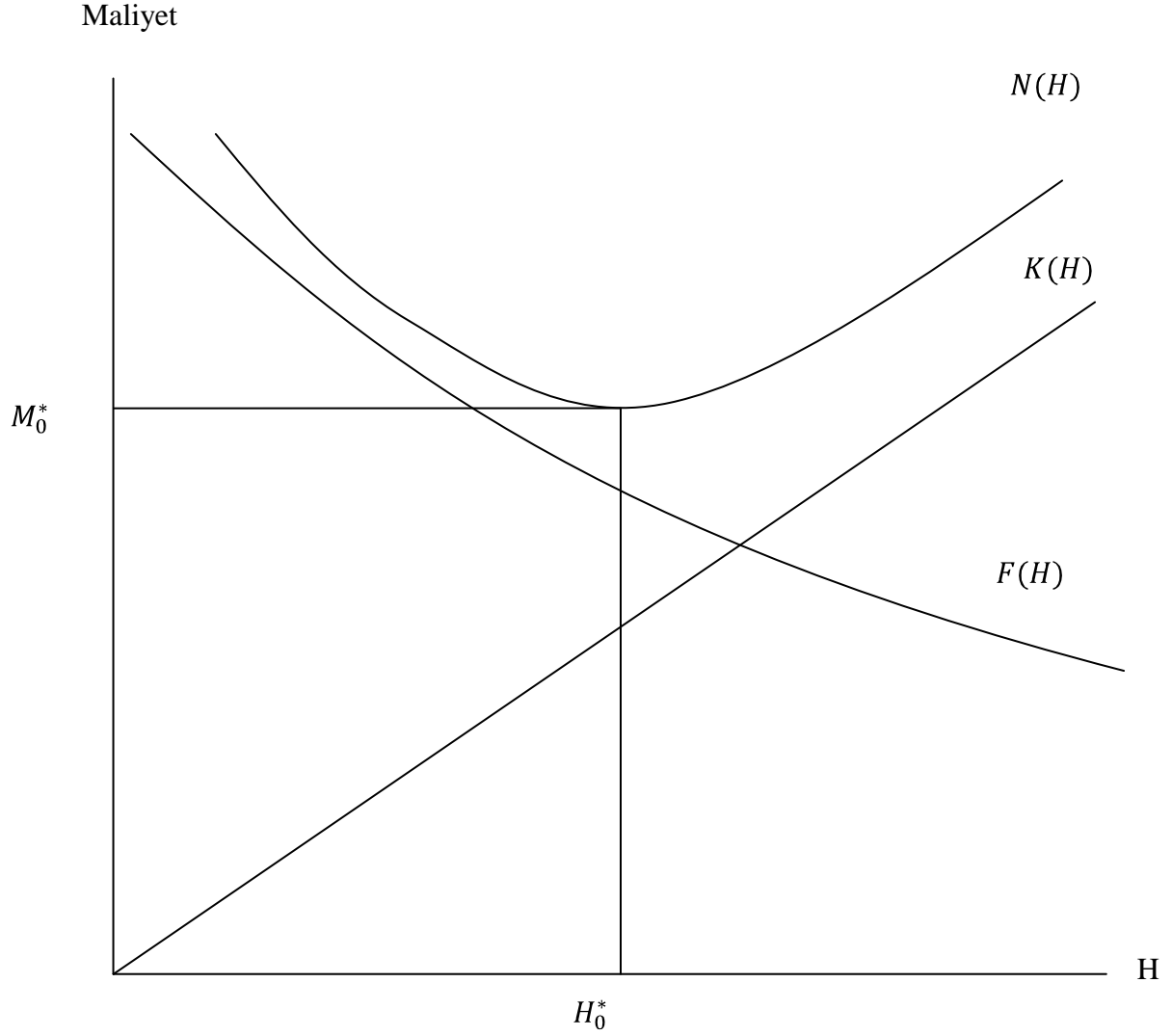
$$F(H) = B(H) \times i \quad (1.2)$$

Toplam nakit yönetimi maliyeti $N(H)$ ise (1.1) ve (1.2)'nin toplamı olacaktır:

$$N(H) = K(H) + F(H) \quad (1.3)$$

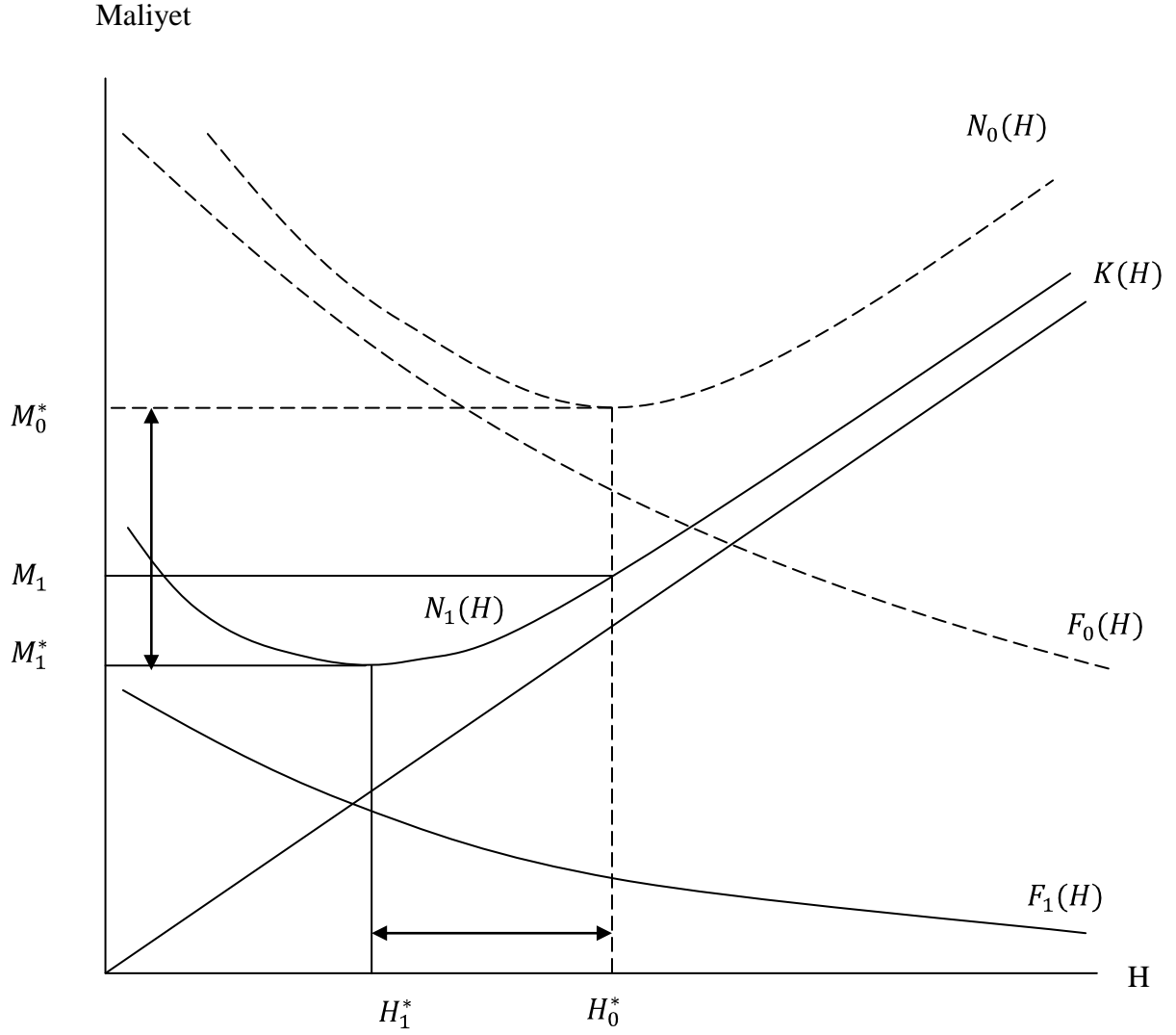
$$N(H) = p \times H + B(H) \times i \quad (1.4)$$

Nakit yönetimine ilişkin maliyetlerin grafiksek gösterimi Grafik 1'de yer almaktadır. Kaynak maliyetini ifade eden $K(H)$ birim kaynak (zırlı araç) maliyeti eğimine (p) sahip doğrusal bir fonksiyondur. Kasada tutulan atıl nakdin fırsat maliyetini temsil eden $F(H)$ ise ZA sayısı arttıkça azalan bir eğri olmaktadır. Önceden de ifade edildiği üzere nakit yönetimi hizmetlerine özgülünen ZA sayısındaki artışın sağladığı marjinal katkının giderek azalması beklenmektedir. Diğer bir ifadeyle, temin edilen her ilave ZA, öncekilere göre şubedeki atıl nakdin azalmasında daha az etkili olacaktır. Bu nedenle, fırsat maliyetinin türevi 0'dan küçüktür.



Grafik 1: NYS Maliyetleri

Faiz oranının düştüğü durumda optimal nakit yönetimi maliyetinin ne şekilde etkileneceğini irdeleyelim. Bu durum kasada tutulan atıl nakdin maliyetinde ($F(H)$) azalmaya neden olacaktır. Bu azalma oransal olarak faiz maliyetindeki düşüş ile aynı düzeyde olmaktadır. Sonuç olarak faiz oranlarındaki düşüşe paralel olarak $F(H)$ eğrisi aşağı doğru kaymaktadır (Grafik 2). Bu durumda optimal kaynak (zırlı araç) hacmi H_0^* 'dan H_1^* 'e gerilemektedir. Aynı şekilde toplam maliyette de $(M_0^* - M_1^*)$ kadar azalmaktadır.



Grafik 2: Faiz Oranı Değişikliğinin Nakit Yönetim Maliyetlerine Etkisi

Burada birkaç hususa dikkat çekmek faydalı olacaktır. ZA sayısının H_0^* 'da tutulması halinde maliyet M_1 olarak gerçekleşecek ve dolayısıyla $(M_1 - M_1^*)$ kadar fazla maliyete maruz kalınacaktır. ZA sayısının H_1^* 'e indirilmesi, şubelerde tutulan nakit miktarının da artmasına sebebiyet verecektir. Ancak, bu artışın beraberinde getireceği ilave fırsat maliyeti, serbest bırakılan kaynaktan (zırlı araç) sağlanan maliyet avantajına kıyasla daha düşük olmaktadır.

1.3.2 Bankacılık Sektörü Şube Sayısında Meydana Gelen Artış

TBS’de 2000’li yıllarla birlikte çok büyük değişiklikler meydana gelmiş olup, bu değişikliklerin NYS yapılanmalarını en fazla etkileyen boyutunun şube sayısındaki yüksek artış olduğu düşünülmektedir. 2003 yılında sektördeki toplam şube sayısı 5.966 iken⁷ 7 yılda %53 oranında bir artış gerçekleşmiş ve 2010 yılı Haziran ayı itibariyle toplam şube sayısı 9.149’a ulaşmıştır⁸.

İleriki bölümlerde daha detaylı olarak değinileceği üzere, bankalar NYBB adetlerini şube ağı üzerinde en düşük maliyetle hizmet verebilecek şekilde belirlemekte ve bunları bağlı şubelerine en düşük maliyetle hizmet verebileceği noktalara yerleştirmeye gayret göstermektedir. Bağlı şubelerin yerinin değişmesi, yeni şubeler açılması mevcut NYBB konumunu ideal olmaktan uzaklaştırabilmekte, şube sayısının artması NYBB adedinin artmasını da gerektirebilmektedir. Şube sayısında 2003 – 2010 yılları arasında meydana gelen %53 oranındaki artış, optimal sayıdaki NYBB’lerin adedi ve bunların optimal konumlarında radikal değişimleri beraberinde getirebilecektir.

1.3.3 Diğer Etmenler

Nakit Yönetim Yapılanmaları çok değişik faktörlerden etkilenebilmektedir. Ülke karayolu ağının genişletilmesi, kalitesinin artırılması, bölünmüş yol miktarında sağlanan artışlar, şubelere hizmet veren ZA’ların hizmet sürelerinde de iyileşmeler sağlamaktadır. Örneğin, 2003 yılında bölünmüş yol miktarı 3.859 km iken, 2009 yılı sonu itibariyle bölünmüş yol miktarı 17.474 km’ye ulaşmıştır⁹. Böylelikle bir aracın daha fazla şubeye hizmet vermesi mümkün olmuştur. Daha kısa sürelerde hizmet sağlanabilmesi ve hizmet sürelerindeki değişkenliğin azalması hususları, şubelerde ihtiyat amacıyla daha az nakit tutulmasına imkân sağlamaktadır.

ZA olarak kullanılan ticari araçların kalite ve dayanıklılığında meydana gelen artışlar, araç bakım maliyetlerini düşürücü etki yapacaktır. Belirtilen gelişmelerin

⁷ Türkiye Bankalar Birliği, **Banka, Şube ve Personel Bilgileri**, İstanbul, 2003, s.i.

⁸ Türkiye Bankalar Birliği, **Banka, Şube ve Personel Bilgileri**, İstanbul, 2010, s.i.

⁹ Karayolları Genel Müdürlüğü, **2010 Yılı Performans Programı**, Ankara, 2010, s.20.

bankanın şube ağı üzerinde bulunması gereken optimal NYBB sayısı, ZA sayısı, personel sayısı gibi büyüklüklerin azalmasına olumlu katkıda bulunması beklenmelidir.

Yine teknolojide meydana gelen gelişmelerle birlikte Global Positioning System (GPS) cihazlarının ZA'lara yerleştirilmesi, Coğrafik Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanılması ile filo takibinin merkezi olarak yapılması, araçlara ilişkin teknik bilgilerin eşanlı olarak izlenmesini mümkün kılmıştır. Bu sistemler bir yandan araç filosunun eş zamanlı olarak yönetilmesi ve yönlendirilmesi, beklenmedik olaylar karşısında araç rotalarının anlık olarak değiştirilebilmesi gibi imkânlar sağlarken, diğer yandan daha büyük nakit yönetim organizasyonlarının oluşturulması ve yönetilmesini olanaklı kılmıştır.

1.4 NAKİT YÖNETİM SİSTEMİNDE İYİLEŞTİRİLECEK FAKTÖRLER

Bir bankada mevcut NYS'nin optimal olarak yapılandırılmasında dikkate alınması gereken temel faktörlere aşağıda yer verilmiş olup, çalışmanın sonraki bölümlerinde bu sorulara yanıt aranacaktır:

1.4.1 Ağ Üzerinde Faaliyet Gösterecek NYBB Sayısı

Nakit Yönetim Yapılanmaları NYBB'ler aracılığı ile şubelere hizmet vermektedir. Her bir NYBB personel, kira, ısıtma, aydınlatma, su ve personel gibi sabit nitelikte işletme giderlerine neden olmaktadır.

NYBB'lerin sayısı arttıkça, şubelere olan ortalama mesafe kısalmaktadır. Bu nedenle de taşıma maliyetleri azalmakta, şubelere verilen hizmet seviyeleri iyileşmektedir. Hizmet seviyelerinin iyileşmesi şubelerde ortalamada daha az nakit ile faaliyet gösterilebilmesini olanaklı kılmaktadır.

NYBB sayısı yukarıda belirtilen etkilerden kaynaklanan gelir ve gider farkını maksimum kılacak şekilde belirlenmelidir.

1.4.2 NYBB'lerin Şube Ağı Üzerindeki Konumları

NYBB'lerin ağı üzerinde konumlandırılması önem arz etmektedir. Her şube nakit hizmeti desteğine ihtiyaç duymaktadır. Ancak, bir kısım şubelerin nakit işlem hacmi diğerlerine göre daha yüksektir. NYBB'lerin bu şubelere daha yakın yerleşmelerde faaliyet göstermesi sağlanmalıdır. Ancak, düşük nakit hacimli şubelere olan uzaklığın fazlaca artması bu şubelerde tutulan nakit miktarının çok fazla artmasına, nakit ihtiyacının süresi içinde karşılanamaması halinde müşteri memnuniyetinin düşmesine neden olabilecektir. NYBB'lerin konumlandırılmasında denge unsuru gözetilmelidir.

1.4.3 Şubelerin NYBB'ler Arasında Paylaşımı

Çalışmamızda her bir şubenin yalnızca bir NYBB'den hizmet aldığı varsayılmıştır. Şubenin hizmet aldığı NYBB'nin belirlenmesinde şubenin bölge birimine olan uzaklığı, NYBB'nin hizmet verebilme kapasitesinin bulunup bulunmadığı, şubenin mevkinin NYBB'ye bağlı aracın takip ettiği rotaya uygun olup olmadığı gibi faktörler etkili olmaktadır. Örneğin, NYBB'ye bağlı olarak çalışan tek bir araç bulunmakta ise ve mevcut rotanın izlenmesi mesaiye yakın bir süre almakta ise, rota süresinin günlük çalışma süresini aşması nedeniyle bu rotaya ilave şube eklenmesi mümkün bulunmayacaktır. Böyle bir durumda bir şube kendisine en yakın olan NYBB'den hizmet almayabilecektir.

1.4.4 NYBB'lerde Hizmet Verecek ZA Sayısı

NYBB'ler kendilerine bağlı şubelere ZA'lar vasıtasıyla hizmet vermektedir. Her bir ZA'nın motorlu taşıtlar vergisi, zorunlu trafik ve kasko sigortası gibi sabit nitelikli maliyetleri, yakıt, bakım, trafik cezaları gibi değişken nitelikli maliyetleri bulunmaktadır. ZA sayısı arttıkça sabit nitelikli maliyetler artış göstermekte, kat edilen toplam yol azaldığı için değişken nitelikli maliyetler azalmaktadır.

Öte yandan her bir araca ait ana rota uzunluğu günlük mesai süresinden uzun olmamalıdır. Bu sebeplerle de ZA sayısını fazlaca azaltma olanağı bulunmamaktadır.

1.4.5 ZA'ların İzleyeceği Rota

ZA'lar NYBB'lere bağlı şubelerin ihtiyaçlarına bağlı olarak belirli rotalar üzerinden şubeleri ziyaret etmektedir. İzlenen belirli bir ana rota bulunmakla birlikte, şubelerin taleplerine bağlı olarak rota günden güne değişebilmektedir. İzlenen rotanın belirlenmesinde minimum maliyetle maksimum sayıda şubeye hizmet verilmesi hedeflenmelidir.

Araçta çalışan personel mesai kısıtları dâhilinde hizmet vermektedir. Ayrıca belirli bir sürenin üzerinde sürekli olarak araç kullanılması trafik düzenlemeleri gereği yasaklanmıştır. Bu bakımdan izlenen rotanın süre olarak uzunluğu mesai saatlerini aşmamalıdır.

1.4.6 Şubelerde İzlenecek Kasa Yönetimi Politikaları

Her bir şubenin kasa yönetim politikası bağlı olduğu NYBB'ye olan uzaklığı, kendisine hizmet verecek ZA'nın izlediği rota üzerindeki sırası gibi etmenlere sıkı sıkıya bağlıdır.

Bir uçta şubenin NYBB ile aynı binada faaliyet göstermesi yer almaktadır. Bu durumda şube nakit ihtiyacını dilediği zaman çok düşük maliyetlerle karşılayabilecektir. Böylelikle şube çok düşük kasa ortalamalarıyla faaliyet göstermeyi tercih edecektir.

Diğer uçta şubenin NYBB'ye çok uzak konumlandırılması ihtimali bulunmaktadır. Bu durumda şubenin nakit talebinin karşılanması çok uzun zaman alacağından, müşteri memnuniyetinin ve banka itibarının gözetilmesi ihtiyaçları nedeniyle şube kasasında fazlaca ihtiyat nakdi bırakmayı tercih edecektir. Öte yandan, nakit transfer maliyeti çok yüksek olduğundan, kasadaki atıl nakit belli bir tutara ulaşmadan transfer talep edilmesi ekonomik olmayacaktır. Zira transfer edilen nakit üzerinden sağlanan faiz kazancı transfer maliyetinin altında kalacaktır.

Bu cümleden olarak, her bir şube için NYBB'ye olan uzaklığı ve ZA rotası üzerindeki konumu dikkate alınarak asgari şu dört hususun belirlenmesi ihtiyacı bulunmaktadır:

- Şube kasasındaki nakit hangi tutara indiğinde nakit talebinde bulunmalıdır?
- Nakit talep edildiği halde talebin tutarı ne olmalıdır?
- Şube kasasındaki nakit hangi tutara ulaştığında şube nakit transfer talebinde bulunmalıdır?
- Nakit transfer talebinde bulunulduğu halde devredilecek nakdin büyüklüğü ne olmalıdır?

Bu dört unsurun belirlenmesi bu noktadan sonra Kasa Yönetimi Politikası (KYP) olarak adlandırılacaktır.

Yapılan analizlerde bankanın şube ağı ile nakit yönetimine ilişkin süreç ve görevler veri olarak alınmıştır. Diğer bir ifade ile bu hususların baştan banka tarafından belirlendiği ve optimum yapılanma arayışına konu edilmeyeceği varsayılmaktadır.

2 NAKİT YÖNETİMİNDE KULLANILABİLECEK MODELLER

Bu bölümde önceki kısımda yer verilen sorunlara ilişkin olarak literatürde yer alan standart modeller, bu modellerin zorlukları ve çözüm yöntemleri tartışılacaktır. Önceki bölümde yer alan anlatımdan da çıkarsama yapılabileceği üzere sorunların her biri bir diğeri ile ilişkilidir. Öyle ki, her birinin çözümü bir diğeri etkilemektedir. Örneğin, şubelerin NYBB'ye olan uzaklığı hangi asgari ve azami kasa limitleri belirlemeleri gerektiğini, dolayısıyla hangi sıklıkla nakit transfer talebi yapacaklarını etkilemektedir. Diğer taraftan şubelerin hangi sıklıkla transfer talep ettiği de NYBB'lerin şubelere ne kadar yakın konumlandırılması gerektiği hususunda belirleyici rol oynamaktadır. Bu sebeple her bir parçanın optimum çözümünün bulunması, global olarak optimum çözümün bulunmasını garanti etmemektedir. NYS'yi bütünleşik olarak optimize edebilmek için sistemin tamamını adresleyecek bir model oluşturmak gerekmektedir. Takip eden bölümde vurgulanacağı üzere, belirtilen sorunları kısmi olarak adresleyen modeller dahi zor problemler olarak özetlenebilecek bir sınıfa dâhil problemler olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle de tüm bu sorunların tamamının içeren bütünleşik problem de en az parçaları kadar zor, hatta pratikte çok daha zor bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Problemin bütün olarak çözülmek yerine parçalara ayrılması ve her bir parçanın ayrı irdelenmesi bir sonraki başlık içinde belirtilen gerekçelere dayanmaktadır.

2.1 MATEMATİKSEL MODELLERİN ZORLUK DERECELERİ

Yöneylem araştırması biliminin araştırmacıların yoğun ilgisine mazhar olması Doğrusal Programlama yöntemlerinin geliştirilmesi ile başlamaktadır. Dantzig (1947) tarafından geliştirilen Simplex algoritması ile sürekli değişkenli, doğrusal bir amaç fonksiyonunu haiz ve yine doğrusal kısıtların bulunduğu matematiksel modellerin çözülmesi mümkün olmuştur¹⁰. Simplex yöntemi gerçek hayat uygulamalarını içeren

¹⁰ Aktaran: Ravindra K. Ahuja, Thomas L. Magnanti ve James B. Orlin, **Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications**, 1. Basım, New Jersey: Prentice-Hall, 1993, s.802.

çok büyük modelleri de makul sürelerde çözebilmektedir¹¹. Bu durum sürekli yerine tamsayı içeren ve/veya doğrusal olmayan amaç fonksiyonu ya da kısıt içeren matematiksel modellerin çözümünde de benzer verimli yöntemlerin bulunup bulunmadığı sorusunu gündeme getirmiştir. Tamsayı ve/veya doğrusal olmayan faktörler içeren matematiksel modeller, Doğrusal Programlama modellerine kıyasla bu çalışma kapsamında incelenenleri de kapsayan çok daha geniş bir alanda uygulanabilmektedir.

Gerçek hayatta sıklıkla karşımıza çıkan Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem), Küme Bölümleme Problemi (Set Partitioning Problem), P-Ortanca Problemi (P-Median Problem) gibi problemler Tamsayı Program, Karışık Tamsayı Program olarak modellenabilmektedir¹². Bu ve benzeri problemlerin çözümünde kullanılacak Doğrusal Programlamadakine benzer verimli yöntemler bulmaya yönelik arayışlar yıllarca sürmüş, ancak sonuç alınamamıştır.

Matematiksel Programlama problemlerinin zorluk derecesini belirlemek üzere Hesaplama Karmaşıklığı (Computational Complexity) alanında bir sınıflandırma sistemi oluşturulmuştur¹³. “ \mathcal{P} ” olarak sınıflandırılan problemler kolay çözüm yordamları bulunan problemlerdir^{14, 15}. Kolay çözüm yordamından şu kastedilmektedir. Problemin çözümü için harcanan zaman, problemin büyüklüğünü belirleyen parametrelerin polinom bir fonksiyonu ile sınırlı olmaktadır. Zorluk derecesini gösteren bu fonksiyon “O(-)” işareti içinde ve polinomun en yüksek dereceli üyesi ile gösterilmektedir.

Örneğin, n şehir arasındaki en kısa yolu bulmak üzere Dijkstra tarafından bulunan algoritma $O(n^2)$ zorluk derecesini haizdir¹⁶. Problemin büyüklüğü iki kat arttığında, problemin çözülmesi için harcanacak süre $(2n)^2 = 4n^2$ olmakta, yani 4 kat artmaktadır. Bilinen en kolay Ağ Problemlerinden olan En Kısa Yol Problemi (Shortest

¹¹ George Nemhauser ve Laurence A. Wolsey, **Integer and Combinatorial Optimization**, 1. Basım, New York: John Wiley & Sons, 1988, s.122.

¹² Nemhauser ve Wolsey, s.5-10.

¹³ Harry R. Lewis ve Christos H. Papadimitriou, **Elements of the Theory of Computation**, 1. Basım, New Jersey: Prentice-Hall, 1981, s. 315.

¹⁴ Ahuja, Magnanti ve Orlin, s.792.

¹⁵ Lewis ve Papadimitriou, s.329.

¹⁶ Ahuja, Magnanti ve Orlin, s.793.

Path Problem) bu nedenle \mathcal{P} sınıfına dâhildir. Özel veri yapıları ve yöntemler kullanılarak daha da hızlı bazı yordamlar oluşturulmuştur¹⁷.

Ortalamada ve çoğu zaman çok iyi sonuç veren Simplex algoritmasının, üretilen bazı en kötü senaryolarda \mathcal{P} sınıfına dâhil olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte sonradan oluşturulan Elipsoit ve Projeksiyon Algoritmaları ile Doğrusal Programların \mathcal{P} sınıfına dâhil olduğu ispatlanmıştır¹⁸.

Problemlerin zorluk derecesini belirleyen diğer sınıflarda ise “ \mathcal{NP} -complete” ve “ \mathcal{NP} -hard” problemler yer almaktadır. Bu problemlerin çözümü için harcanan zaman problemin büyüklüğünü belirleyen parametrelerin polinom fonksiyonu olarak ifade edilememektedir. Diğer bir ifadeyle, belirtilen problemlerin çözümü için harcanacak zaman üzerindeki sınırlamalar, henüz ancak problemin büyüklüğünü belirleyen parametrelerin üstel ya da faktöriyel vb. fonksiyonlarıyla gösterilebilmektedir.

“ \mathcal{NP} -complete” ve “ \mathcal{NP} -hard” problemlerin çözümünde kullanılacak akıllı yöntemler henüz bulunamamıştır¹⁹. Henüz ispatlanamamış olmakla birlikte, bilim çevrelerindeki yaygın görüş, böyle yöntemlerin bulunamayacağı şeklindedir²⁰. Akıllı yöntem olmaması şeklindeki ifadenin pratik sonucu bu tip problemlerin çözümünün bulunması için pratikte tüm olası seçeneklerin denenmesinin gerekebileceğidir. Seçenek sayısı problem büyüklüğü arttıkça geometrik olarak artmakta, gerçek hayat ölçeğindeki problemler için çok yüksek rakamlara ulaşmaktadır.

Örnek olarak, n şubenin bağlı olduğu ve tek bir ZA’yla hizmet veren bir NYBB’nin optimal rotasının belirlenmesi problemini ele alalım. Tüm rotaları teker teker belirleyerek en kısa rotayı seçmek pek tabii ki bizi doğru çözüme ulaştıracaktır. Bir şubeden başlayan araç için ikinci şube bakımından $n - 1$ farklı seçenek, üçüncü şube bakımından $n - 2$, $n - k$ sırasındaki bir şube için ise $n - k + 1$ seçenek bulunmaktadır. Böylelikle toplam seçenek sayısı $(n - 1)!$ olmaktadır. 60 şubenin

¹⁷ Ahuja, Magnanti, ve Orlin, s.155-156.

¹⁸ Nemhauser ve Wolsey, s.122.

¹⁹ Nemhauser ve Wolsey, s.127.

²⁰ Lewis ve Papadimitriou, s.312.

bulduğu örnekte toplam seçenek sayısı evrendeki atom sayısından fazladır²¹. Bu nedenle de tüm seçeneklerin denenmesi yöntemi gerçek hayat ölçeğindeki problemler için uygulanabilir bir yöntem olmamaktadır.

Literatürde bu tür problemlerin çözümünde, problemin özel yapılarını belirlemeye ve kullanmaya dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Optimum çözümü bulmaya çalışan bir kısım yöntemler özünde Dallandır ve Sınırla (Branch&Bound) adı verilen bir yöntem bulunmaktadır. Örtülü Enümerasyon (Implicit Enumeration) olarak da adlandırılan bu tip yöntemlerde tüm çözüm seçeneklerinin üretildiği en kötü durumlara rastlanılabilmektedir. Ancak, çoğu durumda optimal çözüm vaat etmeyen seçenekler tespit edilmekte ve elenmektedir.

Optimal bir çözümdense iyi bir çözüm bulmayı hedefleyen, ancak bunu garanti de edemeyen Buluşsal (Heuristic) ve Buluşsal-Ötesi (Meta-Heuristic) olarak adlandırılan yöntemler de bulunmaktadır. Çalışmamızda yararlanılmayan bu yöntemlerden, Buluşsal-Ötesi sınıfına dâhil olan Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Algoritmaları, Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing) türü algoritmalar son dönemde başarılı performanslarıyla göz doldurmuşlardır^{22, 23, 24, 25}.

Takip eden bölümlerde çalışmamızda uyarlanarak kullanılan standart modeller, bunların özellikleri ve zorluk dereceleri tartışılacaktır.

2.2 KAPASİTE SINIRSIZ TESİS YERLEŞİMİ PROBLEMİ

2.2.1 Model Tanımı

KSTYP'de (Uncapacitated Facility Location Problem) bir mal ya da hizmeti üretmekte olan tesislerin, çeşitli talep noktalarından müteşekkil bir ağ üzerinde, üretim

²¹ Observable Universe, 2010, www.wikipedia.org, 12 Aralık 2010

²² Nenad Mladenovic ve Diğerleri, "The P-Median Problem: A Survey of Metaheuristic Approaches", **Journal of Operational Research**, Vol.179, No.3, (June 2007), s.927-939.

²³ G. Ioannou, M. Kritikos, G. Prastacos, "A Greedy Look-Ahead Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", **The Journal of the Operational Research Society**, Vol. 52, No.5, (May 2001), s.523-537.

²⁴ Martin Bischoff ve Kerstin Dachert, "Allocation Search Methods for a Generalized Class of Location-Allocation Problems", **European Journal of Operational Research**, Vol.192, No.3, (February 2009), s.793 - 807.

²⁵ Liong Choong Yeun ve Diğerleri, "Vehicle Routing Problem: Models and Solutions", **Journal of Quality Management and Analysis**, Vol.4, No.1, (October 2008), s.205-218.

ve dağıtım maliyetlerini en düşük kılacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Karar değişkenleri konumlandırılacak tesis sayısı ve bu tesislerin konumlandırılacağı noktalar. Her bir tesisin belirli sabit ve değişken maliyetleri bulunmaktadır. Tesis sayısı artırıldıkça müşterilere olan uzaklıklar azalmakta, dolayısıyla dağıtım maliyetleri de düşmektedir. Buna karşın yeni tesis kurulması ile kurulum ve sabit maliyetler de artmaktadır.

Optimal NYS'nin tasarlanmasında KSTYP aracılığı ile 1.4.1, 1.4.2 ve 1.4.3 numaralı başlıklar altında detaylarına yer verilen:

- Şube ağı üzerinde kaç adet NYBB olması gerektiğinin,
- NYBB'lerin ağ üzerindeki konumlarının ve
- Şubelerin NYBB'ler arasındaki paylaşımının

belirlenebileceği düşünülmektedir.

KSTYP fabrika, lojistik merkezi, dağıtım ağı gibi birbirine karayolu, demiryolu vb. ağlarla bağlanan tesislerin yerleşimlerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan problemlere uygulanabilmektedir. Modelin literatürde "Fabrika Yerleşimi Problemi" adıyla da yoğun bir şekilde çalışıldığı görülmektedir²⁶.

Kapasite sınırı olmamasının anlamı, açık herhangi bir tesisin istendiği kadar müşteriye hizmet verebilecek olmasıdır. Bu durum KSTYP'nin gerçek hayat problemine uyarlanabilmesi imkânını bir miktar sınırlamaktadır. Ancak, ileride görüleceği üzere inceleme konumuzla ilgili oluşturulan modeller bakımından bu herhangi bir soruna neden olmamaktadır. Öte yandan, sınırlamanın olmaması problemin zorluk derecesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Çünkü tesislerde kapasite sınırlaması olmasının en temel sonucu, dağıtım maliyetinin minimize edilmesi saikıyla bir müşterinin kendisine en yakın tesisten malını tedarik edebilecek olmasıdır²⁷. Böylelikle

²⁶ Charles S. Revelle ve Gilbert Laporte, "The Plant Location Problem: New Models and Research Prospects", **Operations Research**, Vol.44, No.6, (November-December 1996), s.864-874.

²⁷ Pitu B. Mirchandani, "The p-Median Problem and Generalizations", Pitu B. Mirchandani ve Richard L. Francis, **Discrete Location Theory** içinde (55-117) Florida : John Wiley & Sons, 1989, s.56-57.

hangi müşterinin hangi tesisten hizmet alması gerektiğiyle ilgili seçeneklerin araştırılması ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.

2.2.2 Matematiksel Model

Problemin matematiksel modeli aşağıda yer almaktadır. Tesislerin yerleştirilebileceği noktaları oluşturan küme $I = \{1, \dots, m\}$ ile müşterilerin bulunduğu konumları oluşturan küme ise $J = \{1, \dots, n\}$ ile temsil edilsin. Model temel olarak iki parametre ve iki karar değişkeni içermektedir.

c_{ij} : i 'de üretilen bir ürünün j 'ye ulaştırılmasının birim maliyeti

f_i : i konumunda tesis açılmasının sabit maliyeti

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & j\text{'deki müşteri } i \text{ konumundaki tesisten hizmet alırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

$y_i = \begin{cases} 1, & i \text{ konumuna bir tesis yerleştirilirse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m f_i y_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

$$\text{s. t.} \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2.2)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.3)$$

$$y_i, x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.4)$$

Parametrelerin anlamı modellenen gerçek hayat probleminin içeriğine bağlı olarak değişebilecektir. Burada c_{ij} parametresi salt bir taşıma maliyeti olarak değerlendirilebileceği gibi üretim ve taşıma maliyetlerini birlikte de içerebilecektir. Bir diğer seçenek ise bu parametrenin üretilen ürünün kâr marjı şeklinde tanımlanmasıdır. Bu durumda kâr maksimizasyonu söz konusu olacağından (2.1) numaralı denklem “*Mak*” olarak, birinci ifadenin işareti de “-” olarak değiştirilecektir. Sabit nitelikli

maliyetleri içeren f_i ise bir tesisin ilk yatırım maliyeti olarak değerlendirilebileceği gibi, mevcut bir tesisin yıllık sabit nitelikli giderleri olarak da düşünülebilecektir.

Modelin amaç fonksiyonunu oluşturan (2.1) numaralı denklemdeki toplam formüllerinin ilki yerleştirilecek tesislerin toplam sabit maliyetini oluşturmaktadır. İkinci kalem ise müşteriye verilen hizmetin toplam maliyetini ifade etmektedir. Bir sonraki denklem olan (2.2) her bir müşterinin tek bir tesisten hizmet alması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (2.3) i tesisinin kapalı olması halinde, j müşterisinin bu tesisten hizmet alamayacağını matematiksel olarak belirtmektedir.

KSTYP *NP-hard*, yani çözülmesi güç problemlerin sınıfındadır²⁸. Bu nedenle verimli bir çözüm algoritması bulunmamaktadır. Bununla birlikte tamsayı değişkenlerinin, sürekli değişkenler olarak kabul edilerek Doğrusal Programlamaya gevşetilmesi durumunda, problemin çözümünde çoğu değişkenin tamsayı olarak çıktığı gözlenmiştir²⁹. Bu nedenle Dallandır ve Sınırla yöntemi nispeten büyük problemlerde de çoğu zaman kısa süre içerisinde optimal çözüme ulaşabilmektedir.

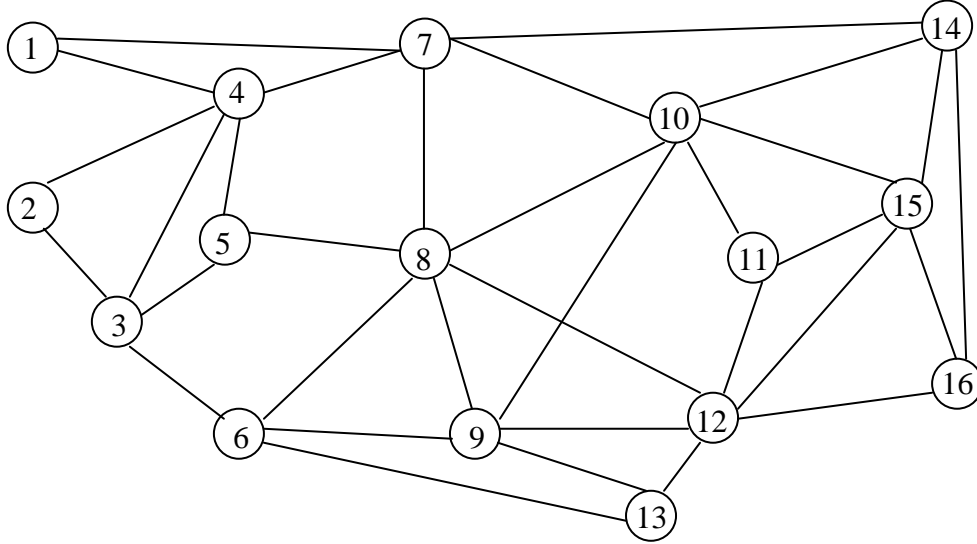
2.2.3 Grafiksel Gösterim

Problemin görsel olarak irdelenebilmesi bakımından ağ yapılanması kavramlarından faydalanılacaktır. Ağ yapılarının köşeleri V , yolları A ile ağın kendisi ise $G(V, A)$ olarak temsil edilmektedir. Köşeler oluşturan V kümesi $\{v_a, v_b, \dots, v_m\}$, yolları oluşturan A kümesi ise içerdiği her bir yolun köşeleri dikkate alınarak (v_i, v_j) ikililerinden oluşan bir küme olarak gösterilmektedir. 16 köşe ve 31 yoldan oluşan basit bir ağa Şekil 1'de yer verilmiştir. Köşeler müşterilerin bulunduğu ve tesislerin yerleştirileceği merkezleri, yollar ise merkezler arasındaki yolları temsil etmektedir. Her ne kadar aşağıdaki gösterimde yolların düz çizgi halinde gösterilmesi Öklid mesafe ölçütünün kullanıldığı izlenimi verse de problemde böyle bir varsayım

²⁸ Gerard Cornuejols, George L. Nemhauser ve Laurence A. Wolsey, "The Uncapacitated Facility Location Problem", Pitu B. Mirchandani ve Richard L. Francis, **Discrete Location Theory** içinde (119-171) Florida : John Wiley & Sons, 1989, s.127.

²⁹ C. S. ReVelle ve H. A. Eiselt, "Location Analysis a Synthesis and Survey", **European Journal of Operational Research**, Vol.165, No.1, (January 2005), s.8.

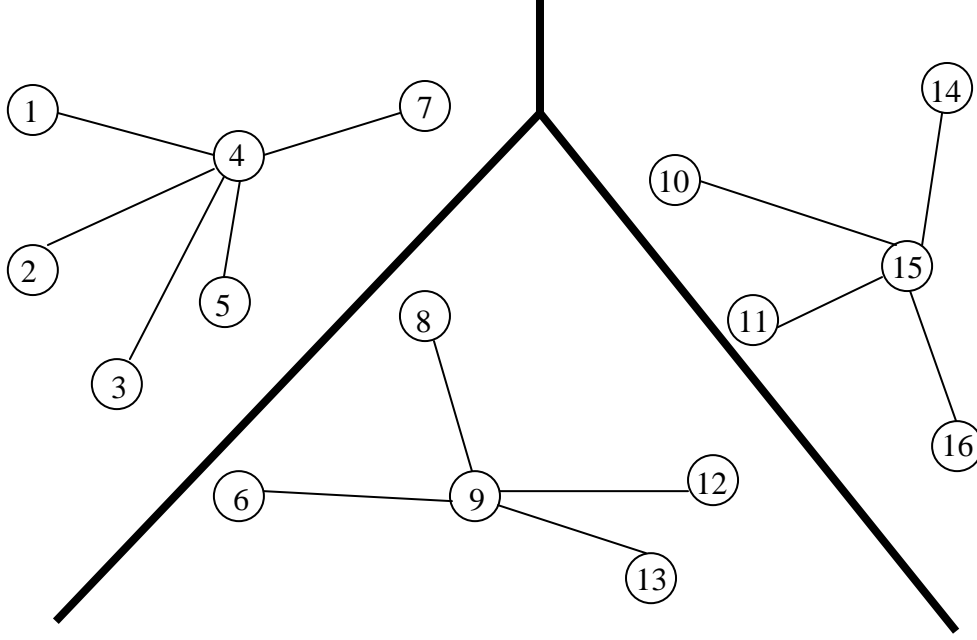
bulunmamaktadır. Diğer bir ifadeyle, (v_i, v_j) yolunun şekli dikdörtgensel, eğri şeklinde ya da daha farklı bir şekilde olabilecektir.



Şekil 1: Ağ Yapılanması - KTSYP

KSTYP probleminin yukarıdaki ağ yapılanmasına uygulanması halinde optimal çözüm aşağıdaki şekilde olabilecektir. Toplamda üç tesis v_4, v_9 ve v_{15} noktalarına yerleştirilmiştir. v_4 noktasına yerleştirilen tesis v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 ve v_7 noktalarında yer alan müşterilere, v_9 noktasına yerleştirilen tesis v_6, v_8, v_9, v_{12} ve v_{13} noktasındaki müşterilere, v_{15} noktasındaki tesis ise $v_{10}, v_{11}, v_{14}, v_{15}$ ve v_{16} noktasındaki müşterilere hizmet verecektir. Dikkat edilirse çözümde ağ tesis sayısı kadar bağımsız parçaya bölünmüştür.

Ağın bağımsız parçalara ayrılmasının şöyle bir faydası olmaktadır. Sonraki bölümde her bir NYBB'ye bağlı araçların takip edeceği rotalar belirlenecektir. Bu problemin karmaşıklığı problem büyüklüğüne bağlı olarak geometrik artış göstermektedir. Küçük ağlar üzerinde çalışmak bu problemi mevcut teknoloji ve metotlarla çözülebilecek sınırlar içinde tutmaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 2: Ağ Yapılanmasında KSTYP Probleminin Çözümü

2.2.4 KSTYP ile ilgili Literatür

Kapasite Sınırsız Tesis Yerleşim Problemi bilim çevrelerinde yoğun bir şekilde ilgi görmüştür. Çalışmamızda problemin ortaya çıkması ve gelişmesinde mihenk taşı niteliğindeki araştırmalar, konu ile ilgili olarak gerçekleştirilen önemli literatür taraması çalışmaları, problemin ilgi çekici gerçek hayat uygulamaları ile son dönemde yapılan araştırmalar değerlendirilmiştir. Bu makalelerin önemli bir bölümü probleme çözüm teknikleri geliştirilmesine yönelik olarak hazırlanmıştır. Çalışmaların geriye kalan bölümünde ise probleme ilave bazı nitelikler getirilerek problemin uygulanabileceği gerçek hayat problemleri tartışılmıştır.

2.2.4.1 Tarihsel Gelişim

KSTYP ile ilgili ilk çalışmalar 20. Yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştır. Problemi net olarak ifade eden ilk çalışma Weber tarafından gerçekleştirilmiştir³⁰. Weber bu çalışmasında tek bir tesisin yerini müşterilerin tesise olan toplam mesafesini en aza indirgeyecek şekilde belirlenmesini amaçlamıştır. Bu çalışmadan sonra birbiriyle bağlantılı olmayan çeşitli çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, gerçek hayat uygulamalarında kullanılabilir türden modellerin üretilmesi 1960'lı yılların ortalarını bulmuştur^{31, 32}.

Bir ağ üzerinde birden fazla tesisi toplam mesafenin minimize edilmesi amacıyla yerleştirmeye yönelik ilk çalışma Hakimi (1964) tarafından gerçekleştirilmiştir³³. Bu çalışma KSTYP'nin özel bir şekli olan belli sayıdaki tesisin optimal yerleşimini hedefleyen, p-Ortanca modelini konu almıştır. Belirtilen makale sonrasında yerleşim problemlerine olan ilgi de katlanarak artmıştır. p-Ortanca modelinde p adet tesisin ağ üzerinde optimal yerleşimi hedeflenmektedir. Hakimi çalışmasında optimal çözümün zorunlu olarak köşeler üzerinde olmayabileceği ihtimali üzerinde de durmuş ve en az bir çözümün köşeler üzerinde olacağını ispatlamıştır³⁴.

2.2.4.2 KSTYP'ye İlişkin Literatür Çalışmaları

Francis ve diğerleri (1983) yerleşim problemlerini yer aldığı mekân bakımından incelemiş, bu kavramı uzay ve ağ olarak iki bölüme ayırmışlardır³⁵. Uzay ve ağ mekânları da kendi içinde sürekli ve ayrık olarak iki ayrı bölüme ayrılmaktadır. Mesafe metriği bakımından incelendiğinde ise mesafe fonksiyonunun birinci üssü olan düz çizgi (recti-linear), ikinci üssü olan Öklid ve sonsuz üssü olan Chebychev metrikleri üzerinde durulmuştur. Bu çalışma sürekli yerleşim problemlerine ilişkin sonuçları da vermesi bakımından önemli bir literatür çalışması niteliğindedir.

³⁰ Aktaran: Margaret L. Brandeau ve Samuel S. Chiu, "An Overview of Representative Problems in Location Research", **Management Science**, 1989, Vol.35, No.6, (June 1989), s.645.

³¹ ReVelle ve Laporte, s.864.

³² Brandeau ve Chiu, s.645.

³³ S. L. Hakimi, "Optimal Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Median Graph", **Operations Research**, Vol.12, No.3, (May-June 1964), s.450-459.

³⁴ Hakimi, s.456.

³⁵ Richard L. Francis, F. Leon McGinnis ve John A. White, "Locational Analysis", **European Journal of Operational Research**, Vol.12, No.3, (March 1983), s. 220-221.

Brandeau ve Chiu (1989) çalışmalarında yerleşim araştırması ile ilgili 50'nin üzerinde makaleyi incelemiştir³⁶. Çalışmada bütün literatüre yer vermek yerine temel yerleşim problemleri ile bu problemleri açıklayan ve birbiriyle ilişkisini veren ana makaleler tartışılmıştır. Bu nedenle makale yerleşim problemi ihtisas alanının öğrenilmesi bakımından önemli bir kaynak niteliğindedir.

ReVelle ve Laporte (1996) literatür araştırması niteliğindeki makalelerinde yalnızca tesis yerleşimi problemlerini inceleme konusu yapmışlardır³⁷. Çalışmada mevcut problemlere ilişkin özet sonuçlar verilmiş, yeni araştırmalara ışık tutacak yeni ve farklı amaç fonksiyonları, çoklu ürünler ve çoklu makineler ile uzaysal etkileşimlere ilişkin değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Yerleşim problemleri üzerine çalışma tarihimiz itibariyle en yeni literatür araştırmalarından niteliğindeki çalışmalarında, ReVelle ve Eiselt (2005) yerleşim problemlerini karakterize eden dört özellikten bahsetmektedir³⁸. Bunlar, belli noktalara ya da rotalara yerleştirilmiş müşteriler, yerleştirilecek tesisler, müşteri ya da tesislerin yerleştirileceği alanlar ve müşterilerle tesisler arasındaki mesafeyi belirleyen metrikler olarak belirlenmiştir.

Konuyla ilgili bir diğer sınıflandırma ve literatür çalışması Melo ve diğerleri (2009) tarafından hazırlanmıştır³⁹. Çalışmada KSTYP'nin tedarik zinciri tasarımı içindeki önemine değinilmiş ve bu kapsamdaki kullanım alanları, hangi eksiklikleri içerdiği, bu eksikliklerin tamamlanmasına yönelik hangi çalışmaların yapıldığı, tedarik zinciri tasarımı ile ilgili diğer problemler ile bağlantıları üzerinde durulmuştur.

Yerleşim problemleri ile ilgili faydalanabilecek önemli kuramsal kitaplar arasında Drezner ve Hamacher (2002) tarafından kaleme alınan Facility Location: Applications and Theory⁴⁰, Mirchandani ve Francis (1989) tarafından editörlüğü yapılan

³⁶ Brandeau ve Chiu, s.645-674.

³⁷ ReVelle ve Laporte, s.864-874.

³⁸ ReVelle ve Eiselt, s.1.

³⁹ M. T. Melo, S. Nickel ve F. Saldanha-da-Gama, "Facility Location and Supply Change Management - A Review", **European Journal of Operational Research**, Vol.196, No.2, (July 2009), s.401 - 412.

⁴⁰ Z. Drezner ve H. Hamacher, **Facility Location: Applications and Theory**, 2. Basım, Berlin: Springer, 2002.

Discrete Location Theory⁴¹ yer almaktadır. Öte yandan yerleşim modellerine ayrılmış süreli yayın ciltlerine de 2002 yılında Computers and Operations Research⁴² (2002) ve yine 2002 yılında Annals of Operations Research⁴³ (2002) Dergilerinde yer verilmiştir.

2.2.4.3 Mesafe Ölçütlerinin Tartışıldığı Literatür

Yerleşim problemlerinde kullanılan mesafe ölçütü kritik önemi haizdir. Mesafe ölçütlerinin norm fonksiyonları kullanılarak tahmin edilmesi, bu fonksiyonların birbirlerine olan üstünlükleri Fernandez ve diğerleri (2002) tarafından yapılan çalışmada tartışılmıştır⁴⁴. Ölçütler gerçek veri üzerinde değerlendirilmiş ve birbirlerine mutlak üstünlüklerinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte gerçek hayatı daha fazla temsil etmesi bakımından Öklid Ölçütünün çalışma konumuzda ele alınan problem türlerinde daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Bir diğer dikkat çeken çalışmada, Shouu-Jiun Wang ve diğerleri (2002) iki boyutlu Öklid Uzayı varsayımı altında fabrika yerleşiminin belirlendiği bir tesis yerleşim problemini incelemiştir⁴⁵. Çalışmada talep dikdörtgen görünümlü kullanıcı siteleri tarafından oluşturulmakta, bir arz tesisi tarafından karşılanmaktadır. Problemden girdi ve çıktı noktalarının yeri de belirlenmektedir. Tesis ve talep noktaları aynı zamanda taşımada bir engel de oluşturmaktadır. Mesafe düz çizgi mesafe fonksiyonu dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çalışmada giderek karmaşıklaşan şekilde çeşitli problemler formüle edilmiştir. Bu problemlerin çözümü için \mathcal{P} sınıfına dâhil algoritmalar önerilmiştir. Zaten problemlerin de Doğrusal Program olarak formüle edilebildikleri belirtilmektedir. Çalışmada önerilen yöntemin çok sayıda şubenin birbirine yakın bir şekilde konumlandırıldığı, rekabetçi piyasalarda şube ve NYBB konumlandırılmasında kullanılabileceği düşünülmektedir.

⁴¹ Pitu B. Mirchandani ve Richard L. Francis (Ed.), **Discrete Location Theory**, 1. Basım, Florida : John Wiley & Sons, 1989.

⁴² **Computers & Operations Research**, "Special Issue in Location Analysis", Vol.29, No.1, (January 2002), s.1-102.

⁴³ **Annals of Operations Research**, "Location Problems: Special Edition", Vol.110, No.2, (2002), s.1-181.

⁴⁴ J. Fernandez, P. Fernandez ve B. Pelegrin, "Estimating Actual Distances by Norm Functions - a Comparison Between the $l_{k,p,\theta}$ -Norm and the $l_{b1,b2,\theta}$ -Norm and a Study about the Selection of the Data Set", **Computers & Operations Research**, Vol.29, No.6, (May 2002), s.609-623.

⁴⁵ Shouu-Jiun Wang, Joyendu Bhadury ve Rakesh Nagi, "Supply facility and input-output point locations in the presence of barriers", **Computers & Operations Research**, Cilt 29, No.1, (January 2002), s.685-699.

2.2.4.4 Çok Büyük Ölçekteki Problemlere Yönelik Literatür

Çok büyük ölçekteki gerçek hayat problemlerinin çözümüne yönelik olarak buluşsal yöntem tabanlı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Belirtilen çözüm yöntemlerinden özellikle çok şubeli bankaların bölge birimlerinin yerleştirilmesinde faydalanılabileceği düşünülmektedir.

KSTYP'nin *NP-hard* problem sınıfına dâhil olması nedeniyle çok büyük boyutlardaki gerçek hayat problemlerinin çözümü için problem basitleştirici yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Belirtilen amaçla Gunnar ve diğerleri (1998) tarafından yapılan çalışmada çok sayıda talep noktasının olduğu problemlerde talep noktaları yani müşteriler bir araya getirilerek problem büyüklüğünün azaltılmasının amaçlanmıştır⁴⁶. İlk önce talep alanı üzerinde ızgara yapısı oluşturularak kaba bir konsolidasyon çalışması yürütülmüştür. Problem yapısının keşfedilmesi için bir satır-sütun algoritması kullanılmış ve satır ile sütunların aralıkları belirlenmiştir. İkinci aşamada konsolide edilen ızgara hücrelerini birleştiren bir network yapısı oluşturulmuştur. Çalışmada toparlananlar sadece talep noktalarıdır. Ağ üzerinde herhangi bir toparlanma yapılmamaktadır. Belirtilen yöntemle birbirine yakın şubeler ve bunlara ilişkin talep birleştirilebilecek, problemin büyüklüğü ve zorluğu azaltılabilecektir.

Vasco ve diğerleri (2003) makalelerinde 13.000 müşteri ve 1.600 tesisin bulunduğu büyük bir problemi inceleme konusu yapmıştır⁴⁷. Problem özelinde müşteri taleplerinin tamamının karşılanmayacağı varsayılmıştır. Müşteri talebinin tamamının karşılanmayacağı varsayımı, çalışmamızda incelenen problem bakımından bir şubenin nakit talebinin karşılanmaması anlamına gelmekte olup, bu durum yöntemin uygulanmasını güçleştirmektedir. Çalışmada bu büyüklükte bir problemin iki dakikanın altında çözülebileceği belirtilmektedir.

⁴⁶ Andersson Gunnar ve Diğerleri, "Aggregation Method Experimentation for Large-Scale Network Location Problems", **Location Science**, Vol.6, No.1, (May 1998), s.25-39.

⁴⁷ F. J. Vasco ve Diğerleri, "A Large-Scale Application of the Partial Coverage Uncapacitated Facility Location Problem", **Journal of the Operational Research Society**, Vol.54, No.1, (January 2003), s.11-20.

Bir diğ er ç alışmada Berman ve Huang (2004) toplama deposu yerleşimini incelemiş ve en iyi depo yerleşimlerinin bulunmasını amaçlamıştır. Ç alışmada probleme geliştirilen Dallandır ve Sınırla yöntemi ile Lagrange Gevşetmesi yöntemine dayanan buluşsal yöntem karşılaştırılmış ve ilk yöntemin daha hızlı ve verimli sonuç ürettiği sonucuna varılmıřtır⁴⁸.

Ahuja ve diğ erleri (2004) kapasite sınırlaması olan tesis yerleşimi problemini inceleme konusu yapmıřtır⁴⁹. Ç alışmada problemin ç özümü için Ç ok Büyük Ölçekli Komşu Araştırma (Very Big Scale Neighbourhood Search) Algoritması kullanılmıştır. İncelenen problemlerde tesis sayıları 10-30 arasında, müşteri sayıları ise 50-200 arasında değişmektedir. Belirtilen ölçeğin özellikle ölkemizdeki orta büyüklükteki bankalara uygun olduğu görölmektedir.

Ç ok büyük ölçekteki gerç ek hayat Kapsama (Covering) ve Yerleşim problemlerine uygulanabilecek bazı buluşsal yöntemler Brotcorne ve diğ erleri (2002) tarafından geliřtirilmiřtir⁵⁰. Yöntemleri potansiyel sitelerin ağ üzerinde sürekli bir hatta yerleştirilebileceği varsayımıyla hareket etmekte olup, 152 gerç ek hayat problemine uygulandığı belirtilmektedir. Belirtilen problemlerin genellikle gerç ek zamanlı ç özüm gerektirmesi, Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing) ya da Karınca Kolonisi (Ant Colony) gibi Buluşsal-Ötesi Yöntemlerin kullanılmasını imkânsız kılmaktadır. 52.000'e kadar talep noktasının olduğu problemler üzerinde beş farklı buluşsal yöntem denenmiştir. Bu yöntemler maksimum 20 saniye kadar sürmekte olup genellikle optimalin %1 kadar uzağında ç özümler üretebilmeleri dikkate değerdir.

2.2.4.5 Rassal Değişkenler İçeren Literatür

Gerç ek hayatta hemen her şeyin rastlantıya dayanması nedeniyle, rastlantısal faktörler içeren modellerin uygulanabilirliği artmaktadır. Bununla birlikte belirtilen

⁴⁸ O. Berman ve R. Huang, "Minisum Collection Depots Location Problem with Multiple Facilities on a Network", **The Journal of the Operational Research Society**, Vol.55, No.7, (July 2004), s.769-779.

⁴⁹ R. K. Ahuja ve Diğ erleri, "A Multi-Exchange Heuristic for the Single-Source Capacitated Facility Location Problem", **Management Science**, Vol.50, No.6, (June 2004), s.749-760.

⁵⁰ Luce Brotcorne, Gilbert Laporte ve Frederic Semet, "Fast Heuristics for Large Scale Covering-Location Problems", **Computers & Operations Research**, Vol. 29, No.1, (January 2002), s.651-665.

faktörler problemin zorluk derecesini ciddi ölçüde artırmakta ve makul süre içerisinde çözüm bulunmasını güçleştirmektedir.

Ricciardi ve diğerleri (2002) tarafından hazırlanan makalede her bir tesisin çıktı maliyetinin rassal olduğu durum inceleme konusu yapılmıştır⁵¹. Çalışmaları tesislerin büyüklük ve yerlerinin belirlenmesine yönelik bir modeli içermekte olup, temel maliyetler taşıma maliyetleri ve çıktı maliyetleridir. Rassal değişkenin Gumble Dağılımına sahip olduğu varsayılmaktadır. Model beklenen değer hesaplama mantığıyla doğrusal olmayan modeller üretilerek çözülmektedir. Çözümde iki buluşsal yöntemin detaylı tartışmasına da yer verilmiştir. Önerdikleri yöntem şöyle çalışmaktadır. Tesis yerleşimlerinin verildiği varsayımı altında, Minimum Maliyet Akım (Minimum Cost Flow) Yöntemi kullanılarak beklenen maliyetlerle taşıma akımları bulunmaktadır. Daha sonra Karma Doğrusal Olmayan Model yardımıyla optimal tesis yerleşimleri bulunmaktadır. Yerleştirilen tesislerin büyüklüğünü de veren bu model buluşsal yöntemlerle çözülmektedir.

Laporte ve Daşçı (2005) tesis yerleşimi problemini talep belirsizliği varsayımı altında incelenmiştir⁵². Çalışmada tesis yerleşimleri yerine hizmet verilen piyasanın göz önünde bulundurulduğu yenilikçi bir yaklaşım söz konusudur. Ayrıca müşteri talebine de rassallık kazandırılmıştır. Problemden firmanın açığının dış tedarikçilerden karşılanarak kapatıldığı ya da kapatılmadığı varsayımlarına bağlı olarak iki farklı tür inceleme konusu yapılmıştır. Şubelerdeki nakit talebinin rastlantısal yapısı dikkate alındığında, sözü edilen yöntemin NYS tasarımında kullanılabileceği düşünülmekle birlikte, hizmet verilen piyasa yapısı baz alındığından ağ yapısı altında faaliyet gösteren bankacılıkta NYBB'lerin yerleşimi açısından önerilen yöntemin kullanımı kısıtlı olacaktır.

⁵¹ Nicoletta Ricciardi, Roberto Tadei ve Andrea Grosso, "Optimal Facility Location with Random Throughput Costs", **Computers & Operations Research**, Vol.29, No.1, (January 2002), s.593-607.

⁵² Gilbert Laporte ve Abdullah Dasci, "An Analytical Approach to the Facility Location and Capacity Acquisition Problem under Demand Uncertainty", **Journal of the Operational Research Society**, Vol.56, No.4, (April 2005), s.397-405.

2.2.4.6 Rekabet Ortamında Tesis Yerleşimine İlişkin Literatür

Rekabetin bulunduğu ortamlarda tesislerin yerleşimi de araştırma konusu yapılmıştır. Bir bankaya ait nakit yönetim sistemlerinin tasarımı bakımından rekabet faktörü etkili olmamaktadır. Zira nakit yönetim organizasyonları yalnızca banka içinde kullanılmaktadır. Bununla beraber, ülkemizde yeni yeni boy göstermeye başlayan, nakit yönetimi faaliyeti ile iştigal eden firmalar birden fazla bankaya hizmet verebildiğinden, bu şirketlerin yapılanması bakımından rekabet faktörü önem arz etmektedir.

Hiçbir rakibin ekonomik olarak tesis yerleşimini uygun bulmayacağı şekilde tesislerin yerleşiminin hedeflendiği bir model Dobson ve Karmarkar (1987) tarafından hazırlanan makalede incelenmiştir⁵³. Çalışmada öncelikli olarak iktisadi anlamda çeşitli denge tür ve koşulları belirlenmiş ve bunlar arasındaki ilişkiler tartışılmıştır. Ağ türü yerleşimin varsayıldığı çalışmada, ağ üzerindeki her bir köşede müşterilerin bulunduğu varsayımı da yapılmıştır. Müşteri talepleri sabit bir fiyat üzerinden karşılanırken, her bir tesis için ayrı maliyetler söz konusudur. Ayrıca, taleplerin karşılanması için belli taşıma maliyetlerine de katlanmak gerekmektedir. Çalışmada rakiplerin kâr edecek ve alternatif köşelerde var olmasını engelleyecek şekilde minimum maliyetli bir tesis yerleşiminin sağlanması hedeflenmektedir. Sıralı olarak çözülen birden fazla tam sayı model ve birleştirilmiş tek bir tamsayı model kurgulanmıştır. Bu modelleri temel alan bazı örnekler oluşturulmuş ve çözülmüştür.

Rekabetçi ortamda birden fazla site yerleşimini amaçlayan bir diğer model Zhang ve diğerleri (2008) tarafından çalışılmıştır⁵⁴. Çalışmada varsayılan amaç fonksiyonu tüketici faydasıdır. Kısıtlar ise kuyruk süresi ve tesis açmanın maliyetidir. Oluşturulan model temelde iki varsayıma dayanmaktadır. Birincisi rakiplerin şube yerlerini ve büyüklüklerini değiştirmedikleri, ikincisi ise şube kapasitesinin sınırlı sayıda farklı seçenekle sınırlı olmasıdır. Genellikle bu tür modellerde müşterinin kendisine en yakın tesise gideceği varsayılsa da, hatta kurgusu gereği KSTYP’de optimal çözüm her zaman bu şekilde olsa da, modele bir ilave boyut daha getirilmiştir.

⁵³ Gregory Dobson ve Uday S. Karmarkar, “Competitive Location on a Network”, **Operations Research**, Vol.35, No.4, (July-August 1987), s.565-574.

⁵⁴ Lixun Zhang ve Gerard Rushton, “Optimizing the Size and Locations of Facilities in Competitive Multi-Site Service Systems”, **Computers & Operations Research**, Vol.35, No.2, (February 2008), s. 327-338.

Bu da şubenin çekicilik faktörüdür. Bu faktör nedeniyle müşteriler kendilerine en yakın tesisi tercih etmeyebilmektedir.

2.2.4.7 Standart Modellerin Çözüm Yöntemlerinin Tartışıldığı Literatür

Edson ve diğerleri (2005) KTSYP probleminin özel bir durumu niteliğindeki p-Ortanca problemini için bir Dallandır ve Sınırla yordamı geliştirmiştir⁵⁵. Yordam Lagrange gevşetmesi yöntemi ile esas (primal) ve ikincil (dual) relaxation üzerinden alteğim (subgradient) optimizasyonu yöntemini birlikte kullanılarak başarılı çözümler üretmiştir. Problemlerin zorluğunun müşteri sayısı ile tesis sayısı arasında oranın artmasıyla zorlaştığı tespitinde bulunmaktadır.

Literatürde KSTYP'nin özel bir durumu niteliğinde olan p-Ortanca probleminin daha fazla ilgi çektiği görülmektedir. Rosing ve diğerlerinin (2002) yürüttükleri araştırmada ise p-Ortanca buluşsal yöntemlerinin neden iyi ya da kötü çalıştıkları incelenmiştir⁵⁶. İki tür yöntem üzerinde çalışılmıştır. Tekli değişim yönteminde belli bir tesis yerleşimi belirlenmekte, daha sonra her bir tesisi diğer alternatif tesisler ile değiştirilerek amaç fonksiyonunda iyileşme olup olmadığını kontrol edilmektedir. Diğeri ise Buluşsal Yöntem Konsantrasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde iki aşama bulunmaktadır. Birinci aşamasında birinci tip bir yöntemle çok sayıda aday üretilmekte, bu sonuçlardan faydalanılarak daha küçük bir model oluşturulmakta ve bu model optimal olarak çözülmektedir. İkinci aşamada ise küçük modelde birinci tip buluşsal yöntemlerin ürettiği ortak tesislerin optimal çözümün içinde olduğu kabul edilmekte, bunlara minimum mesafedeki talep noktaları ile birlikte modelin dışına çıkarılmaktadır. Kalan aday tesis noktaları ile konumlandırılacak kalan tesis adedi ve kalan talep noktaları üzerinden problem çözülmektedir. Çalışmada ikinci yöntemin yerel optimum noktalarına daha az takıldığı ve daha iyi sonuçlar ürettiği sonucuna varılmaktadır.

⁵⁵ Senne L. F. Edson, Lorena A. N. Luiz ve Pareira A. Marcos, "A Branch-and-Price Approach to p-Median Location Problems", **Computers & Operations Research**, Cilt 32, No.6, (June 2005), s.1655-1664.

⁵⁶ K. E. Rosing ve M. John Hodgson, "Heuristic Concentration for the p-Median: an Example Demonstrating How and Why It Works", **Computers & Operations Research**, Cilt 29, No.10, (September 2002), s.1317-1330.

p-Ortanca probleminin daha basit modeli Church (2008) tarafından hazırlanan makalede oluşturmuştur⁵⁷. Oluşturulan model optimal olarak veya optimale yakın olarak çözülebilmekte olup tespitler KSTYP'ye de uygulanabilir niteliktedir. KSTYP'de her köşeden her köşeye hizmet verilebileceği varsayılmış iken, burada her bir köşeye belirlenen mesafeden daha uzak bir köşe tarafından hizmet verilemeyeceği kısıdı getirilmektedir. Bu kısıdın sağlandığı durumda belirlenen mesafe bir miktar artırılmaktadır. Belirtilen basitleştirme sonucunda değişken ve kısıt sayısı %80-97 arasında azalmakta olduğu ve 900 müşteri ve 50 tesis içeren modellerin maksimum 24 saat gibi bir sürede çözülebildiği raporlanmıştır.

Jaramillo ve diğerleri (2002) tarafından yapılan bir araştırmada optimal ya da yaklaşık optimal sonuçların bulunması amacıyla Genetik Algoritma Yönteminden faydalanılmaktadır⁵⁸. Genetik Algoritmalar uygun çözümün kolay bulunduğu, ama problemin konveks olmaması nedeniyle algoritmik yöntemlerle iyileştirilmeyen problemlerde başarılı sonuçlar verebilmektedir. Genetik Algoritmalar ile çözüm aranan modeller Kapasiteli ve Kapasitesiz Sabit Maliyetli Problemler ile Kaplama Problemi ve de Rekabetçi Yerleşim Problemidir. Kapasiteli ve sabit maliyetli problemde her bir çözüm durumu için Taşıma Problemi çözülebilmektedir. Böylelikle uygun ve en az maliyetli bir şekilde müşteri taleplerinin karşılanması mümkün olmaktadır. Genel olarak Genetik Algoritmalar buluşsal yöntemlere göre daha çok vakit almaktadır. Bununla birlikte daha başarılı sonuçlar üretmeye muktedirlerdir. Genetik Algoritmalar test problemlerinin tamamında optimal çözüme ulaşabilmiştir. Tek istisna olarak kapasiteli sabit maliyetli modellerde Genetik Algoritmalar oldukça zayıf bir performans göstermiştir.

2.2.4.8 Farklı Kısıt ve Amaç Fonksiyonu Uyarlamalarını İçeren Literatür

Çalışmamıza konu problemde bir nakit yönetim biriminin herhangi bir kapasite sınırı olmaksızın çok sayıda şubeye hizmet verebileceği varsayılmıştır. Her bir birime bağlı olarak çok sayıda araç faaliyet gösterebileceğinden belirtilen varsayımın kısıtlayıcı

⁵⁷ Richard L. Church, "BEAMR-An Exact and Approximate Model for the p-Median Problem", **Computers & Operations Research**, Vol.35, No.2, (February 2008), s.420-421.

⁵⁸ Jorge H. Jaramillo, Joy Bhadury ve Rajan Batta, "On The Use of Genetic Algorithms to Solve Location Problems", **Computers & Operations Research**, Vol.29, No.6, (May 2002), s.761 - 779.

bir yönü bulunmadığı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, park yeri kısıtları ve yönetsel güçlükler nedeniyle NYBB'lere kapasite sınırı getirmesi düşünülebilecektir. Dearing ve Newruck (1979) çalışmalarında kapasite sınırlaması bulunan problemleri inceleme konusu yapmış ve en büyük taşıma maliyetini minimize etmeyi amaçlamıştır⁵⁹. Lagrangian Gevşetilmesi yöntemi ile bir kısıt amaç fonksiyonunun içine alınarak çözüm aranmıştır. Çözülebilir maksimum problem büyüklüğü 50 müşteri ve 25 tesistir. Dolayısıyla gerçek hayat ölçeğindeki problemlere uygulanma imkânı görece kısıtlı olmuştur.

Douglass ve Sohail (1984) tesisler arasında minimum ya da maksimum düzeyde mesafe kısıtları olması şartını içeren KSTYP sınıfını incelemiştir. Çalışmada üç amaç üzerinde durulmuştur. Çalışmada ilk önce kısıtların gerçek hayatta hangi durumlarda karşılaşılabileceği durum değerlendirilmiş, ikinci olarak problemin çözüm tekniklerine değinilmiş, son olarak da problemlerin zorluk dereceleri ve çözüm teknikleri tartışılmıştır⁶⁰. Müşterinin nakit ihtiyacının karşılanmasının önem arz ettiği dikkate alındığında özellikle maksimum mesafe sınırlaması olan problemin nakit yönetim sistemlerinin tasarımında kullanılabileceği düşünülmektedir.

Cornuejols ve diğerleri (1977) oldukça yaratıcı bir yaklaşımla hesapların takas süresinin uzatılmasının amaçlandığı bir şirkette hesapların hangi bankalarda açılması gerektiği konusunu inceleme konusu yapmışlardır⁶¹. Problem önce KSTYP olarak modellenmiş daha sonra bu modeller çeşitli kesin algoritmalar ve buluşsal yöntemlerle çözülmüştür.

Tesislerin belirli bir kısmının zaten mevcut bulunduğu ve yeni bazı tesislerin ağ üzerinde yerleştirilmesi ihtiyacının ortaya çıktığı durumlarla gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu tür problemler literatürde şartlı p-Ortanca problemi olarak adlandırılmaktadır. Berman ve Drezner (2008) tarafından hazırlanan makalede bu tip

⁵⁹ P.M. Dearing ve F.C. Newruck, "A Capacitated Bottleneck Facility Location Problem", **Management Science**, Vol.25, No.11, (November 1979), s.1093-1104.

⁶⁰ Moon I. Douglass ve Chaudhry S. Sohail, "An Analysis of Network Location Problems with Distance Constraints", **Management Science**, Vol.30, No.3, (March 1984), s.290-307.

⁶¹ Gerard Cornuejols, Marshall L. Fisher ve George L. Nemhauser, "Location of Bank Accounts to Optimize Float", **Management Science**, Vol.23, No.8, (April 1977), s.789-810.

problemleri çözmek üzere verimli bir algoritma oluşturulmuştur⁶². İlgili algoritmanın mevcut yöntemlere göre ortalama %27 daha kısa süre içerisinde problemleri çözdüğü gözlemine yer verilmiştir. Önerilen yöntemden nakit yönetim sistemlerinin, mevcut birimlere yeni bölgesel birimler eklenerek genişletilmesine yönelik analizlerde faydalanılabileceği düşünülmektedir.

Bütçe sınırlaması içeren bir yerleşim modeli Wang ve diğerleri (2003) tarafından hazırlanan makalede analiz edilmiştir⁶³. Modelde aynı anda bazı tesislerin açıldığı, bazı tesislerin ise kapatıldığı varsayılmaktadır. Buradaki temel varsayım talepteki kayma yüzünden bazı eski tesislerin yenilerine göre cazibesini yitirdiğidir. Üç buluşsal yöntem aracılığı ile Amherst, New York'taki banka şubelerinin yerleşimine uyarlanmıştır. Amaç fonksiyonu sadece talep karşılama maliyetlerini içermektedir. Şube açma ve kapama maliyetlerinin amaç fonksiyonuna katılmamış olması önerilen modelin gerçek hayata uyarlanabilmesi bakımından soru işareti oluşturmaktadır. Çalışmada önerilen modelden belli bütçe kısıtları altında yapılacak NYS tasarımında yararlanılabileceği değerlendirilmektedir.

Laporte ve diğerleri (2002) tarafından hazırlanan makalede yerleşim kuramının ilginç bir uygulaması yer almaktadır⁶⁴. Çalışmada önceden belirlenmiş bir sayıda istasyonun ağırlıklı maksimum kapsama alanını maksimize edecek şekilde yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Kapsama alanının belirlenmesi için cadde ağı üzerinde çeşitli metrikler geliştirilmiş, nüfus alanları ise üçgenler geliştirilerek kapsanmıştır. Düz çizgi şeklindeki eşdeğer çizgilerin içinde kalan üçgen alanlarını tahmin etmek için çeşitli doğrusal olmayan formülasyonlar geliştirilerek kapsama alanlarının tahmininde kullanılmıştır. Problemin çözümünde *NP-Hard* zorluk derecesini haiz En Uzun Mesafe Algoritmasından faydalanılmıştır. Bankaların bölgesel yapılanmalarının yerleşiminde sözü geçen yöntemden yararlanılabilecektir.

⁶² Oded Berman ve Zvi Drezner, "A New Formulation for the Conditional p-Median and p-Center Problems", **Operations Research Letters**, Vol.36, No.4, (July 2008), s.481-483.

⁶³ Qian Wang ve Diğerleri, "Budget Constrained Location Problem with Opening and Closing of Facilities", **Computers & Operations Research**, Vol.30, No.13, (November 2003), s.2047-2069.

⁶⁴ Gilbert Laporte, Juan A. Mesa ve Francisco A. Ortega, "Locating Stations on Rapid Transit Lines", **Computers & Operations Research**, Vol.29, No.6, (May 2002), s.741 - 759.

Bankacılık sektörünü ilgilendiren diğer bir çalışmada, Aldajani ve Alfares (2009) ATM'lerin (Automated Teller Machines) yerleşimini irdemiştir⁶⁵. Çalışmada ilkönce ATM yerleştirilecek bölge hücrelere ayrılmıştır. Her bir hücre için hizmet verilebilecek bölgeler belirlenmiş ve bu hücrenin çekeceği talep hesaplanmıştır. Sonrasında her bir hücrenin talebinin karşılanma düzeyi belli bir minimum değerden aşağıda olmayacak şekilde minimum sayıda ATM yerleştirilmesi hedeflenerek optimum değer bulunmaktadır.

2.3 ARAÇ YÖNLENDİRME PROBLEMİ

2.3.1 Model Tanımı

AYP (Vehicle Routing Problem) ağ üzerinde çeşitli köşelere konumlanmış müşterilerin ihtiyaçlarını en düşük maliyetle karşılamak üzere, merkezi bir depoya bağlı olarak çalışan araçların rotalarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Burada ihtiyaç olarak ifade edilen husus müşterinin talep ettiği malın teslimi, posta evrakının teslimi ya da teslim alınması, çöplerin toplanması gibi çok farklı hizmetleri içerebilecektir.

AYP aracılığıyla Nakit Yönetim Sistemlerinin tasarımında 1.4.4 ve 1.4.5 bölümlerinde detaylı olarak açıklanan:

- NYBB'lere bağlı olarak kaç aracın faaliyet göstereceği ile
- Araçların takip edecekleri ana rotalar

hususlarının belirlenebileceği düşünülmektedir.

AYP'de bir grup araç merkezi bir depodan hareket etmekte, her biri ağ üzerindeki belirli bir rota üzerinden hareket ederek müşterilere ulaşmakta, nihayetinde merkezi depoya geri dönerek turunu tamamlamaktadır. Minimize edilmesi hedeflenen maliyet her bir aracın izlediği rotanın uzunluğunun toplamından oluşan yol maliyetleridir. Yol maliyetinin kat edilen mesafe ile doğru orantılı olduğu varsayıldığında, problemin amacı araçların kat ettikleri toplam mesafenin minimize

⁶⁵ Mansour A. Aldajani ve Hesham K. Alfares, "Location of Banking Automatic Teller Machines Based on Convolution", **Computers & Industrial Engineering**, Vol.57, No.4, (November 2009), s.1194-1201.

edilmesine indirgenmektedir. Bu yönüyle AYP tek bir satıcının izlediği rotanın minimize edilmesini amaçlayan Gezgin Satıcı Probleminin daha genel bir halini ifade etmektedir.

2.3.2 Matematiksel Model

AYP'nin çok sayıda değişik matematiksel modeli bulunmaktadır. Bu bölümde en az indisle ifade edilen ve anlaşılması mantıksal olarak güçlük arz etmeyen baz model üzerinde durulmuş olup belirtilen model Toth ve Vigo'dan (2001) alıntılanmıştır⁶⁶. İleriki bölümlerde çalışmamızda kullandığımız genişlemelerin daha rahat eklemelendiği genişletilmiş modele de yer verilecektir.

Müşterilerin bulunduğu konumlar $M = \{1, \dots, m\}$ ile temsil edilsin. Araçların hareket edeceği merkezi depo ise $\{0\}$ ile gösterilsin. Ayrıca $I = M \cup \{0\}$ şeklinde tanımlansın.

c_{ij} : i konumundan j konumuna ulaşım maliyeti

K : hizmet veren araç sayısı

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ konumundan } j \text{ konumuna gitmek için } i - j \text{ yolu kullanılırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

AYP'nin matematiksel modeline aşağıda yer verilmiştir.

$$\text{Min} \sum_{i=0}^m \sum_{i=0}^m c_{ij} x_{ij} \quad (2.5)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \in M, i \neq j \quad (2.6)$$

⁶⁶ Paolo Toth ve Daniele Vigo, "An Overview of Vehicle Routing Problems", Paolo Toth ve Daniele Vigo (Ed.), **The Vehicle Routing Problem** içinde (1-26), 1. Basım, Philadelphia: SIAM, 2001, s.12.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i \in M, i \neq j \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{0j} = K \quad (2.8)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq |S| - a(S) \quad \forall S \subseteq M, S \neq \emptyset \quad (2.9)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (2.10)$$

Modelde (2.5) numaralı denklem ile ifade edilen amaç fonksiyonu, araçların kat ettikleri yol maliyetinin toplamından oluşmaktadır. İkinci sırada yer alan (2.6), j köşesine gelen yollardan en az birinin kullanılması gerektiğini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle bu konumda yer alan müşteriye araçlardan birinin ulaşması gerekliliğini belirtmektedir. Benzer şekilde (2.7) ise i köşesinden çıkan yollardan birinin kullanılması gerektiğini ifade eden denklemdir.

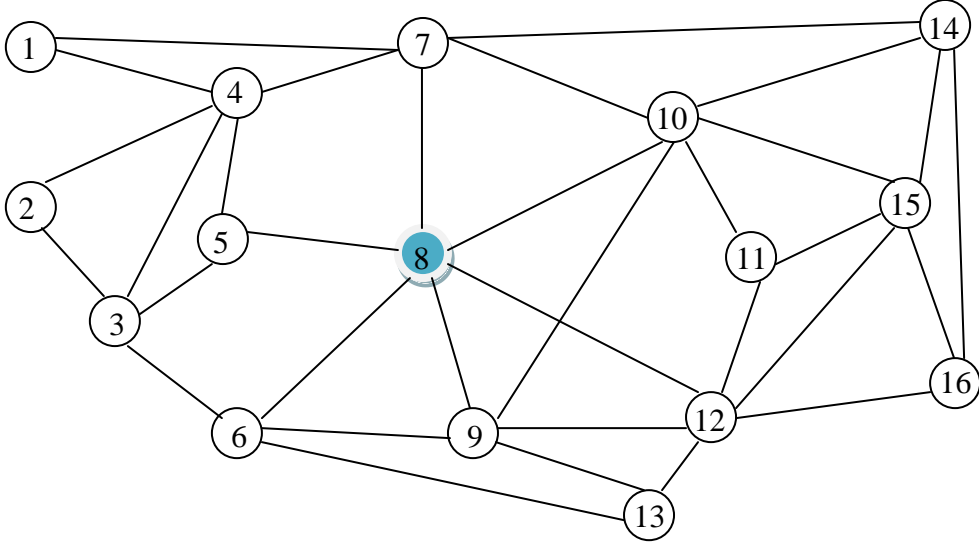
Denklem (2.8) merkezden K aracın yola çıkacağını belirtmektedir. (2.9) sayılı kısıt kısa turların elenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Kısa tur depoda başlayıp, depoda bitmeyen turdur. Burada $a(S)$ S alt kümesi içinde müşterilere hizmet götürmek için kullanılacak minimum araç sayısını belirtmektedir. Denklem belirli bir köşe alt kümesi içinde kullanılan yol sayısının, bu kümede yer alan köşe sayısından $a(S)$ kadar az olması gerektiğini ifade etmekte ve böylelikle S içerisinde oluşan alt turlar engellenmiş olmaktadır.

AYP çözümünde $x_{ij} = 1$ şartının sağlandığı yollar her bir aracın takip edeceği rotayı vermektedir.

2.3.3 Grafikselsel Gösterim

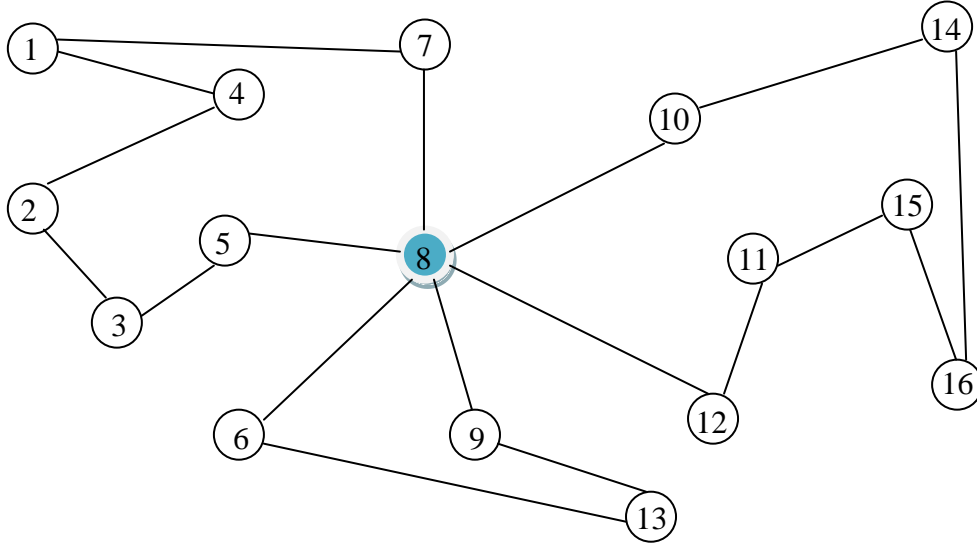
Çalışmamızda ağ üzerindeki yolların yön bağımsız olduğu, yani her iki yöne doğru da kullanılabilirdiği varsayılmıştır. Bununla birlikte AYP yön bağımsız olmayan problemlere de uygulanabilmektedir. Bu problemlerde köşeler arasında gidiş ve geliş

için ayrı uzunlukta ya da ayrı süre tutan yollar olabileceği gibi, köşeler yalnız tek yönlü bir yol ile de bağlanabilmektedir.



Şekil 3: Ağ Yapılanması - AYP

AYP modelinin şekilsel olarak izahı KSTYP probleminde de kullanılan ağ yapısı üzerinden yapılacaktır. Ağ 16 köşe ve 31 yoldan oluşmaktadır. Her bir köşede bir müşterinin yer aldığı, 8 numaralı köşede ise merkezi deponun yer aldığını varsayalım. Şekil 1'deki ağın toplamda üç araç içerdiği kabullenmesi ile AYP'nin çözümlenmesi halinde ortaya çıkacak görünüm örneğin aşağıdaki şekilde olabilecektir.



Şekil 4: AYP

Şekilde de görüldüğü üzere 8 numaralı köşede yer alan merkezi deponun ortak köşe olduğu üç farklı rota belirlenmiştir. Depoya bağlı olarak hizmet verecek araçlardan ilki $v_8, v_7, v_1, v_4, v_2, v_3, v_5, v_8$ rotasını, ikinci araç $v_8, v_{10}, v_{14}, v_{16}, v_{15}, v_{11}, v_{12}, v_8$ rotasını, üçüncü araç ise $v_8, v_6, v_{13}, v_9, v_8$ rotasını izlemektedir. AYP ağı üzerindeki araçların tüm köşeleri ziyaret ettiği tüm uygun rotalar arasından, en kısa olanını vermektedir.

2.3.4 AYP İle İlgili Literatür

Her ne kadar isminde “Araç” gibi yakın döneme aitmiş izlenimi veren bir kavram yer alsa da AYP ile yanıt aranan sorunun geçmişinin insanlık tarihi kadar eski olduğunu ifade etmek hatalı olmaz. Zira bir merkeze bağlı olarak hizmet dağıtan herhangi bir sistem özünde AYP yapısında bir problem barındırmaktadır.

Gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliğinin yüksek olmasının da etkisiyle AYP Yöneylem Araştırması dalının en çok ilgi gören problemlerden biri olmuştur. Konuya ilişkin literatür incelendiğinde yapılan çalışmalar içerikleri itibariyle;

- Yeni nitelikler ekleyerek AYP’yi farklı problemlere uyarlayan,
- AYP’nin çeşitli türlerinin çözümüne ilişkin yöntem önerisi getiren,
- AYP’nin literatürdeki diğer problemlerle ilişkisini gösteren,

- Problemin zorluk derecesini tartışan

çalışmalar şeklinde kabaca bir sınıflandırma yapılabilecektir.

Takip eden bölümde öncelikle, öncül nitelikteki çalışmalar üzerinde durulacaktır. Sonrasında problemle ilgili yayınlanmış önemli makalelere değinilecek, devamında problemin gerçek hayatta en fazla uygulama bulan türlerinden bir olan zaman pencere kısıtlı problem tartışılacaktır. Daha sonra problemin farklı uyarlamalarına ilişkin olarak özellikle son dönemde yapılan çalışmalara yer verilecektir. Belirtilen uyarlamaların nakit yönetim sistemlerinde kullanılabilirliğine yönelik tartışmalara da yeri geldiğinde değinilecektir.

2.3.4.1 AYP'ye İlişkin Öncül Çalışmalar

AYP'nin formel olarak ilk incelemesi Dantzig ve Ramser (1959) tarafından hazırlanan "Kamyon Sevk Etme Problemi" isimli çalışmada yer almaktadır⁶⁷. Makalede tankerlerin bir merkezi depodan servis istasyonlarına yakıt taşınması ile ilgili bir gerçek hayat problemi üzerinde çalışılmıştır. Servis istasyonlarının bulunduğu her bir nokta arasındaki en kısa mesafeler ve her istasyon için talep miktarı çalışmada temel parametreler olarak kullanılmıştır. Oluşturulan modelde amaç fonksiyonu toplam yolu minimize edecek şekilde her bir talep noktasının bir araca eşlenmesi olarak tanımlanmıştır. Belirtilen öncül çalışmada incelenen problemin Gezgin Satıcı Probleminin (Travelling Salesman Problem) bir genellemesi olduğu tespiti de yapılmıştır⁶⁸.

Çalışmanın yapıldığı dönemde Dallandır ve Sınırla tarzı yöntemlere yönelik araştırmalar daha yeni başladığından, optimale yakın bir çözüm bulma hedeflenerek problemin Doğrusal Programlama genişlemesine dayanan bir yöntemle çözümü üzerinde durulmuştur. Bu yöntemde tamsayı çıkmayan değişkenlerin tamsayıya tamamlanması için buluşsal nitelikli bir yöntem kullanılmıştır. Ayrıca, modelin birden

⁶⁷ G. B. Dantzig ve J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem", **Management Science**, Vol.6, No.1, (October 1959), s.80-91.

⁶⁸ Dantzig ve Ramser, s.80.

fazla ürünün bulunduğu problemler ile kamyon kapasitesinin olduğu problemlere genişletilmesi de tartışılmıştır.

Konuyla ilgili bir diğer öncül nitelikli çalışmada Christofides ve Elion (1969) AYP'nin optimal çözümü için bir yordam önerisi getirmiştir⁶⁹. Çalışmalarında bir depodan bilinen sayıdaki müşterin bilinen miktarlardaki ürün talebinin karşılanması hedeflenmiş olup, her bir aracın kapasite sınırının bulunduğu, araçlarca izlenen rotaya ilişkin de bir toplam süre kısıdının bulunduğu varsayılmıştır. Çalışmada üç çözüm yöntemi karşılaştırılmıştır:

- Dallandır ve Sınırla yönteminde probleme araç sayısı kadar sanal köşe eklenmekte ve bu sanal köşeler arasındaki mesafe sonsuz yapılmaktadır. Bu haliyle AYP Gezgin Satıcı Problemine dönüşmekte, bu problem Little ve diğerleri (1963) tarafından geliştirilen yöntemle çözülmektedir⁷⁰. Daha sonra optimal araç sayısını bulmak amacıyla, çeşitli sanal köşe sayıları için de benzer dönüşümler yapılmakta ve en düşük maliyetli çözüm seçilmektedir.
- Optimal çözümü garanti etmeyen, Tasarruf Yöntemi olarak adlandırılan ikinci yöntem Clarke ve Wright (1964) tarafından geliştirilmiştir⁷¹. Bir nevi buluşsal nitelik taşıyan bu yöntemin özellikle kısıtların çok sınırlayıcı olduğu durumda iyi sonuç üretmediği gözlemine yer verilmiştir.
- Üçüncü yöntem R-Optimal Tur olarak adlandırılmaktadır. R-Optimal Tur R yolun aynı anda değiştirilmesi sonucu daha iyi bir tur elde edilemeyen tur olarak tanımlanmaktadır. R sayısı arttıkça denenecek seçenek sayısı da üssel olarak artmaktadır. R'ın fazlaca artırılmasına işlem gücü bakımından imkân bulunmamaktadır. Yöntemde öncelikle rassal bir tur bulunmakta, daha sonra bu tur yolların aynı anda değiştirilmesi yöntemiyle 2-Optimal ve 3-Optimal Turlar belirlenmektedir.

⁶⁹ N. Christofides ve S. Elion, "An Algorithm for the Vehicle-Dispatching Problem", **Operational Research Quarterly**, Vol.20, No.3, (September 1969), s.309-318.

⁷⁰ J. D. C. Little ve Diğerleri, "An Algorithm for the Travelling Salesman Problem", **Operations Research**, Vol.11, No.6, (November-December 1963), s.972-989.

⁷¹ G. Clarke ve J. W. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", **Operations Research**, 1964, Vol.12, No.4, (July-August 1964), s.568-581.

Çalışmada bu üç yöntem karşılaştırılmış, pratik büyüklükteki problemler için birinci yöntemin çok fazla işlem gücü gerektirdiği, ikinci yöntemin kısıtların fazlaca sınırlayıcı olduğu hallerde iyi sonuç üretmediği, kendi önerileri olan ve optimal çözümü de garanti etmeyen üçüncü yöntemin ise çözüm üretme performansı bakımından en iyi yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Araç Yönlendirme ibaresi ilk olarak Golden ve diğerleri (1972) tarafından hazırlanan çalışmada kullanılmıştır⁷². 1970’li yıllar değişik ve dağınık bir şekilde AYP uygulamalarının ortaya çıktığı yıllar olmuştur. Ancak, 1990’lı yıllara kadar sadece statik AYP üzerinde çalışılmış, hesaplama zorluğu ve bilgi teknolojilerinin henüz emekleme devresinde olması nedeniyle rassal, dinamik AYP araştırmacıların ilgisini çekmemiştir. 1990’lı yıllarda belirtilen sınırlamaların aşılmış olmasının da etkisiyle, çok sayıda gelişmiş ve karmaşık algoritma araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir⁷³.

Yıllar itibariyle bakıldığında AYP ile ilgili yayınlanan makale adedinin üssel bir artış gösterdiği gözlemlenmektedir. 1990 – 1994 arasında 158 makale yayınlanmış iken, 1995 – 1999 arasında 212, 2000 – 2006 arasında toplam 447 makale yayınlanmıştır⁷⁴.

2.3.4.2 AYP’ye İlişkin Literatür ve Değerlendirme Çalışmaları

Bilgi teknolojilerinin ve CBS’nin gelişmesi ile birlikte Araç Yönlendirme Problemlerinin gerçek hayat uygulamalarında büyük artışlar olacağı Golden ve Assad (1986) tarafından öngörülmüştür⁷⁵. Çalışmada teknolojik gelişmelerin daha karmaşık problemlerin çözümü üzerinde çalışmaya imkân tanıdığı, böylelikle rassal talep, dağıtımın parçalı yapılması, araç kapasitelerinin farklı olması gibi karmaşık problemler üzerinde çalışılabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca, makale tarihine kadar AYP konulu araştırmalar ve elde edilen sonuçlarla ilgili değerlendirmelere de yer vermiştir.

⁷² B. L. Golden, T. L. Magnanti ve H. Q. Nguyen “Implementing Vehicle Routing Algorithms”, **Networks**, Vol.7, No.2, (June 1972), s.113.

⁷³ Burak Ekşioğlu, Arif Volkan Vural ve Arnold Reisman, “The Vehicle Routing Problem: a Taxonomic Review”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol.57, No.4, (November 2009), s.1475.

⁷⁴ Ekşioğlu, Vural ve Reisman, s.1475.

⁷⁵ Bruce L. Golden ve Arjang A. Assad, “Perspectives on Vehicle Routing: Exciting New Developments”, **Operations Research**, Vol.34, No.5, (September-October 1986), s.803-810.

AYP ile ilgili olarak 2005 yılına kadar meydana gelen gelişmeleri özetleyen Kallehauge ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada, problemlerin detaylı sınıflandırması yapılmış ve problemlere ilişkin literatüre yer verilmiş, ayrıca AYP'nin literatürdeki Gezgin Satıcı Problemi, Kutu Paketleme (Bin Packing) Problemi gibi problemlerle ilişkileri tartışılmıştır⁷⁶. Yalnızca müşterileri araca eşleştiren kısıdın ortak olduğu tespitinden hareketle problemin ana ve alt problemlere parçalanarak Dantzig-Wolfe türü parçalama algoritmalarından faydalanılabileceği tespitinde bulunulmuştur. Çalışmada literatürde çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması bakımından sıklıkla kullanılan Solomon⁷⁷ (1987) çalışmasında yer alan test örneklerine ilişkin detaylı bilgilere de yer verilmiştir.

Çok değişik uyarlamaları bulunan AYP'ye ilişkin olarak çalışma tarihimiz itibariyle en yeni ve detaylı bir sınıflandırma çalışması Ekşioğlu ve diğerleri (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir⁷⁸. Çalışma AYP ile ilgili tarihsel oluşumu, makalelerin yıllar itibariyle gelişimini, bunların adetsel olarak süreli yayınlara göre dağılımını, tüm literatürü içerecek şekilde bir sınıflandırma sistematüğünü içermektedir.

2.3.4.3 Zaman Pencere Kısıdı Altında AYP

Gerçek hayatta çok fazla uygulama alanı bulmasının da etkisiyle Zaman Pencere Kısıdı eklenmiş Araç Yönlendirme Problemleri literatürde çok yoğun ilgi çekmiştir. Bu problem türünde (2.6) - (2.10) numaralı denklemlerle ifade edilen kısıtlara ilaveten, her bir müşterinin hizmet alabileceği uygun zaman pencereleri tanımlanmıştır. Araç bir müşteriye bu zaman penceresinin başlamasından önce gelirse, müşterinin uygun oluncaya dek beklemekte, sonrasında hizmet verebilmektedir. Belirtilen sınırlamalar problemin zorluk ve karmaşıklık derecesini önemli ölçüde artırmaktadır. Kesin çözüm hedefleyen optimizasyon yöntemleri ancak az sayıda müşteri bulunan problemlere uygulanabilmektedir. Bu nedenle, gerçek hayat ölçeğindeki problemlere iyi

⁷⁶ Brian Kallehauge ve Diğerleri, "Vehicle Routing Problem with Time Windows", Guy Desaulniers, Jacques Desrosiers ve Marius M. Solomon (Ed.), **Column Generation** içinde (67-98), New York: Springer, 2005, s.71-73.

⁷⁷ Marius M. Solomon, "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints", **Operations Research**, Vol.35, No.2, (March-April 1987), s.254-265.

⁷⁸ Ekşioğlu, Vural ve Reisman, s.1472-1483.

çözümler üretebilmek için buluşsal yöntem geliştirmeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Zaman penceresi kısıtları bulunan AYP'ye ilişkin detaylı incelemeler ile çözüm yöntemlerine ilişkin ilk deneysel karşılaştırmalardan biri Solomon'un (1987) çalışmasında yer almaktadır⁷⁹. Çalışmada değişik buluşsal algoritmalar değişik özellikler taşıyan deney problemlere uygulanmış olup, problemler zaman penceresi bulunan müşteri sayısı, zaman pencerelerin ne kadar kısıtlayıcı olduğu ve çizelgeleme ufku gibi konularda farklı özellikler taşımaktadır. Çalışmada ekleme tipi buluşsal yöntemlerin genellikle çok iyi çözümler ürettiği sonucuna varılmaktadır.

Desrochers ve diğerleri (1992) zaman penceresi kısıtları bulunan AYP'nin optimal olarak çözümünü hedeflemiştir⁸⁰. Problem öncelikle Küme Bölümleme Problemi olarak modellenmektedir. Bu model yardımıyla rota seçenekleri üretilmektedir. Daha sonra bu rotaların çözüm içinde olması durumu 0-1 değişkeni ile modellenmekte, bir müşterinin rotalardan herhangi birine dâhil olması gerektiği kısıtı getirilmektedir. Bu makalenin yayınlandığı 1992 yılına kadar optimal olarak çözülebilmemiş en büyük problem 14 müşteri ve 4 araçtan oluşan problem iken, bu makalede önerilen yöntem ile müşteri sayısının 100'e kadar çıkarılması mümkün olmuştur. Nakit yönetim sistemlerinin tasarımında müşteri sayısının eşleniği şube sayısı olup, çalışmamızda yer alan ölçeklerdeki problemlerin çözümü de bu tarihten sonra mümkün olmuştur.

Zaman pencereli AYP için optimizasyon yöntemi Kohl ve Madsen (1997) tarafından önerilmiştir⁸¹. Yöntemde her bir müşterinin hizmet görmesi ile ilgili kısıt Lagrange Serbestleşmesi yöntemine konu edilmektedir. Bu şekilde elde edilen yöntem küçük alt problemlere parçalanmakta ve daha kolay çözümlenebilen bu parçalara çözüm üretilmektedir. Ana problem Lagrange Çarpanı bulunması, alt problem ise zaman penceresi ve mesafe sınırlamaları olduğu halde en kısa yol probleminin çözümünü

⁷⁹ Solomon, s.254-265.

⁸⁰ Martin Desrochers, Jacques Desrosiers ve Marius M. Solomon, "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", **Operations Research**, Vol.40, No.2, (March-April 1992), s.342-354.

⁸¹ Niklas Kohl ve Oli B. G. Madsen, "An Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with time Windows Based on Lagrangian Relaxation", **Operations Research**, Vol.45, No.3, (May-June 1997), s.395-406.

içermektedir. Önerilen yöntemlerle Solomon⁸² (1987) çalışmasında yer alan, 100 müşteri içeren problemlerinin de çok kısa süre içerisinde çözülebildiği belirtilmektedir.

Zaman penceresi içeren AYP'nin çözümüne ilişkin iki algoritma önerisi Fisher ve diğerleri (1997) tarafından yapılmıştır⁸³. Birinci algoritma K-Ağaç Serbestleşmesi ile zaman penceresi kısıtlarının yan sınır olarak eklenmesi yönteminden hareket etmektedir. İkinci algoritma ise problemi Lagrange Bölümlemesi ile iki alt probleme (yarı-atama ve zaman penceresi ile kapasite sınırı bulunan en kısa yol problemleri) dönüştürmektedir. Yöntemlerinin Solomon'un Standart Problemlerinden 100 müşteriye kadar olanlarda başarılı sonuçlar verdiği, bunların da müşterilerin daha çok belli bölgelere kümелendiği problemler olduğu raporlanmıştır.

Louis ve diğerleri (1999) Genetik Algoritma yöntemini kullanarak Zaman Penceresi Kısıtı Altında AYP'nin çözümünü adreslemişlerdir⁸⁴. Çalışmada sonraki kuşakların üretilmesi için kullanılan çiftleştirme tekniğinde yeni bir yöntem önerisi getirmektedir. Yöntemlerinin, önceki çalışmada da raporlandığı şekilde, müşterilerin belirli bölgelerde kümелendiği durumlar için başarılı sonuç verdiği belirlenmesinde bulunulmuştur. Önerdikleri yöntem, literatürde çözüm yöntemlerinin karşılaştırmasında yaygın bir şekilde kullanılan Solomon⁸⁵ (1987) çalışmasında yer alan 6 probleminin 3'ünde optimum sonuç vermiş, kalanında da optimal çözümün %1 kadar uzağında kalmıştır.

Ioannou ve diğerleri (2001) tarafından yürütülen çalışmada zaman penceresi kısıtlı AYP problemine yeni bir Hırslı İleriye Bakan (Greedy Look-Ahead) Buluşsal Algoritma önerisi getirilmiştir⁸⁶. Önerdikleri yöntemleri literatürde bu tip problemlerin çözümünde kullanılan üç farklı çözüm yöntemi ile karşılaştırmışlardır:

⁸² Solomon, s.254-265.

⁸³ Marshall L. Fisher, Kurt O. Jörnsten ve Oli B. G. Madsen, "Vehicle Routing with Time Windows: Two Optimization Algorithms", **Operations Research**, Vol.45, No.3, (May-June 1997), s.488-492.

⁸⁴ Sushil J. Louis, Xiangying Yin ve Zhen Ya Yuan, "Multiple Vehicle Routing with time Windows Using Genetic Algorithms", **Araştırma Raporu**, Reno : University of Nevada, 1999, s.1-10.

⁸⁵ Solomon, s.254-265.

⁸⁶ Ioannou, Kritikos, Prastacos, s.523-537.

- Birincisi Geliştirme ve Kurma Buluşsal Yöntemleridir. Bu yöntemler genellikle vasat ile iyi arasında sonuç vermektedir.
- İkincisi Buluşsal Ötesi Yöntemlerdir. Bu yöntemlerin daha uzun çalışma sürelerine karşın iyi sonuçlar ürettikleri gözlemlenmiştir.
- Üçüncü yöntem ise optimal çözüm bulunmasını hedefleyen Örtülü Sıralama Yöntemidir. Bu yöntemler Dalandır ve Sınırla, Lagrange Serbestleşmesi, Sütun Üretimi yöntemlerini içermektedir. Belirtilen yöntemlerle 100 müşteriye kadar olan problemler çözülebilmektedir.

Önerilen yöntemin çok büyük problemlerde çalışması yönüyle üçüncü yöntemden üstün olduğu, ürettiği çözümün kalitesi ve çalışma süresinin düşüklüğü bakımından ikinci yöntemden daha başarılı olduğu, çözüm kalitesi açısından da ilk yöntemden başarılı olduğu sonucuna yer verilmiştir.

Kupriyanova (2006) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada AYP mesai sınırlamaları ve hizmet penceresi kısıtları altında incelenmiştir⁸⁷. İlâveten ağ üzerinde hizmet veren araç parkının da birbiriyle aynı olmayan araçlardan oluştuğu varsayılmıştır. Geliştirilen yöntemden Danimarka'daki bir firmanın dağıtım faaliyetlerinin iyileştirilmesinde faydalanılmıştır. Çalışmada iki aşamalı bir çözüm yöntemi benimsenmiştir. Bunların ilkinde buluşsal yöntemlerden faydalanılarak iyi kalitede ancak optimal olmayan çok sayıda çözüm belirlenmektedir. İkinci aşamada Langrange Buluşsal Yöntemi kullanılarak ilk bölümde üretilen iyi kalite çözümler yardımıyla yeni çözümler üretilmektedir.

Zaman penceresi kısıtlı AYP'ye Genetik Algoritma yoluyla çözüm üretmeye yönelik bir diğer çalışma Nazif ve Lee (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir⁸⁸. Çalışmada önerilen algoritma iki bölümlü tam yönsüz grafik aracılığıyla en düşük maliyeti veren ve kısıtları sağlayan rotaların bulunması sağlanmaktadır. Önerilen algoritmanın deneysel sonuçlarına da yer verilmiş, algoritmanın gerek çözüm kalitesi

⁸⁷ Irina Kupriyanova, "A Vehicle Routing Problem with Time Windows and Shift Time Limits", (**Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi**, Technical University of Denmark, 2006), s.1-138.

⁸⁸ H. Nazif ve L. S. Lee, "Optimized Crossover Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows", **American Journal of Applied Sciences**, Vol.7, No.1, (January 2010), s.95-101.

gerekse gerektirdiği sürenin literatürdeki diğer yöntemlerle rekabet edebilecek düzeyde olduğu raporlanmıştır.

Calvete ve diğerleri (2003) tarafından yürütülen çalışmada Yumuşak Zaman Penceresi Kısıtlı AYP'nin Amaç Programlama (Goal Programming) yöntemiyle optimizasyonu hedeflenmiştir⁸⁹. Yumuşak Zaman Penceresi kısıtında belli cezalar ödeme şartıyla tanımlı pencereler dışında müşteriye hizmet imkânı sağlanmaktadır. 11 müşterili bir problemin standart AYP olarak modellendiği durumda çözümü önerilen yöntemle 5 saniyede mümkün olmuştur. Zaman Pencerelelerinin yumuşak tanımlanmadığı durumda problemin önerilen yöntemle çözümü ise 17 saniye sürmüştür. Gaye Programlama yöntemi kullanıldığında çözüm süresi 5 dakikaya çıkmış, ama önerilen çözüm öncekilere göre %13 daha iyi olmuştur. Problemin büyüklüğü arttıkça çözüm süresinin geometrik olarak arttığı gözlenmiştir. Müşteri sayısı 16'ya çıkınca optimal çözümün bulunması 53 saat kadar sürmüştür. Araçların homojen olmadığı durumda değişken sayısı katlanarak artmaktadır. Bu nedenle üç araçlı problemin bile makul bir süre içerisinde çözülemediği gözlenmiştir. Dolayısıyla önerilen yöntem çalışmamızda yer alan ölçekteki problemler için uygun bir alternatif oluşturmamaktadır.

2.3.4.4 Toplama/Dağıtım Araç Yönlendirme Problemleri

Nakit yönetim sistemlerinde yer alan ZA'lar bazı şubelerdeki nakdi toplamakta, bazı şubelere de nakit teslim etmektedir. Bankalarda TL yanında YP efektifler karşılığında işlem yapılması nedeniyle, bir şubede aynı anda hem nakit teslimi hem de nakit alınması işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Teslim alma ve teslim etme seçeneklerinin birlikte değerlendirildiği bir problem Chen ve Hu (2006) tarafından incelenmiştir⁹⁰. İncelenen problemde araç aynı müşteri için hem teslim alma hem de teslimat işlemini gerçekleştirebilmektedir. Buluşsal temelli yöntemleri ilk önce ekleme bazlı bir yordamla iyi bir başlangıç çözümü bulmakta, daha sonra yine buluşsal nitelikli kayıttan kayda seyahat, yasak listesi ve rota

⁸⁹ Herminia I. Calvete ve Diğerleri, "Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows: An Optimization Based Approach", *Monografias del Seminario Matematico Garcia de Galdeano*, Jaca/İspanya:UJ, 15-17 Eylül 2003, No.31, s.295-304.

⁹⁰ J. F. Chen ve T. H. Wu, "Vehicle Routing Problem with Simultaneous Deliveries and Pickups", *Journal of the Operations Research Society*, Vol.57, No.5, (May 2006), s.579-587.

geliştirmeyi içeren melez yordamlar ile devam etmektedir. Önerilen çözüm yönteminin diğer buluşsal yöntemlere göre daha iyi sonuç ürettiği raporlanmaktadır.

Gutierrez ve diğerleri (2010) tarafından hazırlanan makalede, müşterilere yapılacak teslimatlar zorunlu olarak gerçekleştirilmekte, ancak müşteri teslimleri kazançlı ise yapılmaktadır⁹¹. Diğer bir ifadeyle teslim alma seçeneği ancak kârlı ise değerlendirilmektedir. Belirtilen tercih bankacılık işlemleri açısından da gerçekçi bir uygulamaya işaret etmektedir. Çünkü müşterinin nakit talebinin karşılanması banka itibarı açısından elzem bir ihtiyacı ifade etmekte ise de şubedeki atıl nakdin teslim alınması banka açısından kazançlı ise gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, araçların kapasite sınırlı ve homojen olduğu ve belirlenen zaman pencereleri içinde hizmet verdikleri varsayılmıştır. Amaç fonksiyonu müşterilerden alınan teslimatın geliri ile toplam yol maliyeti arasındaki fark olarak belirlenmiştir. Teslimatın alınması ve verilmesi kurallarına bağlı olarak beş farklı model üzerinde durulmuş ve Dallandır ve Fiyatla temelli yöntemlerle 100 müşteriye kadar örneklerin çözümüne yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın literatüre katkısı seçici teslim almayı içermesi ve kesin çözüm için Dallandır ve Fiyatla algoritması kullanmasıdır.

2.3.4.5 Araç Yönlendirme Problemlerine İlişkin Diğer Uyarlamalar

Taşınacak nakit bakımından ZA'ların kapasite sınırının bulunmadığı varsayımı fazlaca kısıtlayıcı bir varsayım değildir. Araç kapasitesinin çok yüksek miktarlarda nakit taşınmasına elvermesi yanında, bazı şubelerden nakit temin edilirken, bazı şubelere nakit verilmesi araçtaki nakdin çok yüksek miktarlara ulaşmasını da engellemektedir. Bununla beraber, özellikle taşınan nakdin sigorta sözleşmesinde yer alan teminat sınırı nedeniyle belirtilen türden bir kısıdın modele eklenmesi düşünülebilecektir. Kapasite ve uzaklık sınırlaması olan AYP'ye ilişkin çözüm yöntemleri Laporte ve diğerleri (1985) tarafından hazırlanan çalışmada tartışılmaktadır⁹². Önerilen metot belli kısıtların serbestleştirilmesi ile alt turların

⁹¹ Gabriel Gutierrez-Jarpa ve Diğerleri, "A Branch-and-Price Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Deliveries, Selective Pickups and Time Windows", **European Journal of Operational Research**, Vol.206, No.2, (October 2010), s.341 - 349.

⁹² Gilbert Laporte, Yves Nobert ve Martin Desrochers, "Optimal Routing under Capacity and Distance Restrictions", **Operations Research**, Vol.33, No.5, (September-October 1985), s.1050-1073.

kaldırılması için yeni kısıtların eklenmesini içermektedir. Yöntemin 60 müşteriye kadar problemleri çözebildiği raporlanmaktadır.

Genel AYP Goel ve Gruhn 2008) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir⁹³. Ele alınan problem Yüklemenin Kabulü (Load Acceptance) ve AYP'nin birleşiminden oluşmaktadır. Burada müşterinin talebinin karşılanması zorunluluğu bulunmamaktadır. Talep eğer kazançlı ise karşılanmaktadır. Modelin geliştirilmesinde hava kargo taşımacılığında esinlenilmiştir. Bu taşımacılık türünde programlar önceden yapılmış olsa da gerçek talep son ana kadar bilinmemektedir. Buna bağlı olarak ilave taşıma kaynağı talebinde bulunulabilmekte ya da taşıma talepleri iptal edilebilmektedir. Bu nedenle de bu tip problemlerde çok hızlı bir şekilde çözüm üreten algoritmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışmada gerçek hayatta karşılaşılan durumların tamamının modellenmesi hedeflenmiştir. Bunlar kapasite, hız ve maliyetlerinin farklı olması nedeniyle araçların homojen olmaması, her bir aracın turuna merkezi bir depodan değil de herhangi bir yerden başlayabilmesi, turun merkezi depoda bitme zorunluluğunun olmaması gibi hususları içermektedir. Belirtilen özelliklerin ZA'lar tarafından gerçekleştirilen faaliyetler bakımından kritiklik arz etmediği düşünülmektedir. Diğer taraftan, bu özelliklerin probleme dâhil edilmesi iyi bir çözümün bulunması bir yana, uygun bir çözüm bulunmasını bile güçleştirmektedir. Bu nedenle yakın çevrenin araştırıldığı algoritmaların başarılı sonuç üretmediği belirtilmektedir. Çalışmada önerilen yöntem tekrarlı geliştirme yaklaşımıyla araştırma sırasında çevre yapısını değiştirmektedir. Algoritmanın çoğu zaman bir saniyenin altında bir sürede çözüm üretebildiği bu nedenle de dinamik planlama aracı olarak kullanılabilceği raporlanmaktadır. Bu yönüyle ZA'ların değişen koşullar altında anlık planlarının yapılmasında önerilen yöntemin katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araçların rotaları üzerindeki ara depolar vasıtasıyla tekrardan yüklenebildiği çok depolu AYP Crevier ve diğerleri (2007) tarafından incelenmiştir⁹⁴. Problemin çözümünde uyan-hafıza ve yasak arama buluşsal yöntemlerinin birleştirilmesi ile

⁹³ Asvin Goel ve Volker Gruhn, "A General Vehicle Routing Problem", **European Journal of Operations Research**, Vol.191, No.3, (December 2008), s.650-660.

⁹⁴ Benoit Crevier, Jean-François Cordeau ve Gilbert Laporte, "The Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Inter-Depot Routes", **European Journal of Operational Research**, Vol.176, No.2, (January 2007), s.756-773.

Tamsayı Programlamadan oluşan üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir. Yöntemlerinin güçlü bir karakter gösterdiği ve makul bir çözüm süresi gerektirdiği raporlanmıştır.

Müşteri taleplerinin bir merkezi depodan birden fazla dönemi kapsar şekilde dinamik olarak karşılanması durumunun incelendiği çalışma Wen ve diğerleri (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir⁹⁵. Makalede toplam yol ve müşteri bekleme minimize edilmeye çalışılmakta, ayrıca planlama döneminde günlük iş yükünün dengelenmesi de hedeflenmektedir. Problemin oluşturulmasında İsviçre menşeli büyük bir lojistik firmasından esinlenilmiştir. Gün içinde gelen müşteri talebi sonraki gün planlarında dikkate alınmaktadır. Öte yandan, fizibilite sorunları nedeniyle bir gün karşılanamayan talepler de yine ertesi gün planlarına dâhil edilmektedir. Ancak, geciktirilen talepler cezaya tabi olmaktadır. Problem ilk önce Karışık Tamsayı Doğrusal Program olarak modellenmiş ve üç aşamalı buluşsal yöntem ile çözülmüştür. Birden fazla amaç ise katsayı yaklaşımı ile ele alınmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kaliteli çözümlerin makul sürelerde elde edilebildiğini raporlamaktadır. Makalenin birden fazla dönemi kapsayan yönüyle nakit yönetim sistemlerine ilişkin kısa vadeli planların yapılmasında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Azi ve diğerleri (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada AYP'den farklı olarak her bir aracın birden fazla kez kullanılabildiği daha genel bir problem inceleme konusu yapılmıştır⁹⁶. Bu ilave özelliğe her bir aracın bozulabilir emtia taşıyabildiği, dolayısıyla gün içinde aracın kısa süreli periyotlarla merkezi depoya uğrayarak birden fazla kez müşteriye emtia taşıdığı hallerde ihtiyaç duyulabilmektedir. Nakit bozulabilir bir emtia niteliğinde olmamakla birlikte, önerilen modelin bir aracın birden fazla rotada kullanılmasının tercih edildiği ya da sabah ve öğleden sonra olmak üzere birden fazla rota planının bulunduğu durumlarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

Normal mesai saatleri içinde birden fazla rotanın söz konusu olduğu bu modelde her bir araç için gelir, talep ve zaman penceresi varsayımı altında optimizasyon

⁹⁵ Min Wen ve Diğerleri, "The Dynamic Multi-Period Vehicle Routing Problem", **Computers & Operations Research**, Vol.37, No.9, (September 2010), s.1615-1623.

⁹⁶ Nabila Azi, Michel Gendreau ve Jean-Yves Potvin, "An Exact Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Use of Machines", **Araştırma Raporu**, Quebec : University of Montreal, 2008, s.1-14.

söz konusudur. Baz AYP'den farklı olarak tüm müşterilerin taleplerinin karşılanması zorunluluğu da kaldırılmıştır. Sütun geliştirme yönteminin kullanıldığı çalışmada ana problem bir Küme Kapsama (Set Covering) Problemi olarak alınmıştır. Alt problemler ise fiyatlama problemi olarak değerlendirilmiş ve kaynak kısıtları altında en kısa mesafe algoritması kullanılarak çözülmüştür. Problem 25-40 müşteri ve iki araç içeren örnek problemlerde denenmiştir. Bazı problemler için 90.000 saniye kadar süre aldığı ölçümlenen buluşsal nitelikli yöntemin optimalden maksimum %4 kadar uzaklıkta çözüm üretebildiği gözlemlenmiştir.

Aynı aracın birden fazla rotaya verilebildiği bir diğer problem Taillard ve diğerleri (1996) tarafından inceleme konusu yapılmıştır⁹⁷. Çalışmada problemin çözümü için Tabu Araştırması Buluşsal Yöntemi geliştirilmiş olup, yöntemin genellikle iyi çözüm üretebildiği belirtilmektedir.

Goel ve Gruhn (2007) tarafından yapılan çalışmada gerçek hayatta karşılaşılan problemlere daha fazla uyum sağlaması için modellere yeni özellikler eklenmiştir⁹⁸. Bu özellikler arasında zaman pencereleri, hızları ve/veya maliyetleri farklı araçların kullanımı, çok boyutlu kapasite sınırlamaları, birden fazla alma ve verme hizmetinin verildiği yerin bulunması, araçlar için farklı başlama ve bitirme yerlerinin bulunması, araç ve emirlerin sıralamasında sınırlamaların bulunması gibi özellikler yer almaktadır. Belirtilen eklemelerden sıralama özelliğinin, müşterinin önemi ya da talebin aciliyetine bağlı olarak belli nakit ihtiyaçlarının daha öncelikli olarak karşılanmasında kullanılması düşünülebilecektir. Bu problemlerin çözümünde Büyük Civar Arama (Large Neighbourhood Search) Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada gün içinde gelen ve önceden planlamayan taleplerin söz konusu olduğu büyük havayolu taşıma şirketlerindeki olaylardan esinlenilmiştir.

⁹⁷ Eric D. Taillard, Gilbert Laporte ve Michel Gendreau, "Vehicle Routeing with Multiple Use of Vehicles", **The Journal of the Operational Research Society**, Vol.47, No.8, (August 1996), s.1065-1070.

⁹⁸ Asvin Goel ve Volker Gruhn, "Solving a Dynamic Real-Life Vehicle Routing Problem", **Araştırma Raporu**, Leipzig : University of Leipzig, 2007, s.1-6.

Hashimoto ve diğeri (2007) Zaman Penceresi Kısıtlı AYP'yi iki açıdan genelleştirmişlerdir⁹⁹. İlkinde yolculuk zamanı maliyetlendirilerek amaç fonksiyonuna eklenmiştir. Bu yöntemde çalışmamızda da başvurulmuştur. İkincisinde ise seyahat süresi ve maliyeti zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Böylelikle trafik yoğunluğunun da modellenmesi sağlanmıştır. Önerilen yöntemde belli bir grup rota baştan belirlenmekte, Yerel Arama ve Dinamik Programlama yöntemleri ile bu rota kümesi üzerinden en iyi zaman çizelgesi araştırılmaktadır.

Önerilen yöntemde dinamik olarak gelen talepler çeşitli buluşsal yöntemlerle belirlenen rotalara eklenmekte ve sonrasında çözüm iyileştirilmektedir. Önerilen algoritma 500 araca kadar ve 1.500 alan, 50 veren müşteriye kadarki problemler üzerinde denenmiştir. Genellikle arttırmaya dayanan araştırma yönteminin iyi sonuç verdiği, sıralı yöntemlerin nadiren iyi sonuç ürettiği gözlemlenmiştir. Yöntemin saniyeler mertebesinde makul bir çözüm üretmesi nedeniyle dinamik olarak araç rotalarının belirleneceği ya da güncelleneceği gerçek hayat problemlerinde uygulama alanı bulacağı değerlendirilmiştir.

Vacca ve Salani (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada AYP'ye zaman pencereleri ve dağıtımın bölünmesi şeklindeki eklemeler incelenmiştir¹⁰⁰. Modellerinde bir müşteriye götürülen dağıtım birden fazla parçaya yapılabilmekte ancak aynı araç tarafından götürülememektedir. Dağıtımın parçalanabilmesinin bazı problemlerde yarı yarıya maliyet düşüşüne neden olabildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, dağıtımların bölünmesinin nakit yönetimde tercih edilen bir yöntem olmayacağı değerlendirilmektedir. Problemin çözümünde parçalama yöntemine başvurularak optimizasyon hedeflenmiştir. Ancak 50 müşteri durumunda dahi optimal çözümün bulunamadığı gözlenmiştir.

⁹⁹ H.Hashimoto ve Diğeri, "Generalization of the Vehicle Routing Problem with Time Windows", **Araştırma Raporu**, Kyoto: University of Kyoto, 2007, s.1-6.

¹⁰⁰ Ilaria Vacca ve Matteo Salani, "The Vehicle Routing Problem with Discrete Split Delivery and Time Windows", **Araştırma Raporu**, Lausanne : Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, 2009, s.1-15.

2.4 RASSAL ŞARTLAR ALTINDA NAKİT YÖNETİMİ PROBLEMİ

2.4.1 Model Tanımı

Önceki bölümlerde tartışma konusu yapılan problemlerden farklı olarak, bu bölümde incelenecek problemde rassal faktörler de yer almaktadır. Sözü edilen rassal faktörler bir şirketin faaliyetleri kapsamında gerçekleştirilen ödeme ve tahsilât işlemlerinin zamanlaması ve bu işlemlerin büyüklüğüdür.

RŞANYP’de bir şirketin ticari faaliyetleri kapsamında ortaya çıkan ödeme ve tahsilât işlemleri inceleme konusu yapılmıştır. Belirtilen işlemlerin zamanlaması ve büyüklükleri önceden kesin olarak öngörülememektedir. Bahis konusu işlemlere bağlı olarak şirketin nakit varlıkları zaman zaman çok yüksek tutarlara ulaşırken, bazen de nakit varlıklar tümden tükenmektedir. Birinci durumda atıl para tutulmaması gayesiyle nakit varlıklar finansal yatırımlarla getirili aktiflere dönüştürülmekte, ikinci durumla karşılaşılmaması için ise finansal yatırımlar çözülerek gerçekleşmesi muhtemel ödemeler için ihtiyaten nakit bulundurulmaktadır. Atıl fonların finansal yatırımlara dönüştürülmesinin sabit ve/veya tutara bağlı olarak değişken maliyeti bulunmaktadır.

Belirtilen şartlar altında amaç, söz konusu işlemlere bağlı olarak ortaya çıkan toplam maliyetin minimize edilmesidir. Maliyet temelde iki unsurdan oluşmaktadır. Birincisi, cari hesapta atıl bulundurulan bakiye kaynaklı fırsat maliyetidir. İkinci unsur ise atıl fonların finansal yatırıma dönüştürülmesi veya tersi sırasında ortaya çıkan sabit ve değişken nitelikli maliyetlerdir.

Dikkat edileceği üzere iki maliyet unsuru arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Hesaptaki atıl bakiyenin azaltılması amaçlandığında, finansal yatırım yapılmakta ve işlem maliyeti ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bu işlem sonucunda hesapta serbest tutulan bakiye de azaldığından belirtilen bakiyenin yetersiz kalma ihtimali artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak finansal yatırım çözülmesi, dolayısıyla yine işlem maliyeti oluşması olasılığı artmaktadır.

RŞANYP’nin 1.4.6 numaralı bölümde de anlatılan, aşağıdaki hususlara yanıt verecek nakit yönetim politikasının belirlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir:

- Nakit Yönetim Biriminden nakit desteği talebinde bulunma eşliğini oluşturan minimum bakiye
- Nakit Yönetim Birimine nakit transfer etme eşliğini oluşturan maksimum bakiye
- Belirtilen işlemler sonucunda alınacak/verilecek nakdin büyüklüğü

Nakit yönetimi politikası şubenin nakit yönetimi merkezine uzaklığına ve nakit hareketlerinin karakterine bağlı olarak değişiklik arz edecektir. Nakit yönetimi politikasının belirlenmesiyle şubede ne ölçüde bir ortalama atıl nakit bulunacağı, şubenin ne sıklıkta nakit transferi talebinde bulunacağı, dolayısıyla da nakit yönetiminin maliyeti belirlenmiş olacaktır.

2.4.2 Matematiksel Model

Matematiksel modelin gösteriminde Girgis (1968) tarafından oluşturulan notasyon ve formülasyonlardan yararlanılmıştır¹⁰¹. İki tür finansal varlığın olduğu ve bu varlıklar arasında dönüştürmelerin birbirinden farklı sabit ve değişken giderlerinin bulunduğu varsayılmaktadır. Nakit varlık miktarının x 'den y 'ye gelmesi halinde dönüşüm maliyeti fonksiyonu $A(y, x)$ aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

K : Nakit varlığın getirili varlığa dönüştürülmesi sabit maliyeti

k : Nakit varlığın getirili varlığa dönüştürülmesi değişken maliyeti

T : Getirili varlığın nakit varlığa dönüştürülmesi sabit maliyeti

t : Getirili varlığın nakit varlığa dönüştürülmesi değişken maliyeti

$$A(y, x) = \begin{cases} K + k(y - x), & y > x \\ 0, & y = x \\ T + t(x - y), & y < x \end{cases} \quad (2.11)$$

¹⁰¹ Nadia Makary Girgis, "Optimal Cash Balance Levels", **Management Science**, Vol.15, No.3, (November 1968), s.130-132.

Görüldüğü üzere dönüşüm maliyetinin değişken kısmı doğrusal olarak tanımlanmıştır. Değişken maliyetin eğri olarak ifade edilmesi de mümkündür. Fakat fonksiyonun bu haliyle gerçek hayatı daha fazla temsil ettiği ve daha basit ve manipüle edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Beklenen nakit varlık fazlası/açığı maliyeti $L(y)$ ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

ξ : *Net harcama tutarı*

$\pi(\xi)$: *Net harcama tutarının olasılık dağılımı*

$h(\xi)$: *Nakit varlık fazlası birim maliyeti*

$s(\xi)$: *Nakit varlık açığı birim maliyeti*

$$L(y) = \int_{-\infty}^y h(y - \xi)\pi(\xi)d(\xi) + \int_y^{\infty} s(\xi - y)\pi(\xi)d(\xi) \quad (2.12)$$

Fonksiyonun birinci ifadesinde yer alan $(y - \xi)$ atıl varlık miktarını göstermekte, $h(y - \xi)$ de bu tutarın fırsat maliyetini temsil etmektedir. Bu rakam olasılık dağılımı ile çarpılıp integrali alınarak fırsat maliyetinin beklenen değeri bulunmaktadır. Benzer şekilde ikinci ifadede $(\xi - y)$ nakit varlık üzerindeki harcamayı, $s(\xi - y)$ bu harcama nedeniyle katlanılan cezai maliyeti göstermektedir. Bu rakam olasılık dağılımı ile çarpılıp integrali alınmakta ve cezai maliyetin beklenen değeri bulunmaktadır.

Tüm bu tanımlamalar eşliğinde x tutarındaki nakitle başlandığı halde, n döneminde iskonto oranı (α) ile indirgenmiş beklenen toplam maliyet $C_n(x)$ aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$C_0(x) = 0 \quad (2.13)$$

$$C_n(x) = \min_y \left\{ A(y, x) + L(y) + \alpha \int_{-\infty}^{\infty} C_{n-1}(y - \xi) \pi(\xi) d(\xi) \right\} \quad (2.14)$$

Görüldüğü gibi yukarıdaki formül özyineler (recursive) bir nitelik taşımaktadır. Diğer bir ifadeyle bir döneme ilişkin değer bulunmasında bir önceki döneme ilişkin değer kullanılması gerekmektedir. Problemin çözümünde Dinamik Programlama yönteminden faydalanılabilecektir.

$C(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} C_n(x)$ olarak tanımlandığında, yani daimi koşullarda (steady state) (2.14) numaralı denklem aşağıdaki şekle dönüşmektedir.

$$C(x) = \min_y \left\{ A(y, x) + L(y) + \alpha \int_{-\infty}^{\infty} C(y - \xi) \pi(\xi) d(\xi) \right\} \quad (2.15)$$

2.4.3 RŞANYP İle İlgili Literatür

RŞANYP'ye ilişkin literatür incelendiğinde temel olarak iki farklı ekol görülmektedir. İlk ekol paranın işlem talebini açıklamaya yönelik olarak İktisat Bilimi bakış açısı ile gerçekleştirilen çalışmalardır. İkinci ekolde ise Yöneylem Araştırması bakış açısıyla hazırlanan, görece daha teknik ve matematiksel tartışmaları içeren çalışmalar yer almaktadır.

RŞANYP envanter yönetimi problemleri ile büyük benzerlik göstermektedir. İki problem arasında en temel farklılık, satış, tüketim ya da kullanıma bağlı olarak envanter sürekli olarak azalırken, Nakit yönetiminde tahsilat işlemleri nedeniyle nakit varlıkların aynı zamanda artabilmesidir. Nakit varlıkların alım/satımında sabit ve değişken maliyetlerin oluşmasına benzer şekilde envanter yönetiminde ikmal maliyetleri olmaktadır.

2.4.3.1 RŞANYP'ye İlişkin Öncül Çalışmalar

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde öncelikle envanter yönetimine ilişkin çalışmaların gerçekleştirildiği, RŞANYP'ye ilişkin çalışmalarda envanter yönetimi çalışmaları sonuçlarından yararlandırıldığı görülmektedir.

Nakit yönetimini irdeleyen öncül nitelikteki ilk çalışma Baumol (1952) tarafından gerçekleştirilmiştir¹⁰². “Nakdin İşlem Talebi: Envanter Kuramı Yaklaşımı” başlığını taşıyan makalenin ilk cümlesinde nakit stokunun aslında bir mübadele aracı envanteri olduğu belirlenmesinde bulunmaktadır¹⁰³.

Adından da anlaşılacağı üzere esasen Baumol (1952) paranın işlem talebini ölçmeyi amaçlamıştır. Dolayısıyla çalışma İktisat Bilimi bakış açısı ile kaleme alınmıştır. Literatürde konuyla ilgili olarak yapılan çalışmaların önemli bir kısmının paranın işlem talebini tahmin etmeye yönelik olduğu görülmektedir.

Çalışmada ele alınan problemde;

- bir kişinin her dönem belli bir tutarda (T) harcama ihtiyacının bulunduğu,
- ödemelerin borçlanma (ya da yatırımın çözülmesi) yoluyla karşılandığı,
- borçlanmanın belirli bir faiz nitelikli maliyetinin (i) bulunduğu,
- her bir borçlanmanın belli ve sabit bir büyüklük üzerinden yapıldığı (C) ve
- her bir borçlanma için de belirli bir sabit ücret (b) ödenmesi gerektiği

varsayılmaktadır. Nakit yönetiminin toplam maliyetine ilişkin formülasyon aşağıdaki şekilde yapılmakta olup, karar değişkeni borçlanma miktarı C ’dir.

$$\frac{b T}{C} + \frac{i C}{2} \quad (2.16)$$

T/C ifadesi bir dönemde kaç kez borçlanıldığını göstermekte, bu sayının b ile çarpılması sonucunda toplam borçlanma maliyeti bulunmaktadır. Her bir borçlanma işleminin başında C , sonunda ise 0 kadar nakit bulunmaktadır. Böylelikle atıl tutulan nakit ortalaması $C/2$ olmaktadır. Böylelikle formülasyonun ikinci ifadesinde bu tutar fırsat maliyetiyle çarpılarak, atıl para tutma maliyeti bulunmaktadır.

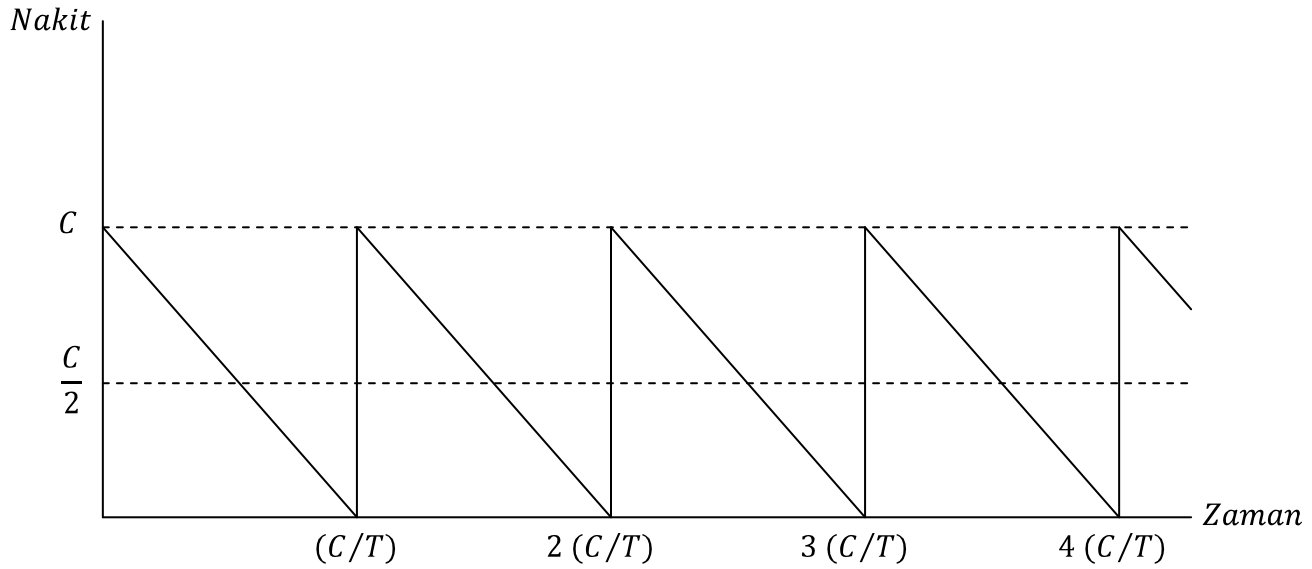
¹⁰² William J. Baumol, “The Transaction Demand for Cash: An Inventory Theoretic Approach”, **The Quarterly Journal of Economics**, Vol.66, No.4, (November 1952), s.545-556.

¹⁰³ Baumol, s.545.

Optimum maliyetin bulunması için fonksiyonun ikinci derece türevi alınarak sıfıra eşitlenmekte ve optimum maliyeti veren borçlanma miktarı aşağıdaki şekilde oluşmaktadır:

$$C^* = \sqrt{\frac{2 b T}{i}} \quad (2.17)$$

Baumol (1952) yukarıdaki basitleştirilmiş koşullar altında rasyonel bir bireyin para talebinin belirtilen formülle ifade edildiği kadar olacağı sonucuna varmaktadır. Belirtilen formül Envanter Yönetimine ilişkin literatürde yer alan Ekonomik Sipariş Miktarı formülü ile birebir aynıdır.



Grafik 3: Baumol Modeli

Baumol (1952) çalışmasında yer alan model gerçek hayatın aşırı basitleştirilmiş bir şeklidir. En başta nakit ihtiyacının önceden bilindiği ve zaman içinde değişmediği varsayılmaktadır. Diğer taraftan işlemlerin yalnızca ödemelerden oluştuğu, herhangi bir tahsilat işleminin olmadığı varsayımı yapılmaktadır.

İktisat Bilimi bakış açısıyla hazırlanan bir diğer çalışmada Tobin (1956) paranın işlem talebi ile faiz oranı arasındaki ilişkiyi inceleme konusu yapmıştır¹⁰⁴. Tobin'in çalışmasında benzer şekilde ekonomik aktörlerin nakit bulundurma eğilimleri üzerinde durulmuş, Baumol'un çalışmasına oldukça benzer şekilde para tutma maliyeti ile işlem maliyeti toplamının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Tobin'in çalışması Baumol'un çalışmasından iki noktada ayrılmaktadır. Birincisi, her bir işlemin sabit maliyetinin yanında, işlem tutarına bağlı olarak değişen bir maliyet faktörü daha bulunduğu varsayılmıştır. İkincisi bireyin harcamaları yanında gelir sağlama durumu da incelenmiştir. Bu bakımdan Tobin tarafından ele alınan problem Baumol tarafından incelenenin daha genel bir hali olmaktadır.

Çalışmanın ana sonucu şöyledir. Nakit giriş ve çıkışları arasındaki uyumsuzluk, işlem gayesi ile para talebinde temel etkidir. Ancak, belirtilen giriş ve çıkışların rastlantısal olmadığı durumda dahi işlem maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle atıl para tutulması tercihi yapılabilecektir.

Önceki iki çalışma temelde bireylerin nakit varlık talebini açıklamaya çalışmış iken Miller ve Orr (1966) şirketlerin nakit talebini incelemiştir¹⁰⁵. Miller ve Orr (1966) çalışması gerçek hayatı yansıtmak bakımından öncelilere göre bir önemli iyileşme sağlamaktadır. Bu da ödeme ve tahsilât işlemlerinin rassal gerçekleşmesidir. Çalışmada kullanılan varsayımlar aşağıda yer almaktadır:

- Getirisiz nakit ile faiz getirili kıymetten oluşan iki tür finansal varlık bulunmaktadır.
- Bu iki varlık arasındaki dönüşüm işlemlerinin sabit maliyeti bulunmaktadır.
- Dönüşüm işlemi ani gerçekleşmektedir.
- Şirketin nakit miktarındaki artış ve azalışlar Rassal Yürüyüş (Random Walk) göstermektedir.

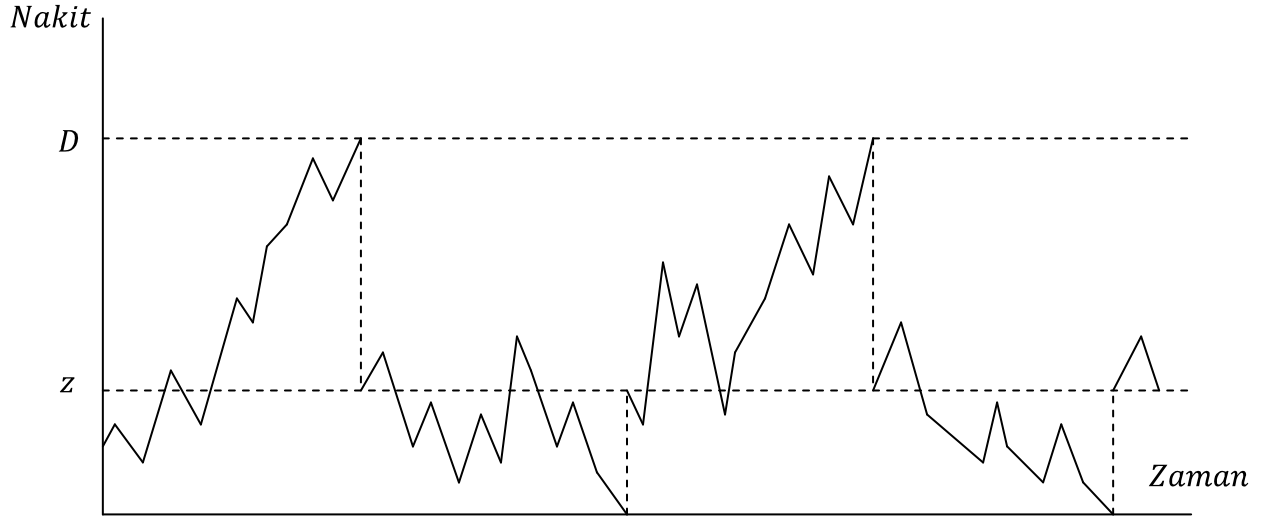
¹⁰⁴ James Tobin, "The Interest-Elasticity of Transactions Demand for Cash", **The Review of Economics and Statistics**, Vol.38, No.3, (August 1956), s.241-247.

¹⁰⁵ Merton H. Miller ve Daniel Orr, "A Model of the Demand for Money by Firms", **The Quarterly Journal of Economics**, Vol.80, No.3. (August 1966), s.413-435.

- Nakit artış ve azalışları eşit olasılıkta ve eşit tutarlı olarak gerçekleşmektedir.
- Şirket nakit bakiyesinin belli bir alt limit ve üst limit arasında dalgalanması şeklinde bir politika benimsenmiştir. Bu limitlerin dışına çıkması halinde belli bir hedef değere getirecek şekilde faiz getirili kıymet alınmakta ya da satılmaktadır.

Belirtilen politika (z, D) olarak ifade edilmekte olup, z hedef kasayı, D ise kasa üst limitini temsil etmektedir. Kasa alt limiti ise 0 olarak belirlenmekle birlikte sıfırdan farklı olarak alınması da mümkündür.

Miller-Orr Modelinin grafiksel gösterimi aşağıda yer almaktadır. Nakit miktarı alt ve üst limitler arasında kaldığı müddetçe herhangi bir müdahalede bulunulmamakta, bu limitlere erişmesi halinde hedef kasaya eşitlenmektedir.



Grafik 4: Miller-Orr Modeli

Makalede öncelikle maliyet fonksiyonu geliştirilmekte, bu formülasyonun kısmi türevi sıfıra eşitlenerek optimal değerler bulunmaktadır. Nakit hareketi büyüklüğü m , finansal varlıklar arasındaki dönüştürme maliyeti γ , günlük faiz oranı v , bir gündeki işlem miktarı t ile gösterildiğinde optimal hedef kasa ve üst kasa büyüklüğü aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$z^* = \sqrt[3]{\frac{3 \gamma m^2 t}{4 v}} \quad (2.18)$$

$$D^* = 3 z^* \quad (2.19)$$

Çalışmada yukarıda belirtilen çözümün özelliklerine ilişkin tartışmalara yer verilmiş, sonuçların paranın işlem talebine ilişkin etkileri değerlendirilmiştir. Makalede nakit azalma ve artış ihtimallerinin eşit olmadığı duruma ilişkin tespitler de tartışılmıştır.

Miller ve Orr (1966) makalesinde (z, D) politikası veri olarak alınmış ve en düşük maliyeti verecek şekilde parametreleri bulunmuştur¹⁰⁶. Bu politikanın tüm diğer politikalar arasında optimal olup olmadığına dair herhangi bir tespitle bulunulmamıştır.

Miller ve Orr (1968) tarafından gerçekleştirilen daha sonraki bir çalışmada, önceki çalışmada yer alan üç varsayım gerçek hayata uyarlanabilirlik bakımından sorgulanmıştır¹⁰⁷. Bunlardan ilki ödeme ve tahsilatların eşit tutarlı olması, ikincisi nakit varlıklarla getirili varlıklar arasındaki transfer maliyetinin sabit nitelikli olması, üçüncüsü yalnızca iki tür finansal varlık bulunması varsayımıdır. Çalışmada varsayımların geçerli olmaması durumları teker teker incelenmiş ve Miller-Orr Modelinden elde edilen iktisadi sonuçlar bakımından bu varsayımların çok fazla sorun oluşturmadıkları sonucuna varılmıştır.

Greene tarafından hazırlanan notta Miller-Orr (1968) çalışmasında yer alan iki faiz getirisi olan araç içeren probleme ilişkin sonuçlar eleştiri konusu yapılmıştır. Miller ve Orr'da (1968) köşe çözümleri dikkate almaksızın değerlendirme yapıldığı, bu nedenle iki araçtan da tutmanın optimum olabileceği şeklinde hatalı bir sonuca vardıkları belirlemede bulunulmuştur¹⁰⁸.

¹⁰⁶ Miller ve Orr, s.413-435.

¹⁰⁷ Merton H. Miller ve Daniel Orr, "The Demand for Money by Firms: Extensions of Analytic Results", **The Journal of Finance**, Vol.23, No.5, (December 1968), s.735-759.

¹⁰⁸ Clinton A. Greene, "The Management of Near-Money in the Miller-Orr Model is not Optimal", **Journal of Money, Credit and Banking**, Vol.24, No.3, (August 1992), s.399-404.

2.4.3.2 Kuramsal Altyapının Geliştirilmesine Yönelik Çalışmalar

Önceki bölümde değinilen öncül çalışmalar sonrasında RŞANYP'nin çeşitli versiyonları üzerinde kuramsal altyapıyı yerleştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Girgis¹⁰⁹ (1968) çalışmasında Miller-Orr¹¹⁰ (1966) Modelini birkaç yönden genelleştirmiştir. İlk olarak Miller-Orr modelinde her bir işlemin eşit tutarlı olduğu varsayılırken, Girgis'in (1968) çalışmasında işlem tutarı rassal olarak $\pm\infty$ arasında değişmektedir. İkinci genelleştirme finansal varlıklar arasındaki transferlerin sabit maliyet yanında, değişken maliyetinin de olabilmesidir. Bir diğer genelleştirme ise nakit varlığın getirili varlığa dönüştürülmesi ile getirili varlığın nakit varlığa dönüştürülmesinin farklı maliyetler doğurmasıdır. Girgis (1968) nakit miktarının eksiye düşebilmesi durumunu da analizine dâhil etmiş ve bu durumda farklı bir faiz nitelikli maliyetin yansıtılacağını varsaymıştır. Ayrıca, nakit tutma maliyetinin konveks olduğu da varsayılmıştır.

Girgis'in (1968) çalışmasındaki ana sonuç (2.12) numaralı formülün, konvekslik varsayımları ve (2.11) numaralı denklemde yer alan T sabit maliyetinin 0 olduğu durumda (U, u, d) olarak ifade edilen aşağıdaki politikaya işaret ettiğinin gösterilmesidir:

- Eğer nakit varlık bakiyesi U 'dan küçükse kasa bakiyesini u 'ya çıkar
- Eğer nakit varlık bakiyesi U ile d arasında ise değiştirme
- Eğer nakit varlık bakiyesi d 'den büyükse kasa bakiyesini d 'ye indir

Girgis (1968) U, u ve d parametrelerinin hesaplanmasına yönelik olarak Miller-Orr Modeline benzer bir formülasyon vermemiştir. Girgis (1968) hem K , hem de T 'nin sıfırdan farklı olduğu durumda (U, u, d, D) politikasının optimal olacağı şeklinde bir öngöründe de bulunmuştur.

¹⁰⁹ Girgis, s.130-140.

¹¹⁰ Miller ve Orr, s.413-435.

Eppen ve Fama (1969) finansal varlıklar arasındaki transfer maliyetinin yalnızca değişken nitelikli maliyetlerden oluştuğu durumda (U, D) olarak ifade edilen aşağıdaki politikanın optimal olduğunu göstermiştir¹¹¹:

- Eğer nakit varlık bakiyesi U 'dan küçükse kasa bakiyesini U 'ya çıkar
- Eğer nakit varlık bakiyesi D 'den büyükse kasa bakiyesini D 'ye indir

Bir diğer çalışmalarında Eppen ve Fama (1968) finansal varlıklar arasındaki transfer maliyetlerinin hem sabit hem de değişken unsurlar içerdiği durumu incelemiştir. Problemi Doğrusal Program olarak modelleyen Eppen ve Fama matematiksel olarak ispatlayamamakla birlikte (U, u, d, D) politikasının optimal olduğunu yaptıkları deneysel çalışmalarda gözlemlemişlerdir¹¹². Belirtilen makalede çeşitli parametre büyüklüklerine göre çözümde meydana gelen değişiklikler ve hassasiyet analizi de detaylı bir şekilde çalışılmıştır.

Neave (1970) finansal varlıklar arasındaki transfer maliyetlerinin sabit ve oransal bölümlerden oluştuğu bir problemi incelemiştir¹¹³. Çalışmada (2.12) numaralı denklemdaki fonksiyonunun konveks olduğu, maliyetlerin de pozitif olduğu durumda çift yönlü (s, S) envanter yönteminin genellikle optimal sonuç vermediği belirlenmesinde bulunmaktadır. Ayrıca, oransal maliyetin sıfır olduğu, finansal varlıklar arasındaki sabit transfer maliyetinin eşit olduğu, (2.12) numaralı denklemlerle ifade edilen kayıp fonksiyonunun simetrik yarı konveks ve olasılık dağılımının yarı konkav olduğu durumlarda basit bir politikanın optimal olduğu gösterilmektedir. Bunun dışında kalan problemler için konveks üst ve alt limitleri oluşturan fonksiyonlar üretilerek optimal politikanın kısmi olarak açıklanması sağlanmıştır.

¹¹¹ Gary D. Eppen ve Eugene F. Fama, "Cash Balance and Simple Dynamic Portfolio Problems with Proportional Costs", **International Economic Review**, Vol.10, No.2, (June 1969), s.119-133.

¹¹² Gary D. Eppen ve Eugene F. Fama, "Solutions for Cash-Balance and Simple Dynamic-Portfolio Problems", **The Journal of Business**, Vol.41, No.1, (January 1968), s.94-112.

¹¹³ Edwin H. Neave, "The Stochastic Cash Balance Problem with Fixed Costs for Increases and Decreases", **Management Science**. Vol.16, No.7, (March 1970), s.472-490.

Üç farklı finansal varlığı içeren bir model Eppen ve Fama (1971) tarafından çalışılmıştır¹¹⁴. Daha önceki örneklerde getiri sağlamayan nakit varlık ile faiz getirisi sağlayan tahvil gibi bir varlıktan oluşan iki finansal aktif olduğu varsayılırken, bu çalışma hisse senedini de aktifler arasına eklemiştir. Para tutma ve nakit açığı oluşma maliyetlerinin bakiye ile oransal olduğu, sabit nitelikli bir maliyetin bulunmadığı varsayımı yapılmıştır. Hisse senetlerinin getirisi yüksektir ancak işlem maliyetleri de paralelinde yüksek olmaktadır. Bu nedenle belli durumlarda hisse senedi yerine tahvil bulundurulması anlamlı hale gelmektedir.

Porteus (1972) RŞANYP'nin Girgis'in çalışmasında yer verilen marjinal maliyet formülasyonu ile toplam maliyet formülasyonlarını detaylı bir şekilde çalışmış ve bunların eşit olduğunu göstermiştir¹¹⁵.

Kasada kalan nakit bakiye üzerinden masraf hesaplanan RŞANY problemi Porteus ve Neave (1972) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir¹¹⁶. Sabit işlem maliyetlerinin dikkate alınmadığı problemde (U, u, d, D) politikasının optimal olduğu gösterilmiştir.

Bir aylık bir periyodun ilk gününde nakit bakiyesinin artırılabilirdiği, kalan dönemde ise hem belirli hem de rassal nakit giriş/çıkışlarının olduğu problem Heyman (1973) tarafından incelenmiştir¹¹⁷. İncelenen modelin Girgis tarafından modellenene göre farklılıkları sabit transfer maliyetlerinin olmaması, her dönemdeki rassal dağılım fonksiyonunun farklı olabilmesi, ayrıca nakit varlıkların eksiye dönüşmesine izin verilmemesidir. Bir şirketin nakit varlıklarının eksiye düşmesini istemeyeceği ve bu nedenle de bu ihtimal üzerinde sınır konulmak isteyeceği değerlendirilmiştir. Çalışmada önce tek dönemli sonra da çok dönemli problemler için çözümlerin matematiksel ifadelerine yer verilmiştir. Nakit varlıkların eksiye dönüşmemesi sınırlamasının,

¹¹⁴ Gary D. Eppen ve Eugene F. Fama, "Three Asset Cash Balance and Dynamic Portfolio Problems", **Management Science**, Vol.17, No.5,(January 1971), s.311-319.

¹¹⁵ Evan L. Porteus, "Equivalent Formulations of the Stochastic Cash Balance Problem", **Management Science**, Vol.19, No.3, (November 1972), s.250-253.

¹¹⁶ Evan L. Porteus ve Edwin H. Neave, "The Stochastic Cash Balance Problem with Levied Against the Balance", **Management Science**, Vol.18, No.11, (July 1972), s.600-602.

¹¹⁷ Daniel P. Heyman, "A Model for Cash Balance Management", **Management Science**, Vol.19, No.12, (August 1973), s.1407-1413.

“ihtiyacın olandan fazla nakit tutma” olarak ifade edilebilecek bir çözümü işaret ettiği belirlemede bulunulmuştur.

2.4.3.3 RŞANYP'nin Genel Çerçevesini Çizen/Derleyen Çalışmalar

Elton ve Gruber (1974) nakit yönetimi ile ilgili olarak daha önceki çalışmaların dağınık bir şekilde geliştirildiği, genel bir problemin alt bölümlerinin çeşitli varsayımlar altında incelendiği saptamasında bulunularak, bu çalışmaların tümünü birleştiren, eksik noktaları tamamlayan bir yaklaşım ortaya koymuřlardır¹¹⁸. Makalelerinin ilk bölümünde nakit yönetimine ilişkin genel Dinamik Programlama formülasyonu geliştirilmiş, sonraki bölümlerinde problemin, işlem maliyetlerinin sabit, değişken ve hem sabit hem de değişken unsurlar içerdii durumlar analiz edilerek optimum politikalar ispatlarıyla birlikte verilmiştir. Çalışmanın son bölümünde geliştirdikleri genel formülasyonun Miller-Orr¹¹⁹ (1966) ve ikiden fazla finansal varlıklı modellere nasıl dönüştürülebileceği tartişılmıştır.

Literatürde dağınık halde yer alan çalışmaları derleyen, birleştiren ve daha anlaşılır bir şekilde sunan bir diğer çalışma Milbourne (1983) tarafından gerçekteřtirilmiřtir¹²⁰. Milbourne (1983) oldukça duru bir anlatımla Baumol¹²¹ (1952), Tobin¹²² (1956), Miller ve Orr¹²³ (1966) ile Eppen ve Fama¹²⁴ (1968) modellerini de içerecek şekilde hangi özel durumda hangi politikanın optimal seçenek olduğunu grafiksel çizimler üzerinden göstermiştir.

¹¹⁸ Edwin J. Elton ve Martin J. Gruber, “On the Cash Balance Problem”, **Operational Research Quarterly**, Vol.25, No.4, (December 1974), s.553-572.

¹¹⁹ Miller ve Orr, s.413-435.

¹²⁰ Ross Milbourne, “Optimal Money Holding under Uncertainty”, **International Economic Review**, Vol.24, No.3, (October 1983), s.685-698.

¹²¹ Baumol, s.545-556.

¹²² Tobin, s.241-247.

¹²³ Miller ve Orr, s.413-435.

¹²⁴ Eppen ve Fama, s.119-133.

Bar-Ilan¹²⁵ (1990) basit bir aksi örnek kullanarak, Milbourne¹²⁶ (1983) tarafından ortaya konulan bulguların net harcama tutarı dağılımının ayrık zamanlı (discrete time) olduğu modellerde doğru olmayabileceği tespitini yapılmıştır¹²⁷.

2.4.3.4 RŞANYP İle İlgili Son Dönem Çalışmaları

Sürekli zamanlı modellerde (U, u, d, D) şeklinde ifade edilen basit politikaların optimal olduğu Constantinides ve Richard (1978) tarafından gösterilmiştir¹²⁸. Çalışmalarında hem sabit hem de doğrusal değişken maliyetlerin bulunduğu varsaymışlardır.

Her bir dönemdeki net ödeme/tahsilat miktarının eşit ve bağımsız olmayan rassal değişken olduğu nakit yönetimi problemi Hinderer ve Waldmann (2001) tarafından incelenmiştir¹²⁹. Çalışmada basit politikaların optimal olmalarına yönelik yeter şartlar belirlenmiştir.

2.5 NYS'LERİN TASARIMINA TÜMLEŞİK YAKLAŞIMLAR

Tezimizin 1.4 numaralı bölümünde optimal Nakit Yönetim Sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken 6 ayrı temel hususa değinilmiştir. Takip eden bölümlerde de;

- bunların ilk üçünün bir *Yerleşim Problemi* olan KSTYP,
- sonraki ikisinin bir *Yönlendirme Problemi* olan AYP,
- sonuncusunun ise özünde bir *Envanter Yönetimi Problemi* olan RŞANYP

modelleri kullanılarak çözümlenebileceği vurgulanmıştır.

¹²⁵ Avner Bar-Ilan, "Trigger-Target Rules need not be Optimal with Fixed Adjustment Costs: A Simple Comment on Optimal Money Holding under Uncertainty", **International Economic Review**, Vol.31, No.1, (February 1990), s.229-234.

¹²⁶ Milbourne, s.685-698.

¹²⁷ Ross Milbourne, "Optimal Money Holding under Uncertainty: Reply", **International Economic Review**, Vol.31, No.1, (February 1990), s.235.

¹²⁸ George M. Constantinides ve Scott F. Richard, "Existence of Optimal Simple Policies for Discounted-Cost Inventory and Cash Management in Continuous Time", **Operations Research**, Vol.26, No.4, (July-August 1978), s.620-636.

¹²⁹ K. Hinderer ve K.-H. Waldmann, "Cash Management in a Randomly Varying Environment", **European Journal of Operational Research**, Vol.130, No.3, (May 2001), s.468-485.

Bu problemlerin her birinin NYS tasarımının bir parçasında ayrı ayrı kullanılması, problemin her bir parçasının ayrı en iyiye ulaştırılması anlamına gelecektir. Bir sistemin her bir parçasının kendi içinde optimize edilmesinin sistemin bütününe optimize edilmesi demek olmayacağı iyi bilinen bir gerçektir. Belirtilen sorunun giderilmesini teminen modelleri birlikte ele alarak çözüm aramanın daha iyi bir yöntem olacağı değerlendirilmektedir.

Yerleşim, yönlendirme ve envanter yönetimi problemlerinin bir arada çözümünü hedefleyen üç değişik yöntemden bahsedilebilecektir¹³⁰.

Birleşik olarak adlandırılan ilk yöntemde sistemin bütününe irdeleyen tek bir model oluşturulması ve bu modele çözüm aranması hedeflenmektedir. Ancak, sistemin parçalarının çözümünü adresleyen problemler dahi literatürde zor bilinen problemler arasında yer almaktadır. Bu nedenle sistemin bütününe adresleyen, dolayısıyla global en iyinin bulunmasını sağlayacak bir model kurulabilse bile, gerçek hayatın gerektirdiği ölçeklerde böyle bir modelin kesin çözüm metotları kullanılarak çözülmesi mümkün bulunmayabilecektir. Bu bakımdan, birleşik yöntemlerde kesin algoritmalar yerine genellikle buluşsal yöntemlerle çözüm amacı güdülmüştür.

Sıralı olarak adlandırılan ikinci yöntemde her bir problem çözülmekte ve sonuçları bir sonrakinde kullanılmaktadır. Problemler birer kez çözüldüğünde problemin tamamı da çözümlenmiş olmaktadır.

Tekrarlı olarak adlandırılan üçüncü yöntemde ise problemler yine sıralı olarak çözülmekte, ancak belli bir durma kriteri sağlanana kadar bir problemin çözümü diğerine bir girdi olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Bu yöntem ilkinde göre daha kolay çözüm üretilmesine olanak sağlamakta, ikinci yöntemde ortaya çıkan çözümün iteratif olarak iyileştirilmesini amaçladığı için daha iyi sonuca ulaşılması imkânı sağlamaktadır.

¹³⁰ G. Nagy ve S. Salhi, "Nested Heuristic Methods for the Location-Routing Problem", **The Journal of the Operations Research Society**, Vol.47, No.9, (September 1996), s.1166-1174.

Çalışmamızda tekrarlı çözüm yöntemi benimsenmiştir. Sistemin her bir parçasının diğeriyle olan ilişkisi ortaya konulmuş, her birinin çözümünde bu ilişkilerden kaynaklanan etkileşimler veri alınmış ve tekrarlı bir yaklaşımla çözümlerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Tümleşik yaklaşımlara ilişkin yakın tarihli, kapsamlı ve detaylı bir literatür araştırması Shen (2007) tarafından hazırlanan çalışmada yer almaktadır¹³¹. Makale sırasıyla Yerleşim – Yönlendirme, Yönlendirme – Envanter Yönetimi, Yerleşim – Envanter Yönetimi problemlerine ilişkin önemli çalışmalara değinilmiştir. Çalışmada bir baz model oluşturulmuş ve literatürde yer alan gelişmeler modele ilaveler yapılarak anlatım tutarlı bir sistematik içinde gerçekleştirilmiştir.

Rassal koşullar altında tedarik zinciri ağlarının tasarımı ile ilgili olarak literatürde mevcut bulunan çalışmaların kritik edildiği bir makale Klibi ve diğeri (2010) tarafından hazırlanmıştır¹³². Çalışmada tedarik zincirlerinde yer alan rassal koşullar ve meydana gelebilecek felaketler detaylı olarak incelenmiştir. Rassal koşulların bulunduğu bir gerçek hayatta bu koşullar dikkate alınmadan yapılacak tasarımların doğru tasarımlar olamayacağı tespitinde bulunulmuş ve özellikle rassal faktörler içermeyen optimizasyon modellerine yönelik eleştirilerde bulunulmuştur. Modellerin belirtilen koşulları içerecek şekilde geliştirilmesine yönelik önerilere yer verilmiştir.

Takip eden bölümde öncelikle üç problem türünün ikisini adresleyenler ayrı başlıklar şeklinde ele alınmış, son olarak da üçünü birlikte değerlendiren çalışmalara yer verilmiştir.

2.5.1 Yerleşim / Yönlendirme Problemi Literatürü

Yerleşim ve yönlendirme problemlerinin birlikte ele alındığı çalışmalar bilim çevrelerinde yerleşim ve envanter yönetimi, yönlendirme ve envanter yönetimi

¹³¹ Juo-Jin Max Shen, “Integrated Supply Chain Design Models: A Survey and Future Research Directions”, **Journal of Industrial and Management Optimization**. Vol.3, No.1, (February 2007), s.1-27.

¹³² Walid Klibi, Alain Martel ve Adel Guitouni, “The Design of Robust Value-Creating Supply Chain Networks: A Critical Review”, **European Journal of Operational Research**. Vol.203, No.2, s.283-293, (June 2010), s.283-293.

problemlerine göre daha fazla ilgi görmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, nakit yönetim sistemlerindeki bölgesel birimlerin yerleşimi ile bunlara bağlı olarak faaliyet gösteren ZA'ların ana güzergâhlarının belirlenmesinde kullanılabilecektir.

Yerleşim-Yönlendirme probleminin yakın tarihli ve detaylı bir literatür taraması Nagy ve Salhi (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir¹³³. Çalışma ilgili problemleri sınıflandırmaya yönelik bir yöntem önermiş, daha sonra bu sınıflandırmaya dayalı olarak belirli ve rassal problemler, kesin ve buluşsal çözüm yöntemleri, durağan ve dinamik unsurlar içeren problemlerin çalışıldığı literatürü belli bir mantık çerçevesinde aktarmıştır.

Yerleşim ve yönlendirme probleminin birlikte ele alındığı öncül nitelikli üç çalışma bulunmaktadır. Laporte ve Nobert (1981) tarafından hazırlanan ilk çalışmada tek depo bulunan¹³⁴ kapasitesiz problem, Laporte ve diğerleri (1983) tarafından hazırlanan ikincisinde çok depo bulunan kapasitesiz problem¹³⁵, Laporte ve diğerleri (1986) tarafından hazırlanan üçüncüsünde ise kapasite sınırlaması bulunmayan problem incelenmiştir¹³⁶. Çalışmalarda problem Tamsayı Program olarak modellenmiş ve çözümde Kısıt Serbestleştirilmesi ve Dallandır ve Sınırla yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen yöntemlerin 50'ye kadar müşteri içeren problemlere uyarlanabildiği raporlanmaktadır.

Aynı anda hem toplama hem de teslimatın söz konusu olduğu yerleşim ve yönlendirme problemine ilişkin bir çalışma Nagy ve Salhi (2005) tarafından yapılmıştır¹³⁷. Önerilen birleşik nitelikli yöntem öncelikle yerleşim problemini çözmekte, daha sonra bu çözümü tadil ederek yönlendirme problemine uygun bir çözüm

¹³³ Gabor Nagy ve Said Salhi, "Location Routing: Issues, Models and Methods", **European Journal of Operations Research**, Vol.177, No.2, (March 2007), s.649-672.

¹³⁴ G. Laporte ve Y. Nobert, "An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depot Location", **European Journal of Operational Research**, Vol.6, No.2, (February 1981), s.224-226.

¹³⁵ G. Laporte, Y. Nobert ve P. Pelletier, "Hamiltonian Locations Problems", **European Journal of Operational Research**, Vol.12, No.1, (January 1983), s.80-87.

¹³⁶ G. Laporte, Y. Norbert ve D. Arpin, "An Exact Algorithm for Solving a Capacitated Location-Routing Problem", **Annals of Operations Research**, Vol.6, No.9, (1986), s.293-310.

¹³⁷ Gabor Nagy ve Said Salhi, "Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problem with pick ups and deliveries", **European Journal of Operational Research**, Vol.162, (April 2005), s.126-141.

bulmaktadır. Tadil işleminde buluşsal yöntemlerden faydalanılmaktadır. Önerilen yöntem birden fazla deponun bulunduğu problemlere de uyarlanabilmektedir.

Yöntemleri şu şekilde çalışmaktadır. Öncelikli olarak depoların ilk yerleşimleri belirlenmektedir ve bu yerleşim için çok depolu yönlendirme problemi çözülmektedir. Daha sonra her bir deponun çözümden çıkarılması, yeni bir depo eklenmesi ve bir depo çıkarılıp diğerinin eklenmesi seçeneklerinin her biri için çok depolu yönlendirme problemleri çözümlenmekte ve en iyisi seçilerek bir sonraki aşamaya geçilmektedir. Çalışmanın son bölümünde algoritmanın performansına ilişkin deneysel çalışmalar yer almaktadır.

Yerleşim ve yönlendirme problemlerine iki aşamalı olarak Tabu Araştırma Buluşsal Yöntemi yaklaşımı Tüzün ve Burke (1999) tarafından önerilmektedir¹³⁸. Önerilen algoritmanın yerleşim problemi çözülen ilk aşamasında temelde iki değerlendirme yapılmaktadır:

- Bir tesis kapatılıp diğeri açılmakta ve tüm bu tip hareketlerin en iyisi seçilmektedir. En iyi, her bir tesis ile depo arasındaki toplam mesafe dikkate alınarak belirlenmektedir.
- Kapalı bir tesis açılmaktadır. Bu durumda tesis açılması nedeniyle sabit bir maliyet gelmekte, yol maliyetinde ise azalma olmaktadır.

Yönlendirme probleminin değerlendirildiği ikinci aşamada ise aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir:

- Önceden belirlenmiş rotalara yeni müşteriler eklenerek en düşük maliyetli olan seçilmektedir.
- Ayrı rotalardaki birbirine yakın müşteriler değiştirilmekte ve etkisi ölçülmektedir.

¹³⁸ Dilek Tüzün ve Laura I. Burke, "A Two-Phase Tabu Search Approach to the Location Routing Problem", **European Journal of Operational Research**, Vol.116, No.1, (July 1999), s.87-99.

Tekrarlı olması nedeniyle çalışmamızda önerilen yönteme benzer nitelik taşıyan yöntemlerinin daha önceki benzer çalışmalara göre daha uzun süre gerektirdiği ama daha iyi sonuçlar ürettiği raporlanmaktadır.

Salhi ve Nagy (1999) yerleşim ve yönlendirme kararlarının birlikte verilmesinin güçlü ve tutarlı sonuçlar verip vermediğini incelemiştir¹³⁹. Birleştirilmiş bir model önerisinde bulunarak bu yöntemi sıralı buluşsal yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Gerçekleştirdikleri benzetişim çalışmalarında birleştirilmiş modelin tutarlı bir şekilde daha iyi sonuç verdiğini raporlamışlardır.

Wu ve diğerleri (2002) araç filosunun homojen olmaması, sınırlı sayıda araç içermesi gibi daha gerçekçi şartlar altındaki çok depolu yerleşim ve yönlendirme problemini incelemiştir¹⁴⁰. Problem tahsis-yerleşim ve yönlendirme problemi olarak iki parçaya bölünmüş ve buluşsal yöntemler kullanılarak tekrarlı olarak çözülmüştür. Önerilen yöntem literatürdeki test problemlerine uyarlanmış ve rekabetçi çözüm üretebildiği raporlanmıştır.

Yerleşim ve yönlendirme problemi için yeni bir model Sambola ve diğerleri (2005) tarafından önerilmiştir¹⁴¹. Makalede tesislerin yerleşimi ve bu tesise bağlı olarak çalışan tek bir aracın rotasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tesis yerleşiminin sabit maliyeti ile yol maliyetinin toplamının minimize edilmesi hedeflenmiştir. Problemin çözümünde kullanılmak üzere bir yardımcı ağ oluşturulmuş ve çözüme dair alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Üst sınırlar Gezin Satıcı Problemi kullanılarak bulunmaktadır. Her bir merkeze bağlı olarak tek bir araç olduğu varsayımı önerdikleri modelin nakit yönetim sistemlerinin tasarımında kullanılmasını güçleştirmektedir.

Denizyolu, demiryolu ve karayolu ulaşımını birlikte içeren çok katmanlı dağıtım ağı üzerindeki optimal yerleşim ve taşıma maliyetlerinin bulunmasını

¹³⁹ S. Salhi ve G. Nagy, "Consistency and Robustness in Location-Routing", **Studies in Locational Analysis**, No.13, (June 1999), s.3-19.

¹⁴⁰ Tai-Hsi Wu, Chinyao Low ve Jiunn-Wei Bai, "Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems", **Computers & Operations Research**, Vol.29, No.10, (September 2002), s.1393-1415.

¹⁴¹ Maria Albareda-Sambola, Juan A. Diaz ve Elena Fernandez, "A Compact Model and Tight Bounds for a Combined Location-Routing Problem", **Computers & Operations Research**, Vol.32, No.3, (March 2005), s.407-428.

hedefleyen bir çalışma Gunnarsson ve diğerleri (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir¹⁴². Ülkemizde nakit taşınması yalnızca ZA'larla karayolu üzerinden yapıldığından, makalede getirilen birden fazla ulaşım yönteminin kullanılması imkânı, nakit yönetim sistemlerinin tasarımı bakımından ihtiyaç duyulan bir seçenek olmamaktadır. İncelenen problemde otuzdan fazla kâğıt hamuru ürünü İskandinav Ülkelerinde yerleşik olan üretim tesislerinden öncelikli olarak Avrupa Ülkelerindeki çeşitli limanlara taşınmakta, sonrasında bu limanlardan müşterilere ulaştırılmaktadır. Bu probleme özel olarak geliştirilen matematiksel problemde yerleşim kararı olarak hangi terminallerin kullanılacağı, yönlendirme kararı olarak da hangi rotaların izleneceği sorularına yanıt aranmaktadır.

Benzer modellerde rotalar model tarafından bulunurken, toplam rota seçeneğinin çok fazla olmaması nedeniyle rotalar en başta belirlenerek her bir rotanın kullanılması durumu $\{0 - 1\}$ değişkeni ile modellenmiştir. Rota sayısının çok fazla olduğu durumda kesin çözüm veren yöntemlerin fazla zaman aldığı gözlemlenerek iki ayrı buluşsal algoritma önerisi de getirilmiştir. Buluşsal yöntemlerin en iyiye çok yakın sonuçlar verdiği raporlanmaktadır.

Ambrosino ve diğerleri (2009) Kuzey İtalya'da yerleşik bir firmanın faaliyetlerinden esinlenerek hem bölgesel depoların hem de merkezi bir deponun bulunduğu bir yerleşim-yönlendirme problemini analiz etmişlerdir¹⁴³. Amaç en düşük maliyeti sağlayacak şekilde her bir bölgeye bir depo tahsis etmek, aynı zamanda bölgelere yeterli sayıda araç ayırarak her bir aracın merkezi depodan başlayıp, bölgesel depolara akabinde uğramasını sağlamak ve müşterileri gezdikten sonra yine merkezi depoya en düşük maliyetle dönmesini sağlamaktır. Araçların merkezi depodan hareket ederek bölgesel depolara ulaşması nakit yönetim sistemlerinin tasarımında ihtiyaç duyulabilecek bir seçenek olarak değerlendirilmemiştir.

¹⁴² H. Gunnarsson, M. Rönnqvist ve D. Carlsson, "A Combined Terminal Location and Ship Routing Problem", **Journal of the Operational Research Society**, Vol.57, No.8, (August 2006), s.928-938.

¹⁴³ Daniela Ambrosino, Anna Sciomachen ve Maria Grazia Scutella, "A Heuristic Based on Multi-Exchange Techniques for a Regional Fleet Assignment and Location-Routing Problem", **Computers & Operations Research**, Vol.36, No.2, (February 2009), s.442-460.

Makalede iki aşamalı bir çözüm önerilmiştir. İlk aşamada probleme uygun bir çözüm aranmakta, ikinci aşamasında ise çok büyük bir komşu alan arama tekniği kullanılmaktadır. Kesin yöntemlerin 25 saatlik bir süre içinde uygun çözüm bulamadığı problemler için önerdikleri algoritmanın çok iyi kalitede çözüm ürettiği raporlanmaktadır.

Yerleşim-Yönlendirme problemine iyileştirilmiş bir Dallandır ve Sınırla Algoritması Li ve diğerleri (2009) tarafından önerilmektedir¹⁴⁴. Ele alınan modelde üç katmanlı bir dağıtım ağı bulunmaktadır. Yöntem Lagrange Serbestleştirilmesi ile bazı kısıtları amaç fonksiyonuna almakta, orijinal problemde gerekli olmayan bazı kısıtları da eklemektedir.

Kapasite sınırlaması bulunan depoların söz konusu olduğu Yerleşim-Yönlendirme problemi Duhamel ve diğerleri (2010) tarafından incelenmiştir¹⁴⁵. Nakit yönetim sistemlerinde depoların fiziki olarak kapasite sınırlamasına tabi olması pek mümkün görünmemekle birlikte, depolara ilişkin sigorta poliçesinde yer alacak teminat sınırına bağlı olarak kapasite tanımlaması söz konusu olabilecektir. Önerilen çözüm yöntemi hırslı, rassallaştırılmış, uyarlamalı araştırma prosedürü olarak adlandırılmaktadır. Önerdikleri yöntemin literatürdeki diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sonuç verdiği raporlanmaktadır.

Dört katmanlı bir dağıtım tedarik ağı Lee ve diğerleri (2010) tarafından çalışılmıştır¹⁴⁶. Tedarikçiler hammaddeleri üreticilere göndermekte, üreticiler ürünleri dağıtım merkezlerine aktarmakta, dağıtım merkezleri müşterilere bu ürünleri ulaştırmaktadır. Daha önceki örneklerden farklı olarak birden fazla üretim tesisi bulunduğu ve müşteri talebinin birden fazla dağıtım merkezi tarafından karşılanabileceği varsayılmıştır. Çalışmada önce problemin matematiksel formülasyonu verilmiş, daha sonra Doğrusal Programlama Serbestleştirilmesi yönteminden yararlanan

¹⁴⁴ Jin Li, Zhu Yunlong ve Shen Hai, "An Improved Branch and Bound Algorithm for Location-Routing Problems", **International Forum on Computer Science-Technology and Applications**, 25 Eylül 2009, Chongqing: IEEE Computer Society, s.58-63.

¹⁴⁵ Christophe Duhamel ve Diğerleri, "A GRASP x ELS Approach for the Capacitated Location-Routing Problem", **Computers & Operations Research**, Vol.37, No.11, (November 2010), s.1912-1923.

¹⁴⁶ Jeong-Hun Lee, Il-Kyeong Moon ve Jong-Heung Park, "Multi-Level Supply Chain Network Design with Routing", **International Journal of Production Research**, Vol.48, No.13, (July 2010), s.3957-3976.

bir buluşsal yöntem önerisi getirilmiştir. Yöntem maksimum 30 tedarikçi, 10 üretici, 10 dağıtım merkezi ve 30 müşteri bulunan örnek problemler üzerinde denenmiş ve kısa sürede makul çözüm üretebildiği raporlanmıştır. Bankalardaki nakit yönetim yapılanmalarında merkez, bölge birimi ve şube olmak üzere üçlü bir katman yapısı söz konusu olduğundan, bu çalışmada önerilen dördüncü katman NYS tasarımı açısından ihtiyaç duyulan bir unsur olarak değerlendirilmemiştir.

Yerleşim-Yönlendirme problemleri ile ilgili olarak son dönemde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Yu ve diğerleri (2010) Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing) içerikli bir buluşsal yöntem geliştirmişlerdir¹⁴⁷. Yöntemin daha önceden geliştirilmiş bilişsel yöntemlere göre daha uzun süre aldığı, fakat daha iyi çözümler tespit ettiği raporlanmaktadır.

2.5.2 Yönlendirme / Envanter Problemi Literatürü

Yönlendirme ve envanter problemlerini birlikte ele alan modellerde, merkezi ya da bölgesel depoda bulunan envanterin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Müşterilere (nakit yönetim sistemlerinde şube) iletilen emtianın envanter oluşturmadığı, dolayısıyla bir maliyetinin bulunmadığı varsayılmaktadır. Nakit yönetim sistemleri açısından incelendiğinde, nakit yönetimi merkez ya da bölge birimleri genellikle merkez bankası şubesi ya da acentesi ile aynı yerde bulunmaktadır. Böylelikle fazla nakit belirlenen süre kısıtları dâhilinde merkez bankasına yatırılmakta, merkez ya da bölge birimlerinde atıl nakit envanteri bulundurulması söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple, belirtilenin aksine, bankalarda atıl nakit envanteri daha çok şubelerde oluşmaktadır. Bu durum aşağıda detaylarına yer verilen çalışmaların banka örneğine uygulanmasını güçleştirmektedir.

Daskin ve diğerleri (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada çalışma envanteri ve ihtiyat stoku tutan dağıtım merkezinin yerinin belirlenmesi

¹⁴⁷ Vincent F. Yu ve Diğerleri, "A Simulated Annealing Heuristic for the Capacitated Location Routing Problem", **Computers & Industrial Engineering**, Vol.58, No.2, (March 2010), s.288-299.

hedeflenmiştir¹⁴⁸. Modelin geliştirilmesinde Chicago kentinde çabuk bozulabilir kan ürünlerinin 30 hastaneye dağıtımından esinlenilmiştir.

Ele aldıkları problemde her bir talep noktasının Normal dağılım altında rassal talebi bulunmaktadır. Bu talep noktaları ağ üzerinde belli bir dağıtım merkezine eşlenecek ve talepleri bu merkezler aracılığı ile karşılanacaktır. Dağıtım merkezlerinin adedi baştan bilinmemektedir ve oluşturulmasının belli bir sabit maliyeti bulunmaktadır. Dağıtım merkezlerinin adedi arttıkça toplam yol maliyeti azalmakta, buna karşın sabit maliyet yanında, daha az talep noktası bir dağıtım merkezi ile eşlendiği için ihtiyat nedeniyle bulundurulmuş mal miktarı da artmaktadır. Model tedarikçilerden dağıtım merkezine olan taşıma maliyeti, sabit maliyetleri ve ihtiyat için tutulan envanter maliyeti toplamını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Envanter tutulması ile ilgili maliyetlerin doğrusal olarak modellenememesi nedeniyle problem karmaşık çözüm yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Çözümde Lagrange Serbestleşmesi algoritması kullanılmıştır. Önerilen yöntemde problemin özel yapısından faydalanılarak düşük dereceli polinom çözüm yöntemleri önerilmiştir. Algoritma 150 müşteriye kadar problemlerde denenmiştir. Hesaplama sürelerinin 1 dakikanın altında olduğu raporlanmaktadır. Çalışmada çözümün hassasiyet derecesi de ayrıca ölçülmüştür.

Merkezi bir depodaki kısıtlı kaynakların, depo çevresinde konumlanmış talep noktalarının rassal nitelikli taleplerinin minimum maliyetle karşılanmasında kullanılmasını hedefleyen bir çalışma Federguen ve Zipkin (1984) tarafından gerçekleştirilmiştir¹⁴⁹. Araç Yönlendirme Problemlerinde önceden bilinen bir müşteri talebi söz konusu iken çalışmada ele alınan problem talebin değişken olduğunu varsaymıştır. İlaveten, yol maliyetinin yanında talep noktalarında ortaya çıkan envanter maliyetinin minimize edilmesi de amaçlanmaktadır. Bu nedenle ele alınan problem yönlendirme ve envanter yönetimi maliyetlerinin birlikte çözümünü hedeflemektedir.

¹⁴⁸ Mark S. Daskin, Collette R. Coullard, ve Zou-Jun Max Shen, "An Inventory-Location Model: Formulation, Solution, Algorithm and Computational Results", **Annals of Operations Research**, Vol.110, (2002), s.83-106.

¹⁴⁹ Awi Federgruen ve Paul Zipkin, "A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem", **Operations Research**, Vol.32, No.5, (September-October 1984), s.1019-1037.

Makalede ele alınan problem temelde şirket içi dağıtım problemlerine uyarlanabilir niteliktedir. Problemden öncelikle her bir talep noktasının envanterleri raporlanmaktadır. Belirtilen bilgiye dayanılarak talep noktalarının araçlara tahsisi ve rotalar belirlenmektedir. Dağıtım sonrasında her bir noktada talepler gerçekleşmekte ve envanter taşıma ve talebi karşılayamama durumu ve maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Talebin karşılanmaması seçeneğinin bulunması tasarlanan modeli AYP'ye göre bir miktar daha kolaylaştırmaktadır. Bir günlük dağıtımın optimizasyonu hedeflendiğinden, ele alınan problem uzağı göremeyen (miyopik) bir karakter taşımaktadır.

Çalışmada öncelikle problemin karmaşık bir matematiksel modeli oluşturulmuş, sonrasında bu problem ana ve alt model olarak iki parçaya bölünmüş, çözümünde Bender'in Parçalama Yöntemi kullanılmıştır. Alt model olan AYP'ye Değişim Buluşsal Yöntemi uygulanarak çözüm aranmıştır. Ana model olan kaynak tahsis probleminin çözümünde ise yazarlardan birinin daha önce geliştirdiği bir yöntem kullanılmaktadır. Çalışmanın son bölümünde yöntemin uygulandığı gösterge problemlere ilişkin sayısal sonuçlara yer verilmektedir.

2.5.3 Tüm Başlıkları Birlikte İçeren Çalışmalar

Literatürde çok az çalışmada üç problemin birleştirildiği durum incelemeye konu edilmiştir. Bu çalışmalarda müşteride oluşan envanter maliyet hesaplamasına konu edilmemiş, yalnızca merkez ya da bölgesel depolardaki envanter dikkate alınmıştır. Bu bakımdan NYS tasarımında doğrudan kullanılmaları mümkün bulunmamaktadır.

Ambrosino ve Scutella (2005) yerleşim, taşıma ve envanter unsurlarını birlikte içeren bir problem üzerinde çalışmışlardır¹⁵⁰. İncelenen dağıtım ağı dört katmandan oluşmaktadır. Birinci katman fabrika, ikinci katman merkezi depo, üçüncü katman bölgesel depo ve transit noktalar, son katmanda ise müşteri yer almaktadır. Ayrıca, müşteriler de normal ve büyük müşteriler olarak iki türe ayrılmaktadır. Çalışmada yerleşim, depolama, taşıma ve envanter maliyetlerinin toplamını minimize etmeye

¹⁵⁰ Daniela Ambrosino ve Maria Grazia Scutella, "Distribution Network Design: New Problems and Related Models", **European Journal of Operations Research**. Vol.165, No.3, (September 2005), s.610-624.

yönelik olarak iki tür matematiksel model verilmiştir. Modeller gerçekçi senaryolar altında incelenmiştir.

Her üç problemin birlikte incelendiği bir diğer çalışma Bo ve diğerleri (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir¹⁵¹. Birden fazla dönemin olduğu ve müşterilerin taleplerinin rassal olduğu ve Poisson Dağılımına uyduğu varsayılmıştır. Çalışmada ilk önce problemin oldukça karmaşık bir formülasyonuna yer verilmiş, daha sonra bu probleme Karışık Genetik Algoritma ile çözüm aranmıştır. Yöntemin 10 depo ve 30 müşterili bir örnek üzerinde denendiği ve başarılı olduğu raporlanmıştır.

Javid ve Azad (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Shen tarafından oluşturulmuş olan yerleşim ve envanter yönetimi problemine yönlendirme boyutu da eklenerek geliştirilmiştir¹⁵². Shen'in çalışmasında yönlendirme maliyetleri dolaylı yoldan ve kabaca dikkate alınmıştır¹⁵³. Bu çalışmada ise AYP benzeri bir yöntem benimsenmiştir.

Problemde belirli sayıda müşteri bulunmakta ve her birinin talebi Normal Dağılım göstermektedir. Dağıtım merkezlerinde belli kapasiteler söz konusudur. Ayrıca her bir dağıtım merkezi (Q, R) envanter yönetimi modelini uygulamaktadır. Burada envanter miktarı R'nin altına indiğinde Q kadar sipariş verilmektedir.

Javid ve Azad (2010) ilk önce bu problemin Karışık Tamsayı Program modelini kurgulamıştır. Problemin çözümü için hem kesin algoritmalarından hem de buluşsal yöntemlerden faydalanılmıştır. Kesin algoritmaların çok küçük problem büyüklüklerinde sonuç verdiği raporlanmıştır. Buna karşın buluşsal yöntemlerin çok kısa sürelerde optimale yakın sonuçlara ulaştığı belirtilmektedir. Buluşsal yöntem iki aşamalı olarak uygulanmaktadır. Kurgulama aşamasında bir başlangıç çözümü üretilmekte, geliştirme aşamasında sırasıyla yerleşim ve yönlendirme problemleri çözülmektedir.

¹⁵¹ Zhang Bo, Ma Zujun ve Jiang Sai, "Location-Routing-Inventory Problem with Stochastic Demand in Logistics Distribution Systems", **Araştırma Raporu**, Chengdu : Southwest Jiaotong University, 2008, s.1-4.

¹⁵² Amir Ahmadi Javid ve Nader Azad, "Incorporating Location, Routing and Inventory Decisions in a Supply Chain Network Design", **Transportation Research**, Vol.46, No.5, (September 2010), s.582-597.

¹⁵³ Juo-Jin Max Shen, s.1-27.

3 TÜMLEŞİK YÖNTEM ÖNERİSİ

Bir sistemin parçalara ayrılarak analiz edilmesi yöntemi farklı şekillerde gerçekleştirilebilecektir. Bununla birlikte, beklenen sonuçların alınabilmesi bakımından, parçalama yönteminin uygun bir mantıksal çerçeveye oturtulabilmesi önem arz etmektedir. Modelin daha iyi anlaşılabilmesi bakımından da buna ihtiyaç bulunmaktadır. Yöntemin olumlu sonuçlar üretebilmesi için bir diğer önemli faktör ise parçaların birbirleriyle olan ilişkilerinin ortaya konulması ve bu ilişkilerin etkilerinin tasarımı bir şekilde dâhil edilmesidir. Aksi takdirde daha önceden de bahsedildiği üzere parçaların en iyileştirilmesi, bütünün iyi olmasını sağlamayacaktır.

NYS'nin parçalara ayrılmasında kullanılacak mantıksal çerçeve karar unsurlarının vadesine bağlı olarak belirlenmiştir. Sisteme ilişkin kararlar stratejik, taktik ve operasyonel olarak üç ayrı vade grubuna ayrılabilir.

Beş yıl ve daha uzun süreyi ilgilendirecek karar türleri stratejik kararlardır. NYBB'lerin adet ve yerlerinin belirlenmesi stratejik nitelikli kararlardır. Zira bölge birimi için bir bina satın alınacak ya da kiralanacak, bina tadil edilerek gerekli güvenlik unsurları ile donatılacak, faaliyet için gerekli menkul ve teçhizat sağlanacak, seçilen yerde ikamet edebilecek personel temin edilecektir. Açıktır ki, tüm bu unsurlarda yıldan yıla köklü değişimler yapılması mümkün olmayacaktır.

Bir yıldan beş yıla kadar olan vade aralığını ilgilendiren kararlar taktik içerikli kararlardır. NYS'de yer alacak ZA sayısı ve bu araçların takip edeceği ana rotalar taktik nitelikli kararlar olmaktadır. Çünkü satın alınan ZA'lar ortalama beş yıllık bir süre için kullanılmakta, kiralama yönteminin tercih edilmesi halinde ise asgari sözleşmelerin süresi bir yılı aşmaktadır. Mevcut ZA adedine bağlı olarak belirlenen ana rotalarda da radikal değişiklikler yapılamamaktadır.

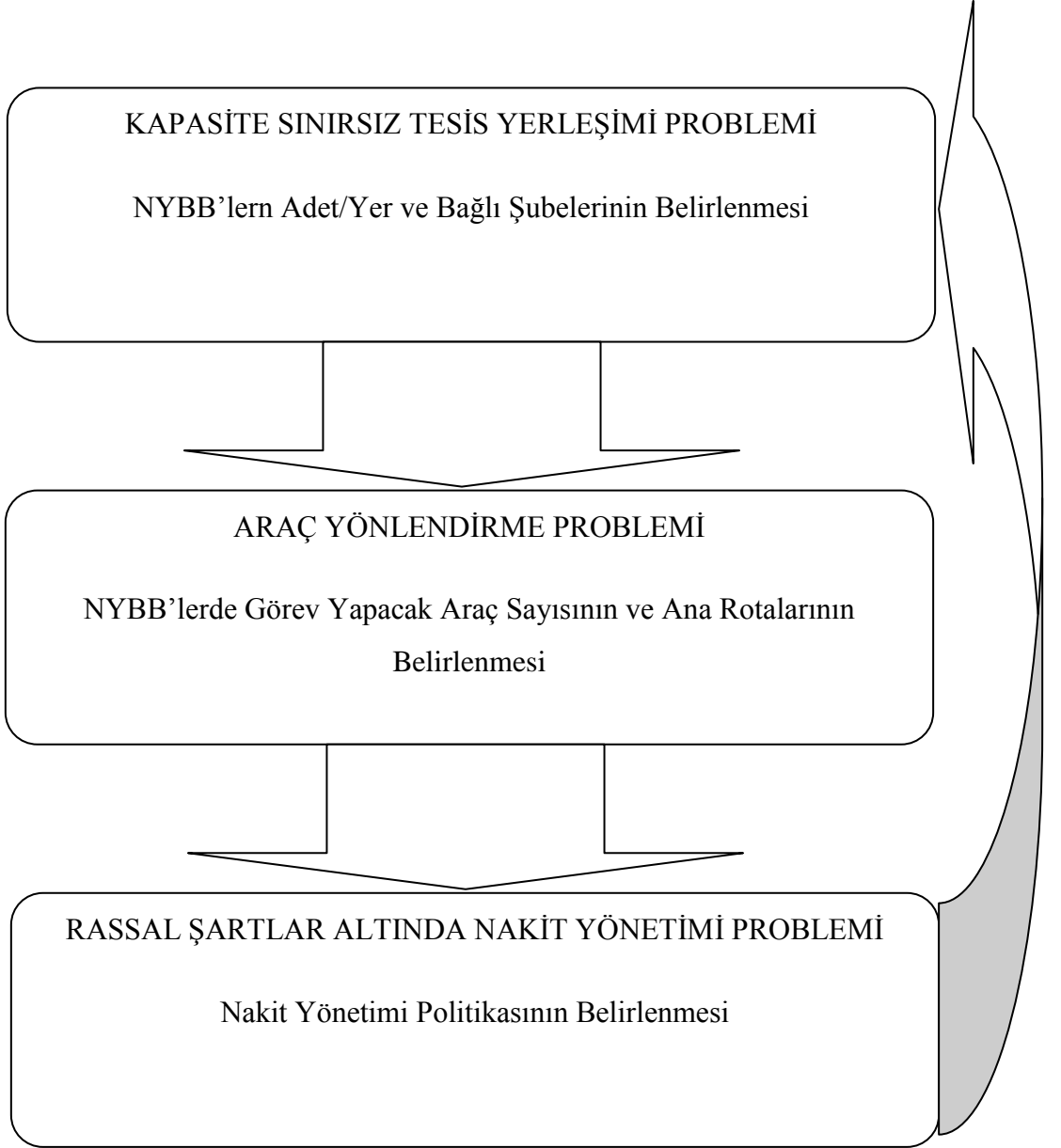
Bir yıl ve daha kısa vadeyi etkileyen kararlar ise operasyonel seviye kararlardır. Her bir şubenin nakit yönetimi günlük alınan kararlarla şekillenmektedir. Bu kararlar nakit miktarı hangi seviyelere düştüğünde ilave nakit talebinde bulunulacağı, ne kadar nakit talep edileceği, nakit miktarı hangi seviyeler çıktığında nakit devri talebinde bulunulacağı ve ne kadar nakit teslim edileceği gibi kararları içerecektir. Bu nedenle de

nakit yönetimi politikasının operasyonel seviyedeki kararlardan oluştuğunu ifade etmek yanlış bir değerlendirme olmayacaktır.

Sonuç olarak, tezimiz NYS tasarımında stratejik düzeyde yerleşim, taktik düzeyde yönlendirme, operasyon düzeyinde envanter yönetimi modellerinden faydalanan bir yaklaşım nerisi getirmektedir. nceki bölümde de değinildiği üzere tekrarlı bir yaklaşımla bu modeller alıştırılmakta, her bir modelin sonuçları sonraki model ya da modellerde kullanılan parametre ve verilerin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Nakit yönetim sistemlerinin belirli yönlerini daha iyi temsil edebilmelerini sağlamak üzere her bir standart modele bazı ilave nitelikler de eklenmiştir.

Bütünleşik modele ilişkin kaba iş akışı diyagramı Şekil 5’de yer almaktadır. İleriki bölümlerde her bir parçanın diğerleri ile olan ilişkisini daha detaylı olarak gösteren diyagramlara da yer verilmiştir.

nceki bölümlerde Şekil 5’de belirtilen problemlerin standart modellerine yer verilmiştir. Çalışmamızda bu modeller tez konumuzun ihtiyaçlarına göre farklılaştırılmıştır. Takip eden bölümlerde bahsi geçen standart modellerin nakit yönetim sistemlerine nasıl uyarlanacakları, modellere hangi eklemelerin yapılacağı, hangi parametreleri ierecekleri, incelenen durum özeline parametrelerin hangi anlamları kazanacağı, diğer problemlerden ne Şekilde etkilenecekleri ve bu etkilerin nasıl hesaplanacakları konularına değinilmiştir.



Şekil 5: Tümeleşik Yöntem Önerisi

3.1 STRATEJİK MODEL: KSTYP

NYS’de kaç bölgesel birim olacağı, bu birimlerin konumları ve hangi şubelerin bu birimlere bağlı olacağı konularında Kapasite Sınırsız Tesis Yerleşim Probleminden faydalanılacaktır.

NYBB’nin sabit işletme ve personel giderleri bulunmaktadır. Sabit nitelikli işletme giderleri ödenen yıllık kira, ısıtma, su ve aydınlatma giderleri, kullanılan menkul ve teçhizata ilişkin amortismanlar ile bakım ve onarım giderlerinden oluşmaktadır. İlaveten gün içinde şubelerden gelecek taleplerin araçlara iletilmesini sağlamak, buradaki nakit işlemlerine vekâlet etmek ve güvenliği sağlamakla görevli personel de istihdam edilmektedir. Bir kez NYBB açılması halinde personel de görevlendirileceği için belirtilen personel giderleri de sabit niteliklidir. Çalışmamızda NYBB sabit nitelikli maliyetlerinin kurulduğu yere bağlı olarak değişmediği varsayılmıştır. Ancak, bu varsayım kullanılan çözüm yöntemi bakımından sınırlayıcı bir varsayım değildir. Diğer bir ifadeyle, sabit maliyetlerin NYBB açılan yere bağlı olarak farklılaştığı durum için de önerilen yöntem kullanılabilir.

Her bir NYBB’ye bağlı olarak çalışan belirli sayıda ZA bulunmaktadır. ZA’ların sabit giderlerinin yanında, değişken nitelikli maliyetleri de olmaktadır. Sabit nitelikli giderler Motorlu Taşıtlar Vergisi ile kasko ve Zorunlu Trafik Sigortası gibi kalemlerden oluşmaktadır. Gerçekten de bu giderler araç kullanılsa dahi ortaya çıkacak türden giderlerdir. Araçta görev yapacak personel de sabit nitelikli bir maliyete neden olacaktır. Zira bir kez araç tahsis edilmesi halinde kat edilen yola bağlı olmaksızın araç personeli de tahsis edilmektedir.

Kat edilen yola bağlı olarak ortaya çıkacak değişken nitelikli maliyetler ise araçların amortismanları, bakım ve onarım giderleri, yakıt giderleri gibi unsurlardan oluşmaktadır.

Modele ilişkin parametreler aşağıda yer almaktadır.

s^{NYB} : Nakit yönetim birimi yıllık sabit nitelikli işletme maliyeti

p^{NYB} : Nakit yönetim birimi yıllık sabit nitelikli personel maliyeti

s^{ZA} : Zırhlı araç yıllık sabit nitelikli maliyeti

p^{ZA} : Zırhlı araç yıllık sabit nitelikli personel maliyeti

g_j^{t-1} : Bir önceki etapta j şubesinin yıllık nakit alma/verme adedi

c^{t-1} : Önceki etapta rota seyahati ile doğrudan ziyaret arasındaki oran

d : Km başına değişken yol maliyeti

u_{ij} : i noktasının j noktasına uzaklığı

k^{t-1} : Önceki etapta bir aracın yıllık olarak kat ettiği ortalama yol miktarı

Çalışmamızda kullanılan modele ilişkin değişkenlere ise aşağıda yer verilmiştir.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & j' \text{deki müşteri } i \text{ konumundaki tesisten hizmet alırsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & i \text{ konumuna bir tesis yerleştirilirse} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$z_i = i$ konumundaki nakit yönetim birimine tahsis edilen zırhlı araç adedi

$$\text{Min } (s^{NYB} + p^{NYB}) \sum_{i=1}^m y_i + (s^{ZA} + p^{ZA}) \sum_{i=1}^m z_i + 2c^{t-1}d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_j^{t-1} u_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.2)$$

$$k^{t-1} z_i - 2 c^{t-1} \sum_{j=1}^n g_j^{t-1} u_{ij} x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.4)$$

$$y_i, x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.5)$$

$$z_i \in N \quad \forall i \in I \quad (3.6)$$

(3.1) numaralı denklemde yer alan $\sum_{i=1}^m (s^{NYB} + p^{NYB})y_i$ ifadesinde parantez içindeki faktörler NYBB kurulması halinde ortaya çıkan sabit maliyetlerdir. y_i değişkeni i noktasında NYBB açılması halinde 1 değerini almakta ve sabit nitelikli maliyet ortaya çıkmaktadır. Tüm olası noktalar için toplam alındığında NYBB toplam sabit maliyetine ulaşılmaktadır.

(3.1) numaralı denklemde yer alan $\sum_{i=1}^m (s^{ZA} + p^{ZA})z_i$ ifadesinde parantez içindeki unsurlar ZA tahsis edilmesi halinde ortaya çıkan sabit maliyetlerdir. Sabit maliyetler i noktasındaki ZA adedini temsil eden z_i değişkeni ile çarpılarak ilgili birimdeki toplam sabit nitelikli maliyete ulaşılmaktadır. Tüm olası noktalar için toplam alınarak sistemdeki toplam ZA maliyetine ulaşılmaktadır.

(3.1) numaralı denklemde yer alan $2 c^{t-1} d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_j^{t-1} u_{ij} x_{ij}$ ifadesi toplam yol maliyetini ifade etmektedir. $g_j^{t-1} u_{ij}$ ifadesi bir şubeye yıl içinde gerçekleştirilecek ziyaret sayısı ile şubenin NYBB'ye olan uzaklığının çarpımıdır. Ziyaret sayısını ifade eden g_j^{t-1} bir önceki etaptaki Rassal Koşullar Altında Nakit Yönetimi Probleminde hesaplanmaktadır. Gidiş ve dönüş maliyetlerinin dikkate alınması bakımından bu sayı 2 ile çarpılmaktadır. Sonrasında değişken maliyetle çarpılarak toplam yol maliyetine ulaşılmaktadır.

Ancak, ZA'lar her bir seyahatlerinde tek bir şubeye hizmet vermemekte, aksine belli bir rota dâhilinde hareket ederek birden fazla şubeyi ziyaret etmektedir. Çünkü her bir şubeye ayrı ziyaret gerçekleştirilmesi, belirli bir rotanın izlenmesine göre daha yüksek bir maliyete neden olmaktadır. KSTYP rota nitelikli maliyeti dikkate almamaktadır. Bu nedenle de çalışmamızda KSTYP içerisinde hesaplanan yol maliyetinin belirli bir ıskonto faktörü niteliğinde olan c^{t-1} katsayısı ile çarpılması tercih edilmiştir. Bu yapılmadığı takdirde değişken nitelikli yol maliyetlerinin ağırlığı sabit

nitelikli maliyetlere göre artmaktadır. Bu durum modelde daha fazla NYBB açılması ya da ZA tahsis edilmesi şeklinde hatalı bir sonuca neden olabilecektir. Modelde kullanılan c^{t-1} faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$c^{t-1} = \frac{Yol(ASBP^{t-1})}{Yol(KSTYP^{t-1})} \quad (3.7)$$

Buradaki ASBP, Araç Sayısı Belirleme Problemini ifade etmektedir. ASBP AYP tarafından hesaplanan araç sayısı ve toplam yol miktarı tahminlerini geliştiren yardımcı modeldir. Bu modele ilişkin detaylı açıklamalara 3.3 numaralı bölümde yer verilecektir.

Sonuç olarak (3.1) numaralı denklem NYS'nin yıllık sabit ve değişken maliyeti toplamını oluşturmaktadır.

Standart KSTYP'de de yer alan (3.2) numaralı kısıt her bir şubenin bir NYBB'den hizmet alması gerektiğini ifade etmektedir.

Çalışmamız kapsamında modele (3.3) numaralı denklem eklenmiştir. Bu denklemde yer alan $2 c^{t-1} \sum_{j=1}^n g_j^{t-1} u_{ij} x_{ij}$ ifadesi j şubesine hizmet verilmesi nedeniyle bir yıl içerisinde kat edilecek toplam düzeltilmiş yol miktarını ifade etmektedir. Sözü geçen denklemde yer alan $k^{t-1} z_i$ ifadesi ise i NYBB'sine tahsis edilmiş ZA sayısı ile her bir araç tarafından kat edilen ortalama yıllık yol miktarının çarpımını ifade etmektedir. Dolayısıyla (3.3) numaralı denklem i NYBB'sinde kat edilmesi gereken yol miktarına uygun sayıda aracın NYBB'ye tahsis edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bir araç tarafından kat edilen yıllık ortalama yol miktarı k , kapasite sınırsız tesis yerleşim problemi ile diğer problemleri birleştiren bir diğer husus olmakta olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere ASBP modeline ilişkin detaylı açıklamalara 3.3 numaralı bölümde yer verilecektir.

$$k^{t-1} = \frac{Yol(ASBP^{t-1})}{Zırlı Araç Sayısı(ASBP^{t-1})} \quad (3.8)$$

Standart KSTYP formülasyonunda da yer alan (3.4) numaralı denklem bir noktaya NYBB açılmaması halinde bu noktadan şubeye hizmet verilemeyeceğini belirtmektedir.

Sonuç olarak her bir etapta çözülecek KSTYP bir önceki etaptaki RŞANYP'den şubelere gerçekleştirilecek ziyaret sayısını, ASBP'den her bir araç tarafından kat edilen ortalama yol ve mesafe iskonto oranını almakta ve bu şartlara uygun minimum maliyeti verecek NYBB adedini, bunların ağ üzerindeki konumunu ve şubelerin NYBB'ler arasındaki paylaşımını vermektedir.

3.2 TAKTİK MODEL: AYP

AYP aşamasında, önceki etaptaki KSTYP'den hangi noktalara NYBB konumlandırıldığı ve bunlara hangi şubelerin bağlandığı bilgileri birer girdi olarak alınmaktadır. Bu aşamada her bir NYBB için ayrı AYP çözümlenmektedir. AYP'den NYBB'ye bağlı olarak kaç aracın hizmet vereceği ve bu araçların izleyeceği ana rotaları belirlemede faydalanılmaktadır.

AYP'de kullanılan parametrelerden ZA sabit ve değişken giderleri KSTYP aşamasındaki ile aynıdır.

Müşterilerin bulunduğu konumlar $M = \{1, \dots, m\}$ ile temsil edilsin. Araçların hareket edeceği merkezi depo ise başlangıç noktasında $\{0\}$, bitiş noktasında $\{m + 1\}$ ile gösterilsin. Ayrıca $I = M \cup \{0\} \cup \{m + 1\}$ şeklinde tanımlansın. Çalışmamızda faydalanılan AYP'de kullanılan parametreler aşağıda yer almaktadır.

s^{ZA} : Zırhlı araç yıllık sabit nitelikli maliyeti

p^{ZA} : Zırhlı araç yıllık sabit nitelikli personel maliyeti

u_{ij} : i konumundan j konumuna mesafe

z_{ij} : i konumundan j konumuna ulaşmak için süre

h : Araç ile şube arasındaki ortalama nakit alışveriş süresi

d : Km başına değişken yol maliyeti

q : yıldaki iş günü sayısı

e : bir rotanın her gün kullanılması varsayımına ilişkin düzeltme oranı

B : günlük mesai uzunluğu

M : büyük sayı

Modelde kullanılan değişkenlere ise aşağıda yer verilmiştir.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ konumundan } j \text{ konumuna gitmek için } i - j \text{ yolu kullanılırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$t_i = i$ numaralı şubenin hizmet almaya başladığı an

Belirtilen parametre ve değişkenleri kullanan genişletilmiş AYP'ye aşağıda yer verilmiştir.

$$\text{Min } (s^{ZA} + p^{ZA}) \sum_{j=1}^m x_{0j} + e q d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m u_{ij} x_{ij} \quad (3.9)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \in M, i \neq j \quad (3.10)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i \in M, i \neq j \quad (3.11)$$

$$t_0 + z_{0j} - t_j - M(1 - x_{0j}) \leq 0 \quad \forall j \in M \quad (3.12)$$

$$t_i + h + z_{ij} - t_j - M(1 - x_{ij}) \leq 0 \quad \forall i \in M, j \in M \cup \{m+1\}, i \neq j \quad (3.13)$$

$$t_0 = 0 \quad (3.14)$$

$$t_{m+1} \leq B \quad (3.15)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (3.16)$$

Modelin amaç fonksiyonu olan (3.9) numaralı denklemdeki $(s^{ZA} + p^{ZA})$ ifadesi araca ilişkin sabit nitelikli işletme ve personel giderleridir. $\sum_{j=1}^m x_{0j}$ ifadesi ise NYBB'den yola çıkan araç sayısını temsil etmektedir. Bu iki faktörün çarpılması ile toplam araç sabit maliyetine ulaşılmaktadır.

(3.9) numaralı denklemdeki ikinci ifadede yer alan $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m u_{ij}x_{ij}$ toplamı araçların kat edeceği toplam rota uzunluğunu vermektedir. Bu rakam kilometre başına değişken yol maliyeti d ile çarpılarak toplam rota maliyetine ulaşılmaktadır. Sonrasında, ZA'ların rotalarını her gün kat ettikleri varsayımı ile toplam rota uzunluğu yıldaki iş günü sayısını ifade eden q ile çarpılmakta ve yıllık toplam yol maliyetine ulaşılmaktadır. Şüphesiz her bir aracın rotasını her gün kat ettiği varsayımı olması gerekenden daha yüksek bir maliyetin hesaplanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yıllık toplam yol maliyeti son olarak başka bir iskonto oranı olan e ile çarpılmaktadır. Belirtilen düzeltme faktörü e aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$e^{t-1} = \frac{Yol(ASBP^{t-1})}{Yol(AYP^{t-1})} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki oranın payında yer alan ifadenin ne şekilde hesaplanacağına bir sonraki bölümde yer verilmiştir. Paydada yer alan ifade ise bir önceki etapdaki AYP aşamasında hesaplanan tüm ZA'larla kat edilen yıllık toplam yol miktarıdır.

Dikkat edilirse standart modelde yer alan (2.8) numaralı kısıda yukarıdaki modelde yer verilmemiştir. Sözü geçen kısıt araç sayısının baştan sabitlenmesini sağlamaktadır. Çalışmamızda kullanılan modelde araç sayısı da değişken olarak ele alınmıştır. Böylelikle modelde toplam yol ve sabit maliyetleri minimize edecek şekilde araç sayısı ve rotaların belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Standart modelde de yer alan (3.10) numaralı denklemde yer verilen kısıt her bir şubenin bir araç tarafından ziyaret edilmesi gerektiğini, (3.11) numaralı denklemde ifade edilen kısıt ise bu aracın sonraki şubelerden birine gitmesi gerektiğini belirtmektedir.

(3.13) numaralı kısıt şubelerin ZA'dan hizmet almaya başlama saatini belirlemektedir. Standart modelde yer almayan bu kısıt, zaman penceresi altındaki araç yönlendirme problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kısıt ayrıca standart modelde yer alan (2.9) numaralı kısıtın gördüğü işlevi de yerine getirmektedir. Yani NYBB'de başlayıp, NYBB'de bitmeyen ancak maliyet olarak daha avantajlı olabilecek rotaların çözüm olarak önerilmesini engellemektedir.

Çözümde $x_{ij} = 1$ olması bir ZA'nın $i - j$ yolunu kullanarak j 'ye ulaşacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda sözü edilen kısıt da $t_i + h + z_{ij} \leq t_j$ haline dönüşmektedir. Bu haliyle kısıt, j şubesinin hizmet başlangıç saatinin, i şubesinin hizmet başlangıç saatinin hizmet süresi ve aradaki seyahat süresi eklenmesi ile ortaya çıkacak saatten daha erken olamayacağını belirtmektedir. Öte yandan, $x_{ij} = 0$ olması halinde belirtilen kısıt bağlayıcı özelliğini yitirmektedir. Çünkü bu halde kısıt $t_i + h + z_{ij} - t_j \leq M$ şekline dönüşecek, tanım gereği M çok büyük bir sayı olduğundan kısıt her halükârda sağlanacaktır. Yani çözümün belirlenmesinde herhangi bir etkisi olmayacaktır.

(3.12) numaralı kısıt bir öncekinin bir benzeridir. Bu kısıtta ZA rotası üzerindeki ilk şubenin hizmet almaya başlama saatini belirlenmektedir. NYBB'nin bulunduğu noktadaki şubeye ZA'nın hizmet vermesine gerek bulunmamaktadır. Zira bu şube doğrudan kendi imkânlarını kullanarak nakit hizmeti alabilecektir. Bu sebeple ZA herhangi bir bekleme yapmaksızın, mesainin başlaması ile birlikte hemen ilk şubeye doğru yola çıkabilecektir.

(3.15) numaralı kısıt ZA'ların 0 anında hizmete başlayacağını belirtmekte, (3.16) numaralı kısıt ise ZA'ların mesai uzunluğu üzerine sınırlama getirmektedir.

Sonuç olarak AYP, KSTYP probleminde belirlenen NYBB yerleri ve bunlar arasındaki şube paylaşımını girdi olarak almakta, her bir NYBB'de kaç adet ZA olacağı ve bu araçların rotalarını çıktığı olarak vermektedir. Bir şubenin araç rotasının üzerindeki konumundan hareketle şubenin hizmet alma maliyeti belirlenebilecektir. Yine şubenin dâhil olduğu araç rotasının süre olarak uzunluğuna bakılarak şubeye ortalamada ne kadar sürede hizmet alabileceği hesaplanabilecektir. Bu bilgiler iki sonraki bölümde yer

alan RŞANYP'nin temel girdileridir ve ne şekilde hesaplanacaklarına ilgili bölümde yer verilmiştir.

Takip eden bölümde AYP tarafından gerçekleştirilen ZA adet ve toplam yol hesaplamalarının olasılık yöntemleriyle geliştirilmesine yönelik tartışmalara yer verilecektir.

3.3 TAKTİK MODEL: ARAÇ SAYISI BELİRLEME PROBLEMİ

KSTYP, AYP ve RŞANYP'den farklı olarak ASBP daha önceki bölümlerde tartışılmamıştır. Tez çalışmamız kapsamında oluşturulan ASBP, AYP tarafından üretilen sonuçların, gerçek hayata daha iyi uyarlanabilmesini sağlamak üzere rafine edilmesine yönelik formüle edilen bazı olasılık tabanlı hesaplamaları içermektedir.

Gerek KSTYP, gerekse AYP her bir NYBB'de kaç adet ZA'nın hizmet vermesi gerektiğine yönelik hesaplamaları içermektedir. KSTYP'deki hesaplamalar araçların herhangi bir rota izlenmeksizin şubelere doğrudan gideceği varsayımını içermektedir. Bu oldukça kaba varsayım ile ilişkin sakıncaların bir ölçüde giderilmesi amacıyla gerçekleştirilen düzeltme işlemlerine önceki bölümlerde değinilmiştir.

AYP her bir şubenin belirli bir rota dâhilinde şubelere hizmet vereceği varsayımını içermektedir. Bu açıdan NYBB'ye bağlı olarak faaliyet gösterecek araç sayısı ve toplam yol miktarını gerçek hayat örneklerine daha yakın bir yöntemle hesaplamaktadır. Ancak, bir şubenin her gün ziyaret edileceği şeklinde bir varsayım içermesi nedeniyle, AYP de gerçek hayata uygulanabilme açısından bazı eksiklikler barındırmaktadır.

Bir şube yılın belirli günlerinde nakit yönetim hizmeti almaya ihtiyaç duymakta, belirli günlerde duymamaktadır. Belirli bir rota üzerindeki şubeler birlikte değerlendirildiğinde, bu şubelerin bir tekinin bile hizmet ihtiyacı duymadığı günler de olabilecektir. Bir NYBB'de birden fazla rota bulunduğu durumda, aynı gün rotaların tamamında nakit hizmetine ihtiyaç duyulması ihtimali düşükse, rota sayısından daha az sayıda ZA tahsisi mümkün olabilecektir. Takip eden bölümde bahsi geçen olasılık hesaplanacaktır.

AYP tarafından bir NYBB için üretilen optimal çözümde n adet rota bulunsun. Her bir rota üzerinde v_j adet şubeye hizmet verilsin. Bu rota üzerinde yer alan i şubesinin herhangi bir gün nakit yönetim hizmetine ihtiyaç duyma ihtimali p_i olsun. Ayrıca şubelerin nakit hizmeti talep etmelerine ilişkin rassal değişkenler bağımsız olsun. Herhangi bir gün belirlenen rota üzerinde en az bir şubenin nakit hizmetine ihtiyaç duyması ihtimali şu şekilde hesaplanabilir.

$$= P(\text{Rotadaki şubelerden en az birinin hizmet ihtiyacı duyması}) \quad (3.18)$$

$$= 1 - P(\text{Rotadaki şubelerden hiçbirinin ihtiyaç duymaması}) \quad (3.19)$$

$$P_j = 1 - \prod_{i=1}^{v_j} (1 - p_i) \quad (3.20)$$

Yukarıdaki ifade bir rotada araç ihtiyacı duyulması ihtimalini belirtmektedir. Bir NYBB'deki n rotanın tümünde aynı anda araca ihtiyaç duyulması ihtimali ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilecektir.

$$= \prod_{j=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^{v_j} (1 - p_i) \right] \quad (3.21)$$

$$= \prod_{j=1}^n P_j \quad (3.22)$$

Eğer (3.22) ile ifade edilen olasılık belirli bir eşik değerden küçükse NYBB'ye rota sayısından bir eksik ZA tahsisi tercih edilebilecektir. Benzer şekilde en az $(n - 1)$ araca aynı anda ihtiyaç duyulması ihtimali değerlendirilebilir. Bu ihtimalin de belli bir eşik değerden düşük bulunması durumunda n rotaya $(n - 2)$ adet ZA tahsisi düşünülebilir. Örneğin, 4 adet rotanın söz konusu olduğu bir durumda 2 adet rotanın aynı gün ZA'ya ihtiyaç duyması ihtimali aşağıdaki şekilde hesaplanabilecektir.

$$\begin{aligned}
&= P_1P_2(1 - P_3)(1 - P_4) + P_1P_3(1 - P_2)(1 - P_4) & (3.23) \\
&+ P_1P_4(1 - P_2)(1 - P_3) + P_2P_3(1 - P_1)(1 - P_4) \\
&+ P_2P_4(1 - P_1)(1 - P_3) + P_3P_4(1 - P_1)(1 - P_2)
\end{aligned}$$

(3.9) numaralı denklemde yer alan *Zırhlı Araç Sayısı* ($ASBP^{t-1}$) ifadesi bir önceki etap verileri kullanılarak yukarıda anlatılan yöntemle hesaplanan ZA sayısını belirtmektedir.

Yukarıdaki formüllerde kullanılan, bir şubenin herhangi bir gün nakit hizmeti ihtiyacı içinde bulunması ihtimalini ifade eden p_i nasıl bulunabilir? Bir şubenin günde en fazla bir kez nakit hizmeti talep edeceği varsayımına dayanılarak, bu olasılık aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

q : Bir yıldaki iş günü sayısı

$$p_i = \frac{i \text{ şubesince talep edilen yıllık hizmet adedi} (R\text{ŞANYP}^{t-1})}{q} \quad (3.24)$$

Yukarıdaki formülün pay kısmındaki yıllık nakit hizmet talebi adedi Rassal Şartlar Altında Nakit Yönetim Problemi yardımıyla hesaplanabilmektedir. (3.7), (3.8) numaralı denklemlerde yer alan $Yol(ASBP^t)$ ifadesi, NYBB'lere bağlı araçların tamamının bir yıl içerisinde kat ettikleri yol miktarını belirtmektedir. $Yol(ASBP^t)$ aşağıdaki şekilde hesaplanabilecektir.

U_{kj} : k no'lu NYBB'nin j rotasının mesafe cinsinden uzunluğu

$$Yol(ASBP^t) = q \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n P_{kj}^{t-1} U_{kj}^{t-1} \quad (3.25)$$

3.4 OPERASYONEL MODEL: RŞANYP

RŞANYP her bir şube için ayrı çözümlenecek ve şubelerin optimal nakit yönetim politikaları belirlenecektir. Optimal nakit yönetim politikasından kast edilen, şubenin hangi eşik kasa değerlerinde nakit hizmeti talebinde bulunacağı ve bu durumda

ne kadar nakit alacağı ya da nakit vereceği hususlarıdır. 2.4.2 numaralı bölümde verilen standart modelde, nakit dönüştürme maliyetleri ile ilgili olarak aşağıdaki parametreler yer almaktadır.

K : Nakit varlığın getirili varlığa dönüştürülmesi sabit maliyeti

k : Nakit varlığın getirili varlığa dönüştürülmesi değişken maliyeti

T : Getirili varlığın nakit varlığa dönüştürülmesi sabit maliyeti

t : Getirili varlığın nakit varlığa dönüştürülmesi değişken maliyeti

Bankalardaki nakit yönetimi faaliyetleri dikkate alındığında, varlıklar arasındaki dönüştürme maliyetleri nakit hizmeti alınması maliyetine karşılık gelmektedir. Burada nakit alınması ya da verilmesinin eşit maliyete neden olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Gerçekten de ZA her iki durumda da aynı yolu kullanmakta ve aynı devir ve teslim işlemleri gerçekleştirilmektedir. Öte yandan, nakit yönetim hizmetleri bakımından sabit maliyet, değişken maliyete göre çok daha baskın bir faktör olmaktadır. Değişken maliyet sadece alınan/verilen nakdin sayımı sırasında ortaya çıkmaktadır. Çok hızlı para sayma makinelerinin geliştirilmesi nedeniyle, değişken maliyetin toplam maliyete olan etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde değişken maliyet kalemi ihmal edilmiş olmakla birlikte, önerilen yöntem basit modifikasyonlarla değişken maliyeti de içerecek şekilde genişletilebilecektir.

Sonuç olarak çalışmamızda ele alınan problemde yukarıda tanımlanan değişkenlerden $k = t = 0$ ve $K = T$ olmaktadır. Bu durumda dönüştürme maliyetini temsil eden fonksiyon basitleşerek aşağıdaki şekli almaktadır.

$$A(y, x) = \begin{cases} K, & y \neq x \\ 0, & y = x \end{cases} \quad (3.26)$$

2.4.2 numaralı bölümde beklenen nakit varlık fazlası/açığı maliyetinin hesaplanması için aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır.

ξ : Net harcama tutarı

$\pi(\xi)$: Net harcama tutarının olasılık dağılımı

$h(\xi)$: Nakit varlık fazlası birim maliyeti

$s(\xi)$: Nakit varlık açığı birim maliyeti

Şube örneği düşünüldüğünde kasada atıl tutulan nakdin bir maliyeti bulunmaktadır. Dahası, bu maliyet atıl nakdin belli bir yüzdesi olarak ifade edilebilen faiz maliyeti şeklinde olmaktadır.

Şubede kasanın eksiye dönmesi mümkün değildir. Bununla birlikte şubenin nakit darlığı yaşadığında yüksek faizle borçlandığı düşünülebilecektir. Bu tür işlemlerin pratikte normal faize ilaveten ne kadar ek maliyet oluşacağını belirlemek güçlük arz edecektir. Bu nedenle çalışmamızda nakit açığı kaynaklı maliyet hesaplaması yapılmamıştır. Bunun yerine üst yönetimin, müşteri memnuniyeti hedeflerine paralel olarak, şubede kasa yetersizliği nedeniyle gerçekleştirilemeyen işlem sayısını toplam işlem sayısının belli bir yüzdesiyle sınırladığı varsayılmıştır.

Diğer taraftan, daha sonra detaylarına yer verilecek çözüm yöntemimiz, gerçekleşmeyen her bir işlem için sabit bir müşteri memnuniyetsizliği maliyeti ya da nakit varlık açığı için faiz benzeri oransal maliyet oluşması durumlarına da basit modifikasyonlarla uyarlanabilmektedir.

Şube örneğinde net harcama tutarının olasılık dağılımı olan $\pi(\xi)$ gerçekleşen para yatırma ve çekiliş işlemlerinin dağılımıdır. Sonuç olarak incelediğimiz durumda kasada atıl nakit bulundurulması maliyeti aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$L(y) = h \int_{-\infty}^y (y - \xi)\pi(\xi)d(\xi) \quad (3.27)$$

Fonksiyonda yer alan $(y - \xi)$ atıl varlık miktarını göstermekte, $h(y - \xi)$ de bu tutarın fırsat maliyetini temsil etmektedir. Bu rakam olasılık dağılımı ile çarpılıp integrali alınarak fırsat maliyetinin beklenen değeri bulunmaktadır. Tüm bu

tanımlamalar eşliğinde daimi koşullarda (steady state) optimal politikayı verecek denklem aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$C(x) = \min_y \left\{ A(y, x) + h \int_{-\infty}^y (y - \xi) \pi(\xi) d(\xi) + \alpha \int_{-\infty}^{\infty} C(y - \xi) \pi(\xi) d(\xi) \right\} \quad (3.28)$$

Milbourne (1983) varlıklar arasındaki dönüştürme maliyetinin yalnızca sabit maliyet içerdiği durumda (U, z, D) modelinin optimal olduğunu göstermiştir¹⁵⁴. Bu modelde nakit tutarı U 'nun altına inmesi halinde bakiye z 'ye gelecek kadar nakit takviyesinde bulunmakta, nakit tutarının D 'nin üstüne çıkması halinde ise bakiyeyi z 'ye indirecek kadar nakit transferi yapılmaktadır. Nakit tutarı U ile D arasında serbestçe dalgalanmakta, herhangi bir işlem yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Basit yapısı nedeniyle (U, z, D) politikasının her kesim tarafından rahat anlaşılması ve kolay uygulanabilmesi gibi pratik faydaları bulunmaktadır.

(U, z, D) olarak ifade edilen politikanın parametrelerinin bulunması için (3.28) numaralı denklemin çözülmesi gerekmektedir. Bu denklemin çözümü çeşitli güçlükler içermektedir. Öncelikli olarak nakit hareketlerinin dağılım fonksiyonu bulunmalı, yukarıdaki formüle yerleştirilmelidir. Daha sonra küme işareti içindeki ifadenin y 'ye göre türevinin 0'a eşit olduğu noktalar ile sınır ve köşe noktalar tespit edilerek çeşitli x değerlerine göre minimumu verecek değerler araştırılmalıdır. Problem karmaşık diferansiyel denklem çözümünü de gerektirmektedir.

Bir diğer güçlük ise belirtilen karmaşık fonksiyonun her bir şube için analiz edilecek olmasıdır. Her bir şubenin nakit hareketlerinin dağılımı bulunmalı, bu dağılıma bağlı olarak ortaya çıkan fonksiyon kritik noktalarda değerlendirilmelidir. Belirtilen hususlar bilgisayar destekli olarak yapılacak nümerik hesaplamaları da zorlaştıracak türden sorunlardır.

(U, z, D) politikasının (z, D) şeklinde ifade edilen Miller-Orr Modelindeki politikaya benzemesi, parametrelerin tahmininde bu modele ilişkin (2.18) ve (2.19)

¹⁵⁴ Milbourne, s.695,

numaralı denklemlerle ifade edilen kapalı formüllerin kullanılması seçeneğini akla getirebilecektir. Ancak, fazlaca kısıtlayıcı varsayımları nedeniyle Miller-Orr Modeline ilişkin sonuçların şube nakdinin yönetiminde kullanılması mümkün bulunmamaktadır. Bu varsayımlardan ilki Miller-Orr Modelinde varlıklar arasındaki nakit transferinin anlık olarak gerçekleştirilebilmesidir. Herhangi bir ihtiyat bakiyesi bulundurulması ihtiyacı olmayan bu durumda, atıl nakit miktarını azaltmak üzere minimum kasa bakiyesi U_0 'a indirilebilmekte ve (z, D) şeklindeki bir politika optimal olmaktadır. Oysa şube nakdinin yönetimi örneğinde müşteri memnuniyeti ve itibar kaygıları nedeniyle böyle bir politika kabul edilebilir olmamakta ve belli bir ihtiyat nakit stoku tutulması tercih edilmektedir. Nakit hareketlerinin eşit tutarlı ve eşit olasılıkla gerçekleşmesi diğer sınırlayıcı varsayımlardır. Bu tip kısıtlayıcı varsayımları Miller-Orr Modelinin gerçek hayat problemlerinde kullanılmasını neredeyse imkânsız hale getirmektedir.

Tüm bu güçlükler nedeniyle, çalışmamızda (U, z, D) politikasının parametrelerinin bulunmasında benzetişim (simülasyon) ve arama tekniklerinin birlikte kullanılması yöntemi benimsenmiştir. Bu yöntemde ilk olarak şubenin nakit hareketlerinin olasılık dağılımı bulunmaktadır. Bunu takiben şubedeki hayatı canlandırmak üzere bu dağılıma uygun olarak dönemlik nakit hareketi verisi üretilmektedir. Bahsi geçen veri setine dayanılarak benzetişim modeli yardımıyla herhangi bir politikanın kaç kez nakit hizmeti talebini gerektirdiği, kasada ne kadar atıl para bulundurulduğu, dolayısıyla şube özelinde nakit yönetim maliyeti tespit edilebilmektedir. Benzetişim modeli yardımıyla bulunan toplam nakit yönetim maliyeti bağlı, politika büyüklükleri ise bağımsız değişken olarak kabul edilerek, politika büyüklükleri üzerinde yoğun arama yöntemi ile minimum maliyeti veren nakit yönetimi politikası büyüklükleri bulunmaktadır.

Öte yandan şubelerdeki nakit yönetim faaliyetlerini tam olarak yansıtabilmesi açısından, yukarıdaki modele bir önemli ekleme daha yapılması gerekmektedir. O da ilgili bölümde varsayılan durumun aksine, şubelerin anlık olarak nakit temin edememeleri durumudur. Şubeler nakit miktarı belli bir düzeyin altına düştüğünde nakit talebinde bulunmakta, bu talep belli bir süre sonra karşılanabilmektedir. Nakit temin

süresi içinde öngörülenden fazla çekiliş olması halinde bir kısım müşteri talebinin süresinde karşılanamaması sorunu ortaya çıkmaktadır. Müşteri memnuniyetsizliği yanında, banka itibarının da riske edilmesi nedeniyle bu ihtimalin belli limitler dâhilinde tutulması politikası benimsenmektedir.

Milbourne (1983) tarafından (U, z, D) politikasının optimal olacağı belirlenmesi, nakit hizmetinin anlık temin edilebildiği durum için yapılmıştır¹⁵⁵. Ancak, yukarıda belirtildiği üzere çalışmamızda ele alınan problemde nakit hizmeti ani olarak temin edilememektedir. Bu durumda (U, z, D) politikası optimal sonuç vermeyebilecek olmakla birlikte, optimale yakın sonuç üretebileceği öngörüsüyle çalışmamızda belirtilen politikanın kullanılması benimsenmiştir.

Takip eden bölümlerde sırasıyla Benzetişim Yöntemi ve Altın Kesim Arama (Golden Section Search) benzeri Arama Yordamı detaylı olarak işlenecektir.

3.4.1 Benzetişim Modeli

Şubede gerçekleşen nakit hareketleri üzerinde alternatif nakit yönetimi politikalarının etkilerini izleyebilmek üzere bir benzetişim modeli oluşturulmuştur. Benzetişim modelinin bu amaçla oluşturulan profesyonel yazılımlar aracılığı ile geliştirilmesi mümkün olmakla birlikte, şubedeki nakit hareketlerinin görece basit nitelikli olması nedeniyle, hesap çizelgesi yazılımlarında da oluşturulması mümkündür. Daha geniş kullanıcı kitlesine hitap etmesi, kolay manipüle edilmesi, kullanıcı dostu bir programlama dili olan Visual Basic aracılığı ile kolay makro geliştirme ve kodlama imkânı tanınması nedenleriyle benzetişim modeli Microsoft Excel üzerinde geliştirilmiştir.

Benzetişim modeli iki farklı tablo içermektedir. Birinci tabloda işlemlere gerçekleştikleri an itibarıyla sıralı bir şekilde satırlarda yer verilmiştir (Şekil 6). Sütunlarda sırasıyla “Tarih/Saat”, “Borç” (nakit tevdiat), “Alacak” (nakit çekiliş) bilgileri veri olarak yer almaktadır. “+ Bakiye” ve “- Bakiye” sütunları çekiliş ve yatırma işlemlerinin sonucuna bağlı olarak değişen bakiyeleri içermektedir. Herhangi

¹⁵⁵ Milbourne, s.686-687.

bir işlemde (U, z, D) modelinde belirlenen U ya da D eşik değerine ulaşırsa, şubenin NYBB'ye uzaklığına bağlı olarak işlem anına ZA 'nın ulaşım süresini temsilen bir süre marjı eklenmekte ve L sütununa bu değer kaydedilmektedir. Bu saat gelince şubenin kasa bakiyesi z 'ye eşitlenmektedir.

	C	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
	Tarih/Saat	Borç	Alacak	+Bakiye	-Bakiye	NYH Gelme Saati	Grup İstendi mi?	Grup Alındı mı?	Grup Verildi mi?	Gerçekleştirilmeyen İşlem Sayısı			Bakiye	Positif Adat		
1145	07.01.2010 16:15	2.421		493.605												
1146	07.01.2010 16:16	71		493.676												
1147	07.01.2010 16:21	1.521		495.197												
1148	07.01.2010 16:21	316		495.513												
1149	07.01.2010 16:23	34		495.547												
1150	07.01.2010 16:24	7.539		503.086		07.01.2010 17:24	1									
1151	07.01.2010 16:25	0	22.533	480.553		07.01.2010 17:24										
1152	07.01.2010 16:27	1.924		482.477		07.01.2010 17:24										
1153	07.01.2010 16:28	742		483.219		07.01.2010 17:24										
1154	07.01.2010 16:40	1		483.220		07.01.2010 17:24										
1155	07.01.2010 17:03		204	483.016		07.01.2010 17:24										
1156	07.01.2010 17:11		190	482.826		07.01.2010 17:24										
1157	07.01.2010 17:18		10	482.816		07.01.2010 17:24										
1158	07.01.2010 17:23	241		483.057		07.01.2010 17:24										
1159	07.01.2010 17:28	159		200.159					1							
1160	07.01.2010 17:39	251		200.410												
1161	07.01.2010 17:31	201		200.611												
1162	07.01.2010 17:37		4.000.00	196.611												

Şekil 6: Benzetişim Modeli - Nakit Hareketleri Sayfası – Nakit Verme

Verileri rassal olarak üretilen bir şubeye ilişkin örnek bir zaman kesitine Şekil 6'da yer verilmiştir. Şubede politika değerleri (50.000, 200.000, 500.000) olarak belirlenmiş olup NYBB'ye olan uzaklığının da bir saat olduğu kabul edilmiştir. Şubenin kasası ilk altı işlemde yapılan para yatırımlarla artmakta, 16:24'de kasa üst eşik olan $D = 500.000$ TL'yi aşmaktadır. Tam da bu anda şube nakit yönetim hizmeti talebinde bulunmakta, bu hizmetin geliş saati 17:24 olarak belirlenmekte ve oluşturulan formülasyon aracılığı ile L sütununa kaydedilmektedir. 17:24 saatinden sonraki ilk işlemde şubenin hedef kasa üzerindeki nakdini devrettiği varsayılarak kasa bakiyesi $z = 200.000$ TL olarak güncellenmektedir.

	C	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Tarih/Saat	Borç	Alacak	+Bakiye	-Bakiye	NYH Gelme Saati	Grup İstendi mi?	Grup Alındı mı?	Grup Verildi mi?	Gerçekleştirilemeyen İşlem Sayısı			Bakiye	Pozitif Adat		
9008	16.02.2010 15:15	27		76.265												
9009	16.02.2010 15:15	25		76.290												
9010	16.02.2010 15:16	903		77.193												
9011	16.02.2010 15:21		4	77.189												
9012	16.02.2010 15:24	9.602		86.791												
9013	16.02.2010 15:25		57.637	29.154		16.02.2010 16:25	1									
9014	16.02.2010 15:30	5.285		34.439		16.02.2010 16:25										
9015	16.02.2010 15:31	5.224		39.663		16.02.2010 16:25										
9016	16.02.2010 15:42		100.005	-60.342		16.02.2010 16:25			1							
9017	16.02.2010 15:50		29	-60.371		16.02.2010 16:25			1							
9018	16.02.2010 16:05	100.001		39.630		16.02.2010 16:25										
9019	16.02.2010 16:09		625	39.005		16.02.2010 16:25										
9020	16.02.2010 16:26	1		39.006		16.02.2010 16:25										
9021	16.02.2010 16:44	700		200.700				1								
9022	16.02.2010 17:02	867		201.567												
9023	16.02.2010 17:20	0	1.012	200.555												
9024	16.02.2010 17:38	0	100	200.467												
9025	16.02.2010 17:56	120		200.587												

Şekil 7: Benzetişim Modeli - Nakit Hareketleri Sayfası – Nakit Alma

Şubenin nakit aldığı durum ise Şekil 7’de gösterilmektedir. Şube kasası 70 binli rakamlarda gezinirken, 15:25’deki işlemle kasa bakiyesi alt eşik değer olan $U = 50.000$ TL’nin altına düşmekte ve Nakit Yönetim Hizmeti talebinde bulunmaktadır. Şubenin NYBB’ye uzaklığı 1 saat olarak kabul edildiğinden hizmet gelme anı 16:25 olarak belirlenmektedir. Nakit desteği gelinceye kadar şube 15:42 ve 15:50 saatleri sırasındaki iki çekiliş işlemi gerçekleştirememiştir. Bu durum P sütunundaki formülasyonla kayıt altına alınmıştır. İleride daha detaylı olarak değinileceği üzere çalışmamızda üst yönetimin gerçekleştirilmeyen işlem adedi ile ilgili olarak belirli bir oransal sınırlama getirdiği varsayılmıştır. Bu sınırlamanın üzerinde gerçekleştirilmeyen işlem adedine neden olan politikalar uygunsuz olarak değerlendirilmektedir. Saat 16:25’de şube kasası hedef değer olan $z = 200.000$ ’e eşitlenmiştir.

Sonuç olarak Benzetişim Modelinin ilk sayfasında şubenin saatler itibariyle kasa hareketleri bir girdi olarak yer almakta, kasa bakiyesindeki artış/azalışlar hesaplanarak belirlenen politika alt limit, üst limit ve hedef kasa büyüklüklerine göre

şubenin nakit yönetim hizmeti talebi adedi, gerçekleşmeyen işlem adedi gibi istatistiklere baz teşkil edecek veriler üretilmektedir. Belirtilen sayfa aracılığı ile gün sonu bakiye tutarları da hesaplanmakta, bu bakiye tutarları üzerinden atıl nakit bulundurma kaynaklı faiz kayıpları da hesaplanabilmektedir.

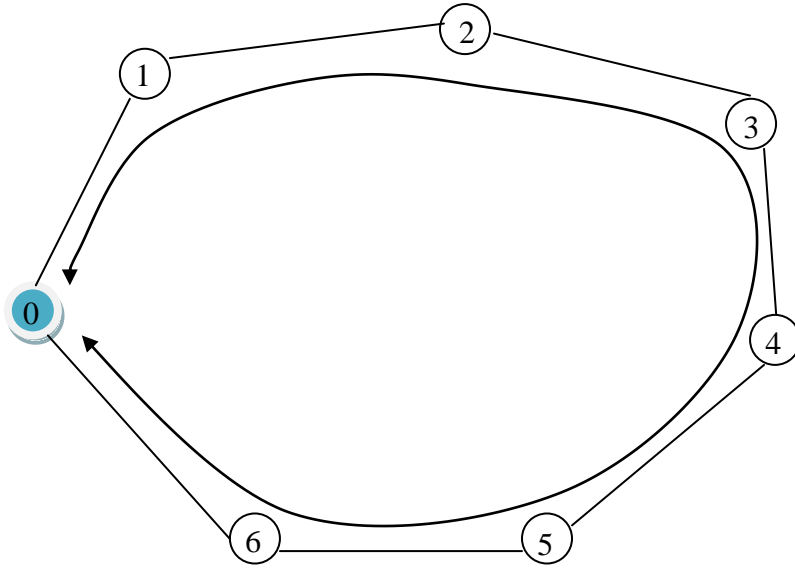
	A	B	D	E	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1													
20	Ortalama	M	202.260	141.702									
21	Faiz (Yıllık)		8%										
22	Faiz (Günlük)	v	0,02%										
23	Faiz Maliyeti		3.990	2.795									
24													
25	Kasa Alt Limiti	U	50.000	0									
26	Hedef Alt Kasa	z	200.000	106.276									
28	Kasa Üst Limiti	D	500.000	318.829									
29													
30	Grup Gelme Süresi		01:00										
31	Alınan Grup Sayısı		9										
32	Verilen Grup Sayısı		10										
33	Talep Edilen Grup Sayısı		19	8									
34													
35	Birim Grup Maliyeti	y	129										
36	Toplam Grup Maliyeti		2.451	994									
37													
38	Gerçekleştirilemeyen İşlem Sayısı		13										
39	Gerçekleştirilemeyen İşlem Yüzdesi (Hedef)		0,28%										
40													
41	Gerçekleştirilemeyen İşlem Birim Maliyeti												
42	Gerçekleştirilemeyen İşlem Maliyeti		0										
43													
44	Toplam Maliyet		6.441	3.789									
45													

Şekil 8: Benzetişim Modeli – Parametreler Sayfası

Benzetişim modelinin ikinci sayfasında modelin ve nakit yönetimi politikasının parametrelerini, bu politikanın sonuçlarını ve maliyet bilgilerini içeren tablolar yer almaktadır (Şekil 8). Benzetişim modeli AYP'den iki bilgiyi girdi olarak kullanmaktadır. Bunlardan ilki 30. satırda yer alan, gün içinde ZA'nın ortalama şubeye süre olarak uzaklığıdır. İkinci girdi ise 35. satırda yer alan nakit yönetim hizmetinin maliyetidir.

ZA'nın şubeye olan süre cinsinden uzaklığı, şubenin dâhil olduğu ZA rotasına bağlı olarak değişmektedir. ZA'nın rotayı tamamlama süresi T ise, rota üzerindeki tüm şubeler için süre cinsinden ortalama uzaklık bu sürenin dörtte biri olarak, yani $T/4$ olarak alınmıştır. Bunun gerekçesi şuna dayanmaktadır. Araç gün içinde rota üzerinde

daire benzeri bir kapalı hat üzerinde seyir halinde bulunmaktadır. Şubenin nakit hizmet talebi olduğunda araç rotanın üzerinde herhangi bir noktada olabilecektir. Aracın yalnızca bir yönde rotayı turlaması halinde aracın şubeye olan minimum mesafesi 0, maksimum mesafesi T , ortalama mesafesi ise $T/2$ olmaktadır. Aracın her iki istikamete de gidebileceği var sayıldığında şubeye olan uzaklığı maksimum $T/2$, ortalama mesafe ise $T/4$ olmaktadır. Örneğin Şekil 9'da yer alan örnekte 3 numaralı şubeyi ele alalım. Araç normal istikamette devam ederek 5 no'lu şubeye ulaştığında nakit hizmet talebi ortaya çıkarsa, araç geriye dönerek 4 no'lu şube üzerinden 3'e ulaşarak hizmeti karşılayabilecektir. Bu durumda da kat edilen toplam mesafe her durumda rotanın toplam uzunluğunun yarısından az olacaktır.

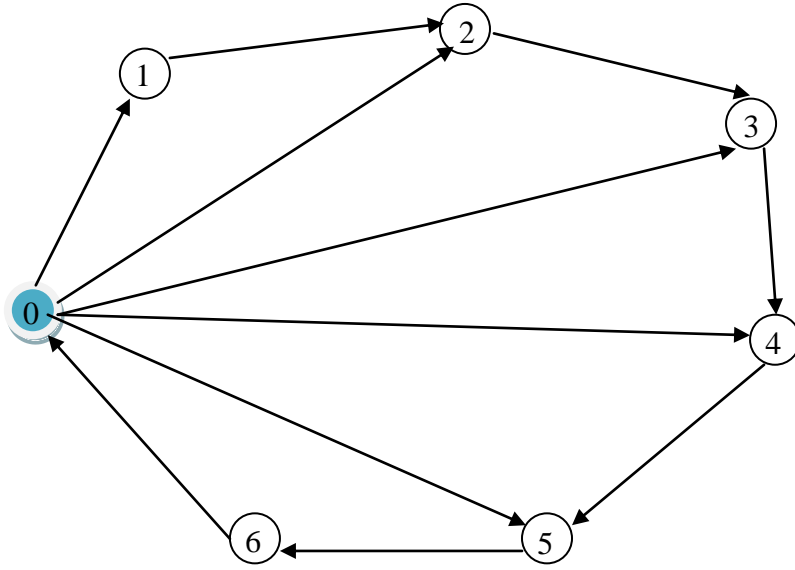


Şekil 9: Rota Üzerinde Ortalama Mesafe

Nakit yönetim hizmeti maliyetinin hesaplanmasında rotaya ilişkin iki büyüklük kullanılmıştır. Mesafe Katkısı ve Süre Katkısı olarak adlandırılan bu büyüklükler her bir şubenin izlenen rotanın mesafe ve süre olarak uzunluğuna olan katkılarını ifade etmektedir ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Rota Uzunluğu} \times \frac{\text{Şubenin NYBB'ye Uzaklığı}}{\text{Şubelerin NYBB'ye Olan Toplam Uzaklığı}} \quad (3.29)$$

Diğer bir ifadeyle, her bir şubenin doğrudan NYBB'ye olan uzaklığı ağırlık alınarak rotanın uzunluğu şubelere paylaştırılmaktadır. Yani bir şubenin NYBB'ye olan direkt uzaklığı ne kadar fazla ise rotanın süre ve yol olarak uzaklığından da o kadar fazla pay almaktadır (Şekil 10).



Şekil 10: Mesafe ve Süre Katkısı Büyüklüklerinin Hesaplanması

Nakit yönetim hizmetinin maliyeti ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} &= \text{Mesafe Katkısı} \times \text{Değişken Yol Maliyeti} \\ &+ \text{Süre Katkısı} \times \text{Personel Sayısı} \times \text{Birim Personel Maliyeti} \end{aligned} \quad (3.30)$$

B sütununda U, z ve D olarak belirlenen hücrelerin sağında politika büyüklüklerine yer verilmiştir (Şekil 8). İlk sayfada kasa bakiyesi hangi tutarlara ulaşıldığında nakit yönetimi hizmeti talebinde bulunulacağı ve kasa bakiyesini hangi tutara ulaştırarak kadar nakit alınacağı ya da verileceği hususları ikinci tabloda yer alan bu büyüklüklere bakılarak belirlenmektedir.

Bu politika “Ampirik” isimli sütunda yer verildiği üzere 202.260 TL kasa ortalaması oluşmasına neden olmuştur. Kasa ortalaması ilk sayfadaki “+Bakiye” sütununda yer alan gün sonu bakiyelerinin ortalamasıdır. Örnekte üç aylık kasa hareketi üzerinde çalışıldığından, %8 yıllık faiz oranı üzerinden bu ortalama 3.990 TL tutarında atıl para tutma maliyetine neden olmaktadır (Şekil 8).

Benzetişim Modelinin ikinci sayfasında yer alan 31 ve 32. sütunlarında alınan nakit yönetim hizmeti adedine yer verilmiştir (Şekil 8). 31. sütunda şubenin kaç kez ZA’dan nakit aldığı, 32. sütunda ise kaç kez araca nakit verdiği bilgileri yer almaktadır. Bu bilgiler ilk sayfadaki hesaplamalar üzerinden derlenmektedir. Örnekte şube üç aylık dönemde 9 kez nakit alımı, 10 kez nakit teslimi olmak üzere toplam 19 kez nakit yönetimi hizmeti almıştır. Her bir nakit hizmeti 129 TL maliyete neden olduğundan toplamda 2.451 TL nakit hizmeti maliyeti ortaya çıkmıştır.

Benzetişim Modelindeki ikinci sayfanın 38. satırında ise kasa yetersizliği nedeniyle kaç işlemin gerçekleştirilemediği ve hemen altında da toplam işlem sayısına yüzde kaç olduğu bilgilerine yer verilmiştir (Şekil 8). Çalışmamızda üst yönetimin bu oran üzerine bir sınırlama getirdiği varsayımı yapılmıştır. Bu sınırlamanın üzerindeki politika seçenekleri yetersiz olarak değerlendirilmiştir. Öte yandan gerçekleştirilemeyen her bir işlem üzerinden maliyet hesaplanması ve toplam maliyete eklenmesi de mümkündür. Modeldeki ikinci sayfanın 41 ve 42. satırlarında buna uygun bir yapı oluşturulmakla birlikte, çalışmamızda bu yetenek kullanılmamıştır. Bunda temel neden bir işlemin gerçekleştirilememesi nedeniyle ortaya çıkan müşteri memnuniyetsizliğine ilişkin maliyetin sayısallaştırılmasındaki güçlüktür.

Belirlenen nakit yönetimi politikasının maliyeti 44. satırda yer almaktadır. Bu maliyet nakit hizmeti maliyeti ile atıl nakit bulundurulması maliyetinin toplamından oluşmaktadır (Şekil 8). Sonuç olarak ikinci sayfa politika ile model parametrelerine ilişkin büyüklükleri içermekte ve bu koşullar altında ilk sayfada yer alan nakit hareketlerinin oluşturacağı nakit yönetimi politikasının maliyetini hesaplamaktadır.

3.4.2 Arama Yordamı

Minimum maliyetli nakit yönetim politikasını belirlemek üzere benzetişim modelini kullanan bir Arama Yordamı geliştirilmiştir. Arama yordamı her bir politika büyüklüğü için bir aralık belirlemekte, optimal politika büyüklüklerini tespit etmek üzere tekrarlı bir şekilde bu aralıkları daraltmaktadır.

Yöntem şu şekilde çalışmaktadır. U, z ve D büyüklüklerinin her biri için belirli bir ilk aralık alınmakta, daha sonra bu aralık içerisinde yer alan eşit uzaklıktaki n nokta belirlenmektedir. U, z ve D için belirlenen n 'er noktanın her bir kombinasyonu için benzetişim modeli çalıştırılmakta ve politika maliyeti bulunmaktadır. Her tekrarda incelenen toplam kombinasyon sayısı n^3 adettir.

Daha sonra minimum maliyeti veren nokta kombinasyonu seçilmektedir. Bu kombinasyonu oluşturan U, z ve D büyüklükleri baz alınarak yeni aralıklar belirlenmektedir. Her bir politika büyüklüğü için minimum maliyeti veren noktadan bir önceki ve bir sonraki nokta yeni aralıkların alt ve üst limitleri olmaktadır.

Arama yordamı bir Excel sayfası ile Visual Basic programlama dilinde yazılmış 56 satır içeren bir programdan oluşmaktadır. Excel sayfasında (U, z, D) politika büyüklüklerinin her birinin arandığı aralıklar, bu aralıklar içinde seçilen değer kombinasyonlarının her biri için hesaplanmış kasa maliyetleri, bu kombinasyonlar içerisinde minimum maliyeti veren politika bilgileri yer almaktadır (Şekil 11).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2		Maliyet		Alt Limit		Hedef Alt Kasa		Üst Limit											
3	Alt Sınır			0		0		0		Run Sayısı	1								
4	Üst Sınır			82.636		330.543		661.086		İterasyon	125								
5																			
6	Yeni Alt Sınır			0		0		0											
7	Yeni Üst Sınır			20.659		165.272		330.543											
8																			
9	Cari Minimum	4.309		0		82.636		165.272											
10	Run Minimumu	4.309		0		165.272		330.543											
11																			
12	Eşik			1.000		1.000		1.000											
13																			
14	Grid Sayısı		5		5		5												
15																			
16		999.999.999.999	25	82.636	5	330.543	1	0											
17		6.028	26	0	6	0	2	165.272											
18		999.999.999.999	27	20.659	6	0	2	165.272											
19		999.999.999.999	28	41.318	6	0	2	165.272											
20		999.999.999.999	29	61.977	6	0	2	165.272											
21		999.999.999.999	30	82.636	6	0	2	165.272											
22		4.309	31	0	7	82.636	2	165.272											
23		4.987	32	20.659	7	82.636	2	165.272											
24		10.142	33	41.318	7	82.636	2	165.272											
25		999.999.999.999	34	61.977	7	82.636	2	165.272											
26		999.999.999.999	35	82.636	7	82.636	2	165.272											
27		15.094	36	0	8	165.272	2	165.272											
28		19.250	37	20.659	8	165.272	2	165.272											
29		21.011	38	41.318	8	165.272	2	165.272											
30		21.992	39	61.977	8	165.272	2	165.272											
31		27.428	40	82.636	8	165.272	2	165.272											
32		999.999.999.999	41	0	9	247.907	2	165.272											
33		999.999.999.999	42	20.659	9	247.907	2	165.272											
34		999.999.999.999	43	41.318	9	247.907	2	165.272											
35		999.999.999.999	44	61.977	9	247.907	2	165.272											
36		999.999.999.999	45	82.636	9	247.907	2	165.272											

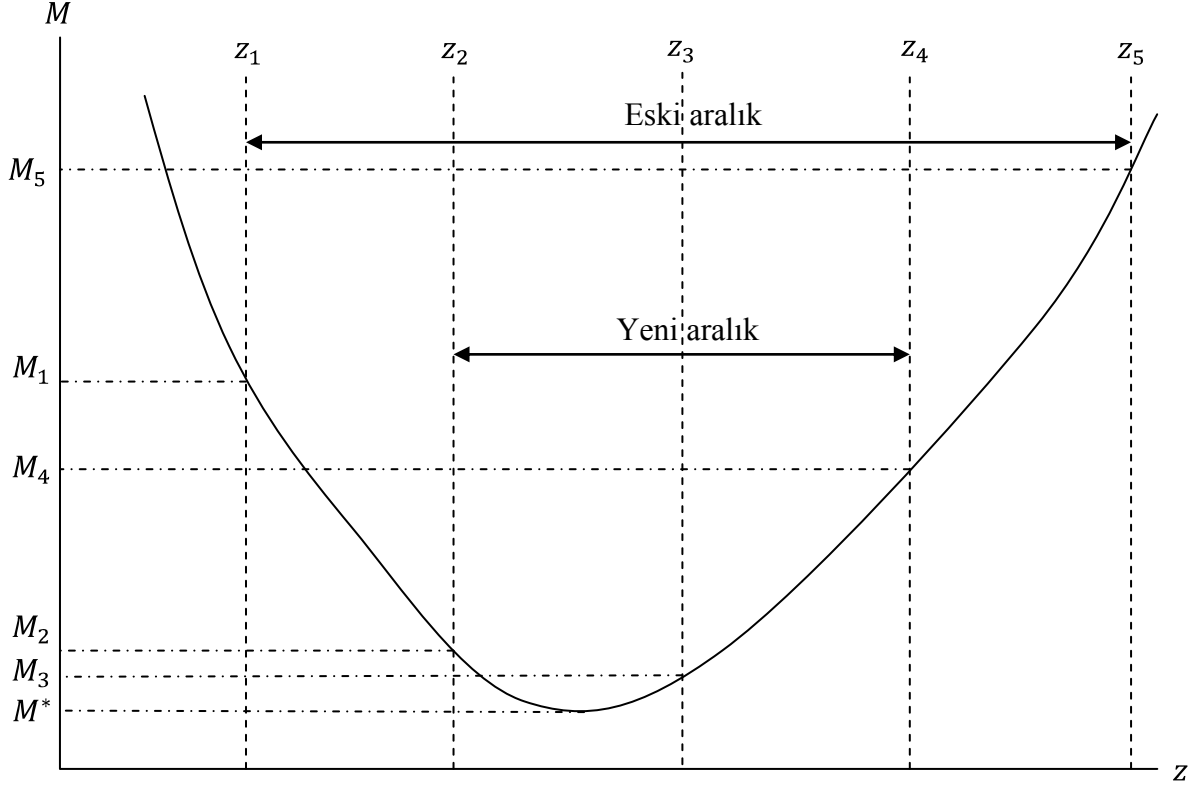
Şekil 11: Arama Yordamı – Excel Sayfası

Aralıklar Şekil 11’de 3 ve 4. satırlarda yer almaktadır. U politika büyüklüğü için aralık $[0, 82.636]$ olarak belirlenmiştir. $n = 5$ olarak alındığı için bu aralık içerisindeki 5 nokta $\{0, 20.659, 41.318, 61.977, 82.636\}$ olarak belirlenmektedir. Bu durumda z politika büyüklüğü için aralık $[0, 330.543]$ olduğundan, 5 nokta $\{0, 82.636, 165.272, 247.907, 330.543\}$ olarak belirlenmiş bulunmaktadır. D politika büyüklüğü $[0, 661.086]$ aralığında aranmakta olduğundan, olası noktalar $\{0, 165.272, 330.543, 495.815, 661.086\}$ olarak belirlenmiştir.

Bu noktaların tüm olası kombinasyonları D , F ve H sütunlarında listelenmiştir. Visual Basic ile hazırlanan program, Excel sayfasında yer alan her bir kombinasyonu benzetişim modelindeki politika hücrelerine yapıştırmaktadır. Daha sonra benzetişim modeli tarafından bulunan maliyet, kombinasyonla aynı satırda olacak şekilde B sütununa kaydetmektedir. $U < z < D$ olmaması halinde ya da kasa yetersizliği nedeniyle gerçekleştirilemeyen işlem oranı eşik değer üzerinde kalması halinde maliyet 999.999.999.999 olarak kabul edilmektedir.

Her bir program tekrarında minimum maliyeti veren nokta kombinasyonu 9. satıra kaydedilmektedir. Bu noktaların bir alt ve bir üstlerinde yer alan noktalar da 6 ve 7. satırlarda izlenmektedir. Bir sonraki tekrarda 6 ve 7. satırlar daraltılmış yeni aralıklar olarak 3 ve 4. satırlara yapıştırılmaktadır. Daraltılmış aralıklar üzerindeki noktalar üzerinden yeni kombinasyonlar belirlenmektedir. Örnekte de 46. satırda oluşan minimum 9. satıra kaydedilmiş, yeni alt ve üst sınırlar 6 ve 7. satırlarda verilmiştir (Şekil 11). Dolayısıyla U için yeni aralık $[0, 20.659]$, z için yeni aralık $[0, 82.636]$, D için yerin aralıklar $[0, 165.272]$ olmaktadır. Program için durma kriteri tüm politika büyüklüklerinin alt ve üst sınırları arasındaki farkın 12. satırda yer verilen eşik değerin altına inmesi olarak belirlenmiştir.

Yöntemin çalışma şekli aşağıdaki grafikte açıklanmıştır (Grafik 5). Hedef kasa değişkeni olan z'nin ilk aralığı $[z_1, z_5]$ olarak belirlenmiştir. İlki z_1 , sonuncusu z_5 olmak üzere, bu aralıkta eşit mesafelerde yer alacak şekilde 5 nokta belirlenmiştir. Fonksiyonun bu noktalar için değeri karşılaştırıldığında minimum değer z_3 'de yer almaktadır. Yeni aralık z_3 'ün öncesinde ve sonrasında yer alan noktalar olan z_2 ve z_4 sınır alınarak, yani $[z_2, z_4]$ olarak belirlenmektedir. Bir sonraki tekrarda bu aralık yine 5 parçaya bölünecek ve minimum değeri veren noktaya göre alt ve üst noktalar alınacaktır.



Grafik 5: Arama Yordamının Çalışma Şekli

İfade edilen metodolojinin optimal politikayı bulup bulmayacağı konusu da irdelenmelidir. Maliyet fonksiyonunun Grafik 5'teki gibi konveks nitelikli olması halinde yukarıdaki yöntemin optimal çözüme yakınsayacağı açıktır. Çünkü her bir tekrarda minimum noktanın aralıkta kalması sağlanmakta ve ilgili aralık daraltılmaktadır. Konveks fonksiyonlar aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır¹⁵⁶.

$$f(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \leq \lambda f(x_1) + (1 - \lambda)f(x_2) \quad \lambda \in [0,1] \quad (3.31)$$

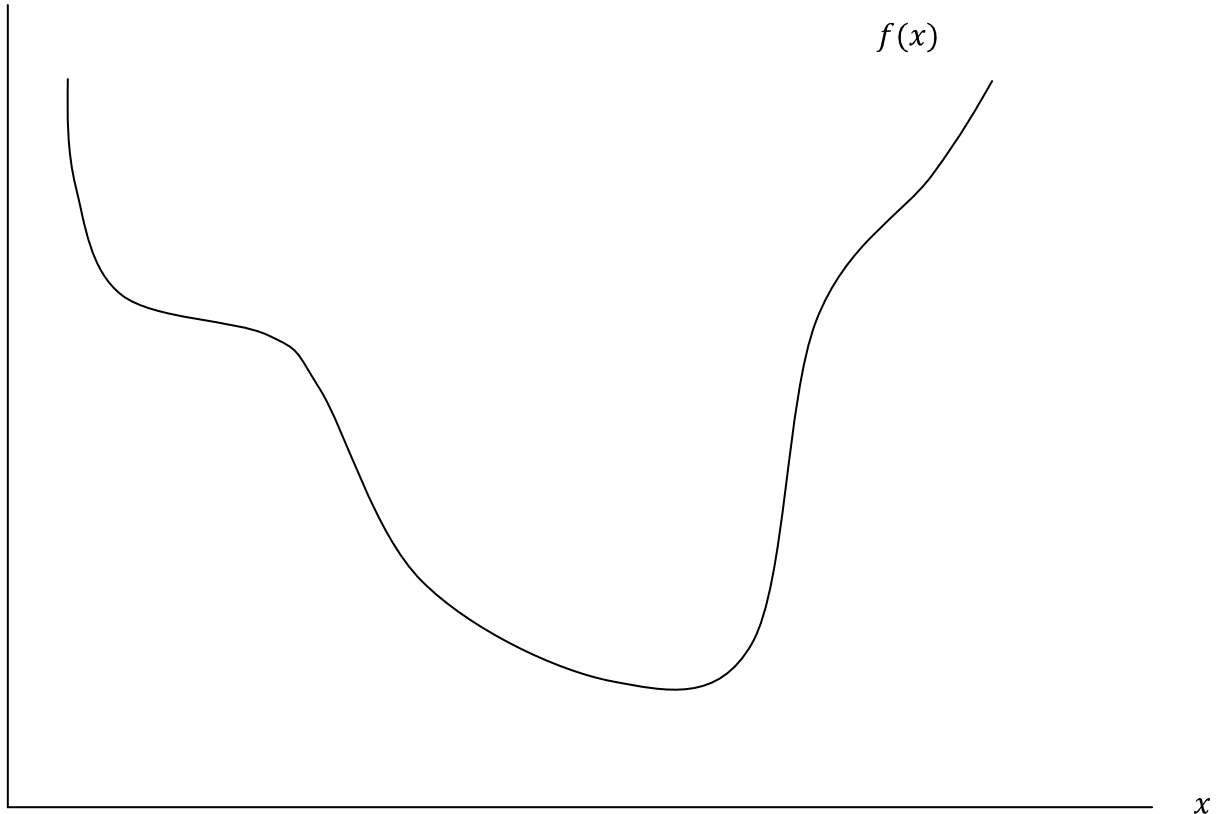
Genel olarak optimum noktaya kadar sürekli azalan ve optimum noktadan sonra da sürekli olarak artan nitelikli fonksiyonlar da yukarıdaki yöntem optimal

¹⁵⁶ Wayne L. Winston, **Operations Research Applications and Algorithms**, 2. Basım, Boston: PWS-Kent Publishing Company, 1991, s.618.

çözümeye yakınsayacaktır. Konveks benzeri (Quasi-convex) fonksiyon olarak tanımlanan bu tip fonksiyonlara ilişkin tanıma aşağıda yer verilmiştir¹⁵⁷.

$$f(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \leq \text{Mak}\{f(x_1), f(x_2)\} \quad \lambda \in [0,1] \quad (3.32)$$

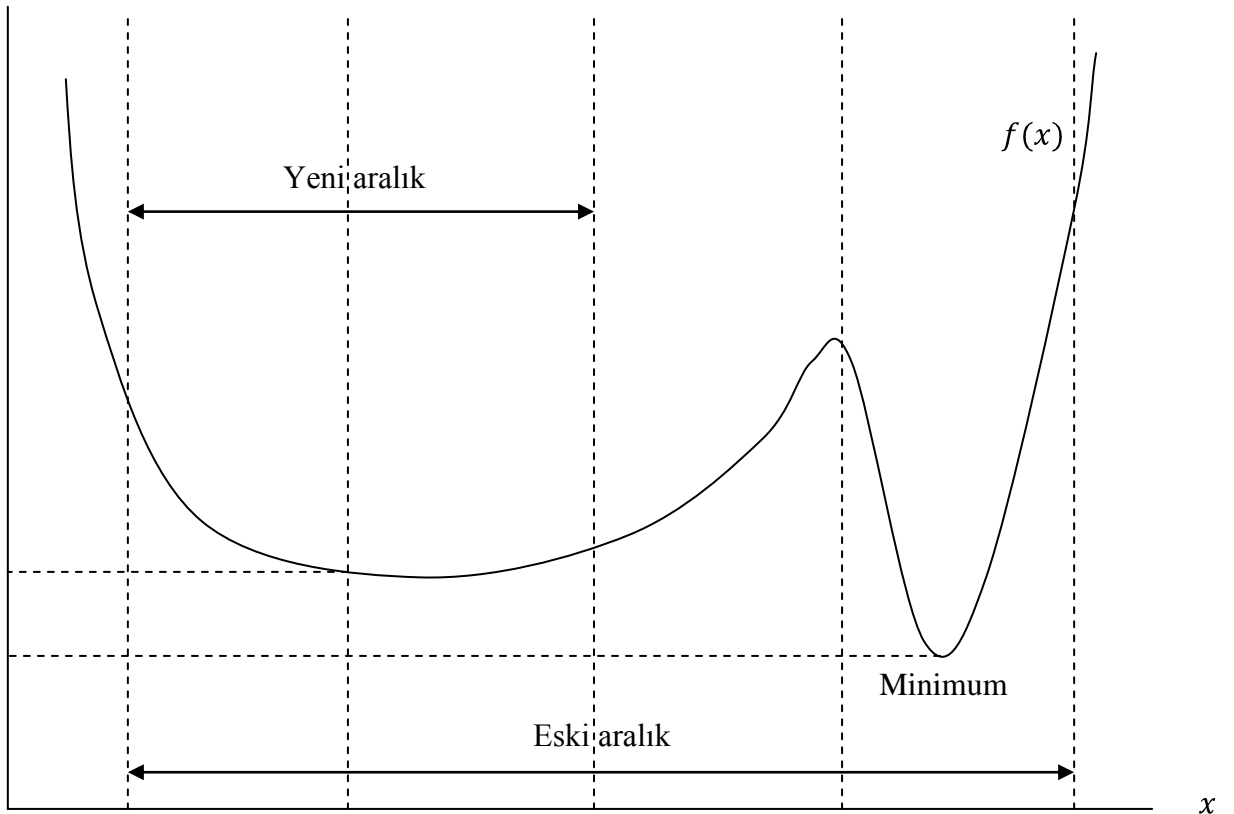
Konveks benzeri fonksiyonlar konveks fonksiyonları da içeren daha genel bir fonksiyon grubu olup bir örneği Grafik 6'da verilmiştir. Konveks benzeri fonksiyonlarda da yukarıdaki yöntem minimum değerin sürekli olarak belirlenen aralık içerisinde kalmasını sağlayacak, her tekrarda aralık daraltılacağı için yöntem optimal çözüme yakınsayacaktır.



Grafik 6: Konveks Benzeri Fonksiyon Örneği

¹⁵⁷ Harvey J. Greenberg ve William P. Pierskalla, **A Review of Quasi-convex Functions**, Operations Research, Vol.19, No.7, (November-December 1971), s.1554.

Maliyet fonksiyonunun konveks benzeri olmadığı durumlarda yukarıda belirtilen yöntemin global optimal sonuca yakınsayamaması söz konusu olabilecektir. Böyle bir fonksiyona Grafik 7’de yer verilmiştir. Önerilen yöntem bu fonksiyona uygulandığında minimum maliyetli nokta ikinci nokta olarak seçilecek, bir ve üçüncü noktalar bir sonraki tekrarın aralığı olacaktır. Oysa minimum maliyet dördüncü ve beşinci noktaların arasında yer almaktadır. Görüldüğü üzere böyle fonksiyonlarda yöntem global yerine yerel bir optimuma yakınsayabilmektedir.



Grafik 7: Optimuma Yakınsamamaya Neden Olabilecek Fonksiyon Örneği

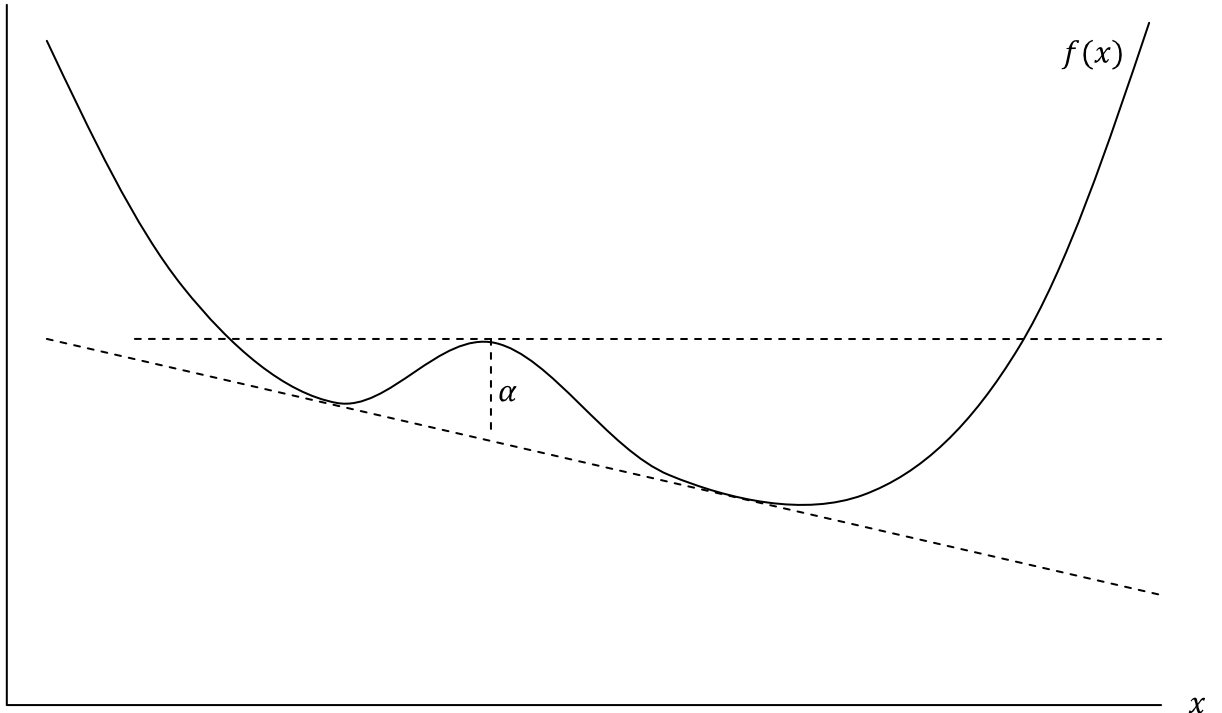
Çalışmamızda incelenen fonksiyonun konveks ya da konveks benzeri olup olmama durumu literatürde inceleme konusu yapılmıştır. Milbourne (1983) (2.15) numaralı denklemle verilen fonksiyonun α – konveks olduğunu göstermiştir¹⁵⁸. α – konveks fonksiyon aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

¹⁵⁸ Milbourne, s.690.

$$f(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) - (\lambda f(x_1) + (1 - \lambda)f(x_2)) \leq \alpha \quad (3.33)$$

$$\lambda \in [0,1]$$

α – konveks fonksiyonda da önerilen yöntemin optimal çözüme yakınsamama ihtimali bulunmaktadır. Bu tür bir fonksiyon örneğine Grafik 8’de yer verilmiştir.



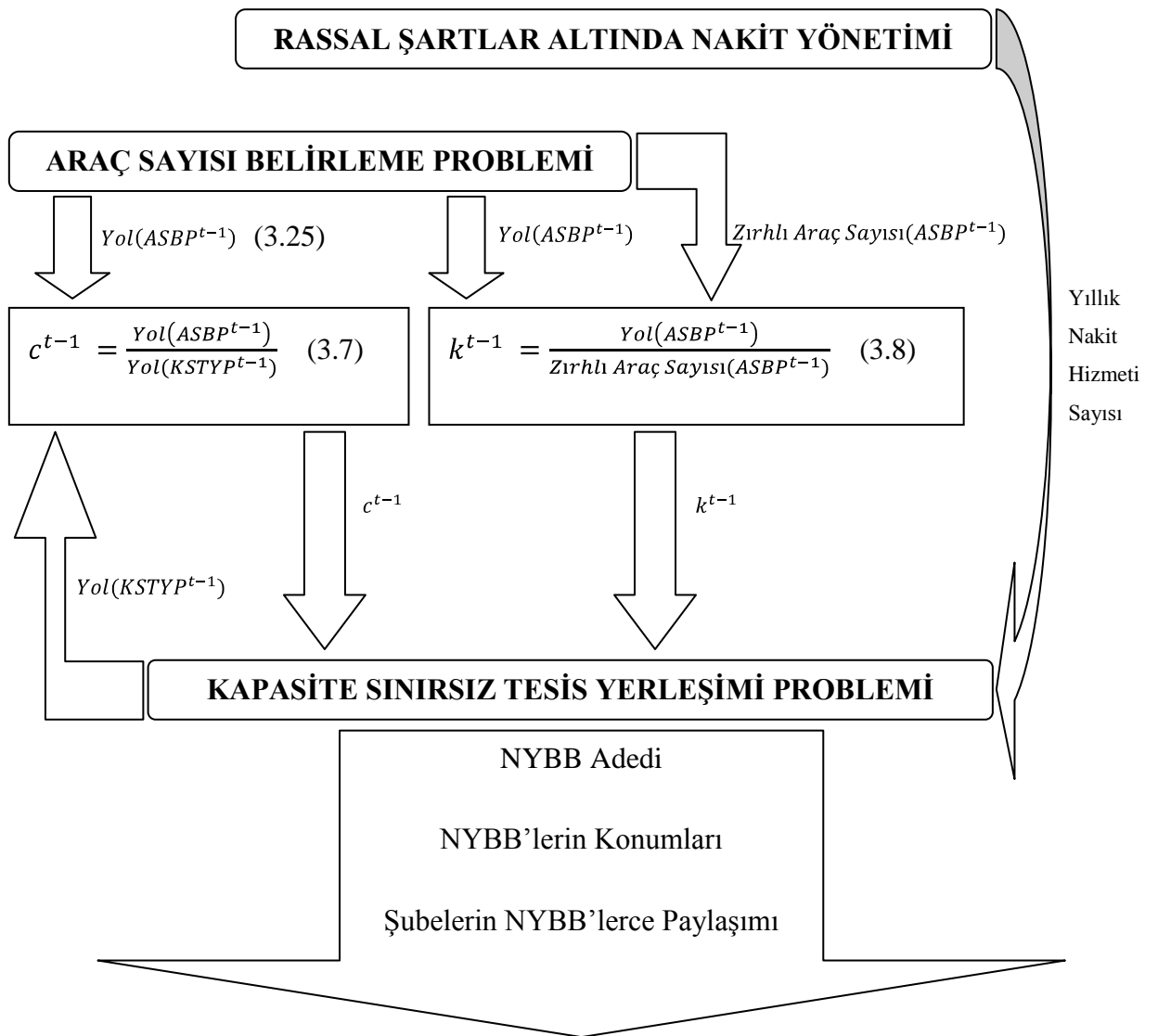
Grafik 8: α – Konveks Fonksiyon Örneği

Çalışmamızda incelen problemde α , nakit yönetim hizmeti maliyeti olmaktadır. Dolayısıyla incelenen fonksiyon konveks olmaktan en fazla nakit yönetim hizmetinin maliyeti kadar uzaktır. Önerdiğimiz yöntemin konveks benzeri olmayan herhangi bir fonksiyona nazaran α – konveks fonksiyonlarda daha iyi sonuç vereceği tahmin edilmektedir. Başka bir ifadeyle α – konveks fonksiyonlarda yerel optimuma yakınsama ihtimalinin nispeten diğer fonksiyonlara göre düşük olduğu değerlendirilmektedir. Çalışmamızın son kısmında yer verilen ampirik çalışmada yöntem genellikle başarılı bir performans göstermiş, nadiren yerel optimum nitelikli çözümleri önermiştir.

3.5 TÜMLEŞİK MODELİN GÖRSEL GÖSTERİMİ

Geride kalan bölümlerde Tümlleşik Yöntemin alt parçaları çok detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Tümlleşik Yöntemin her bir parçasının bütünün hangi bölümünde yer aldığı, hangi modellerden hangi girdileri sağladığı, karşılığında hangi çıktıları ürettiği konuları takip eden bölümlerde şekilsel gösterimle birlikte açıklanmıştır.

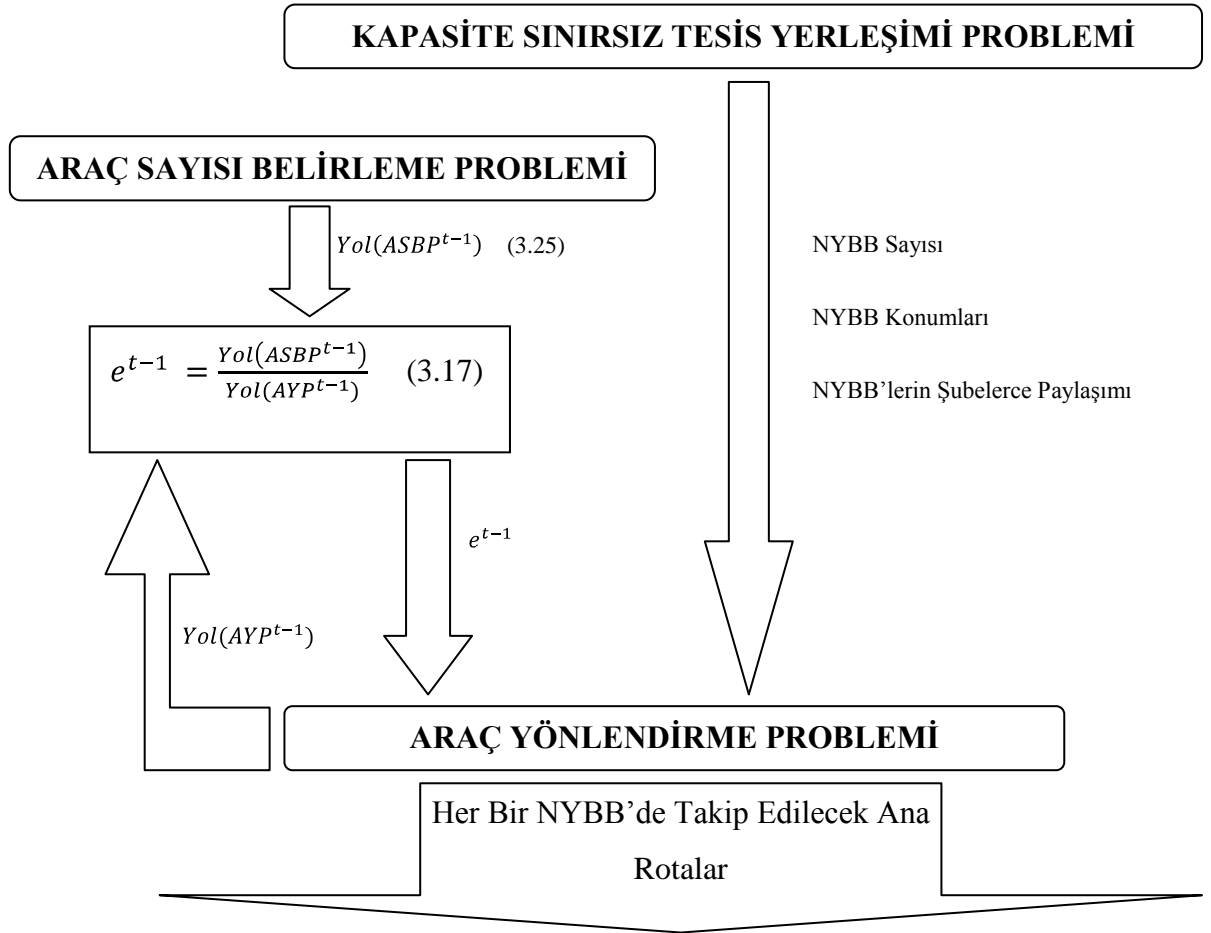
3.5.1 KSTYP



Şekil 12: Tümlleşik Yöntem – KSTYP

KSTYP NYS’de yer alması gereken NYBB sayısı, bunların ağ üzerindeki konumları ile şubelerin hangi NYBB’den hizmet alacakları bilgilerini çıktı olarak üretmektedir. Tümeleşik Yöntem içerisindeki etkileşiminin görsel gösterimine Şekil 12’de yer verilmiştir. KSTYP bir kısım parametreleri önceki etapta çözümlenen problemlerden kaynaklanmaktadır. KSTYP ASBP’den $Yol(ASBP^{t-1})$, Zırhlı Araç Sayısı($ASBP^{t-1}$), RŞANYP her bir şubenin yıllık nakit hizmeti talebini, bir önceki etapta çözülen KSTYP’den $Yol(KSTYP^{t-1})$ bilgisini almaktadır.

3.5.2 AYP

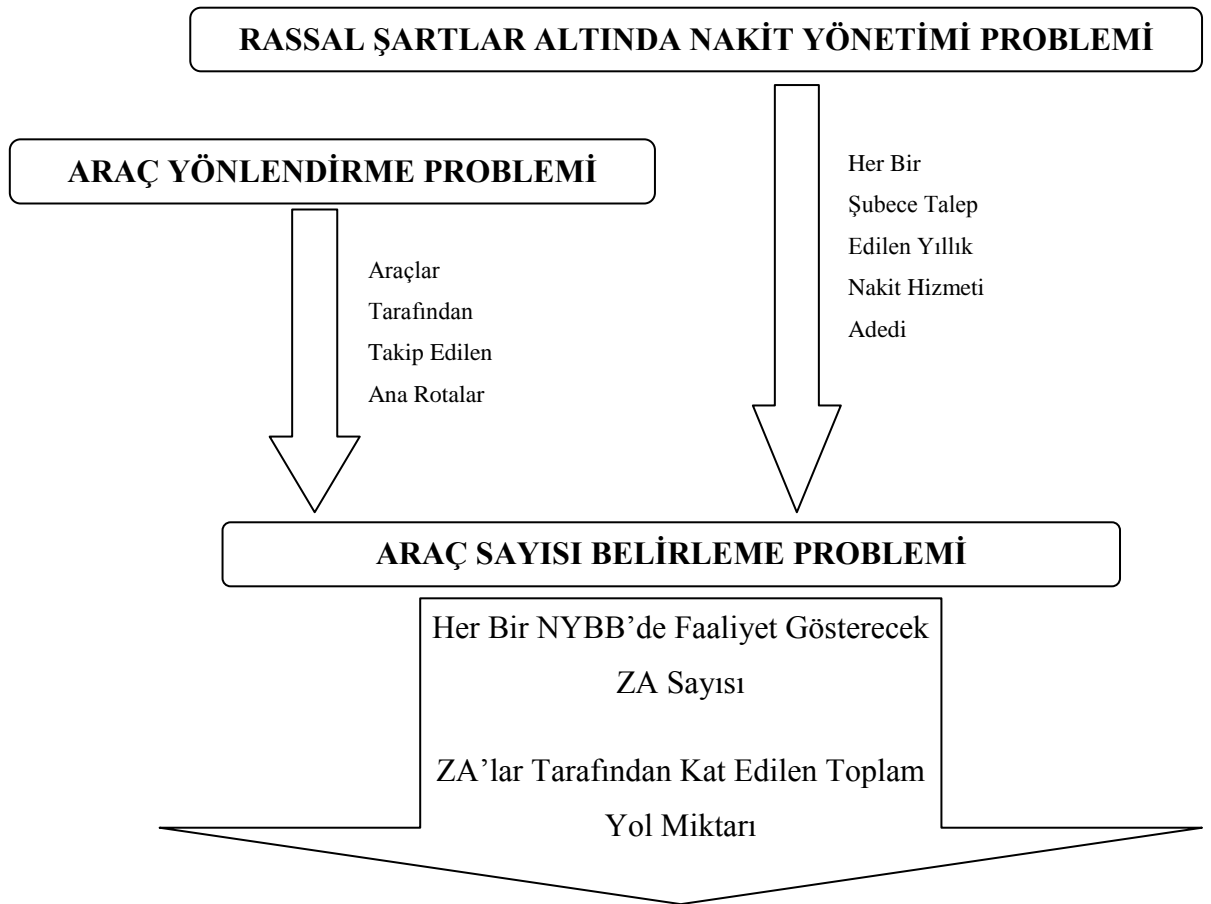


Şekil 13: Tümeleşik Yöntem – AYP

AYP çıktı olarak her bir NYBB’nin kendine bağlı şubelere hizmet vermekte kullanacağı ana ZA rotalarını bilgisini üretmektedir. AYP’nin Tümeleşik Yöntem

içerisindeki etkileşiminin görsel gösterimine Şekil 13’de yer verilmiştir. AYP de bir kısım parametreleri kendisinden evvel çözümlenen problemlerden temin etmektedir. Her bir etap içerisinde KSTYP AYP’den daha önce çözüldüğünden, NYBB konumu, adedi ve şube paylaşımı bilgilerini aynı etapdaki KSTYP çözümünden almaktadır. ASBP’den $Yol(ASBP^{t-1})$, bir önceki etapta çözülen AYP’den $Yol(AYP^{t-1})$ bilgisini almaktadır.

3.5.3 ASBP

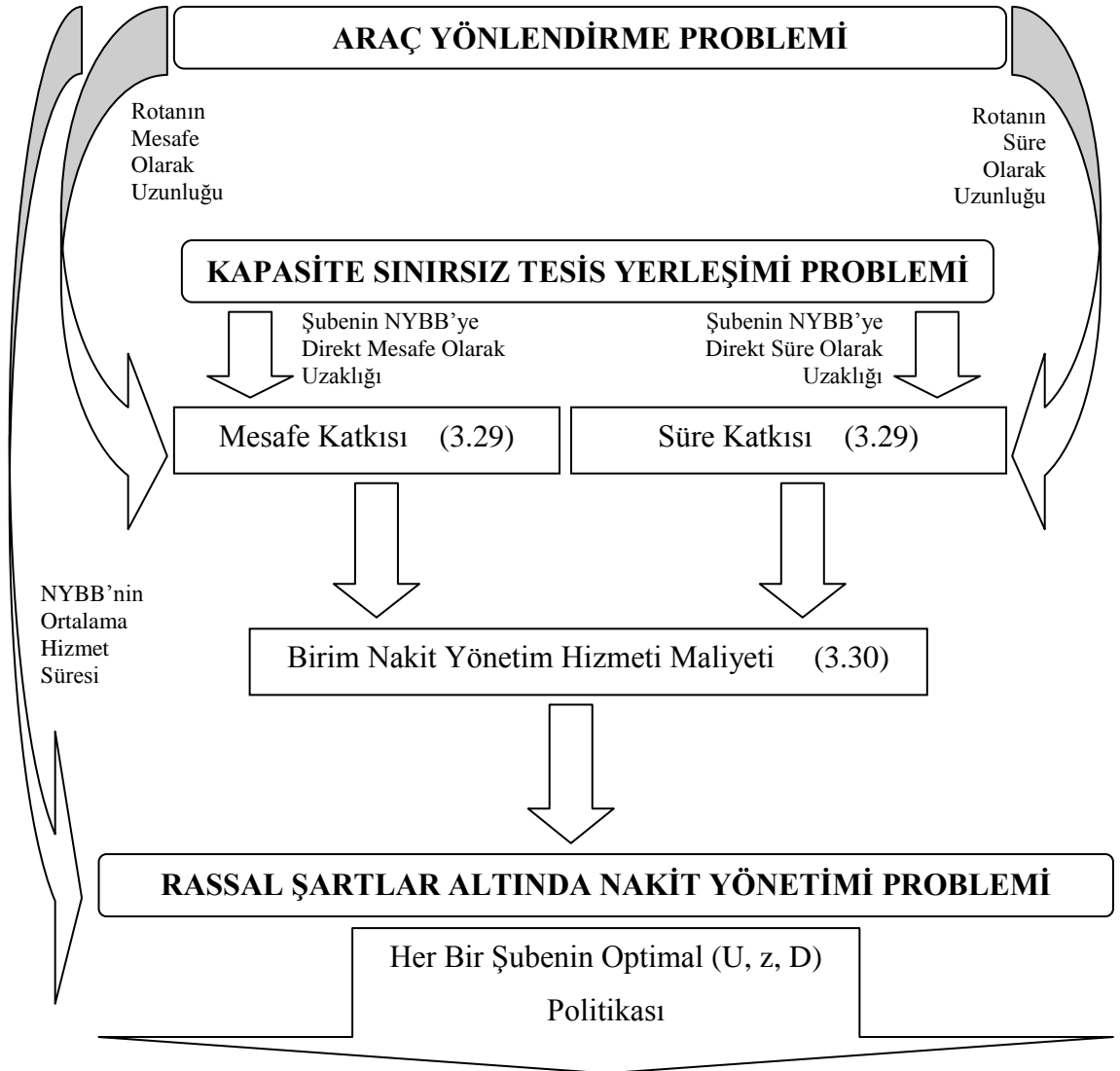


Şekil 14: Tümlüşik Yöntem – ASBP

ASBP olasılık hesaplamaları yardımıyla her bir NYBB’de faaliyet gösterecek ZA sayısını tespit etmektedir. Tümlüşik Yöntem içerisindeki etkileşiminin görsel gösterimine Şekil 14’de yer verilmiştir. ASBP de bir kısım parametreleri kendisinden

evvel çözümlenen problemlerden almaktadır. Her bir etap içerisinde AYP ASBP'den daha önce çözümlendiğinden, NYBB'ye bağlı şubelere hizmet vermek için izlenecek ana rota bilgileri aynı etaptaki AYP çözümünden almaktadır. Ayrıca, her bir şubenin herhangi bir günde nakit hizmeti talep etme ihtimalini bulmak üzere RŞANYP'den her bir şubenin yıllık nakit yönetimi hizmeti adedi bilgisi temin edilmektedir.

3.5.4 RŞANYP



Şekil 15: Tümlleşik Yöntem – Rassal Şartlar Altında Nakit Yönetimi

RŞANYP her bir şube için ayrı ayrı çözülmekte ve şubelerin (U, z, D) nakit yönetim politikası bulunmaktadır. Belirlenen politika yardımıyla her bir şubenin yılda ortalama kaç kez nakit hizmeti talep edeceği, şubede ne kadar atıl kasa ortalaması oluşacağı belirlenmektedir. RŞANYP'nin Tümüleşik Yöntem içerisindeki etkileşiminin görsel gösterimine Şekil 15'de yer verilmiştir. RŞANYP Nakit Yönetim Hizmeti Maliyeti ve NYBB'den ortalama hizmet alma süresi bilgilerini diğer modellerden girdi olarak almaktadır. Nakit Yönetim Hizmeti Maliyeti aynı etapdaki KSTYP ve AYP modellerinden temin edilen bilgiler kullanılarak hesaplanmaktadır. Ortalama hizmet alma süresi ise aynı etapdaki AYP'den alınmaktadır.

3.6 TÜMLEŞİK YÖNTEMİN BAŞLAMA VE DURMA KOŞULLARI

Bu bölüme kadar Tümüleşik Yöntem yaklaşımına ilişkin olarak hangi modellerin ne sırada kullanılacağı, birbirleri ile olan etkileşimleri, hangi parametrelerin ne şekilde hesaplanacağı üzerinde durulmuştur. Tümüleşik Yöntem yaklaşımına ilişkin tasarımın tamamlanabilmesi için başlama ve durma koşullarının da belirlenmesi gerekmektedir.

3.6.1 Başlama Koşulları

Algoritmanın başlayabilmesi için ilk etapta KSTYP'de kullanılmak üzere her bir şube için yıllık nakit yönetimi hizmeti talebi bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut bir NYS'nin iyileştirilmesi hedeflendiğinde, sistemde yer alan şubelerin mevcut yıllık hizmet talebi adetlerini kullanmak doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Çünkü hâlihazırda NYBB'lere yakın şubeler fazla sayıda, uzak şubeler ise az sayıda hizmet talebi içinde olmaktadır. Mevcut talep yapısının KSTYP'de kullanılması halinde NYBB'ler mevcut ağdaki yerlerine benzer şekilde, yakın şubelere yakın, uzak şubelere de uzak bir şekilde konumlandırılacaktır. Bunun yerine ilk çözümlenen KSTYP'de şubelerin eşit sayıda hizmet talebinde bulunduğu varsayılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Eşit hizmet talebinin hesaplanmasında, bir önceki yıl içindeki toplam nakit hizmeti adedinin, şube sayısına oranı kullanılabilir.

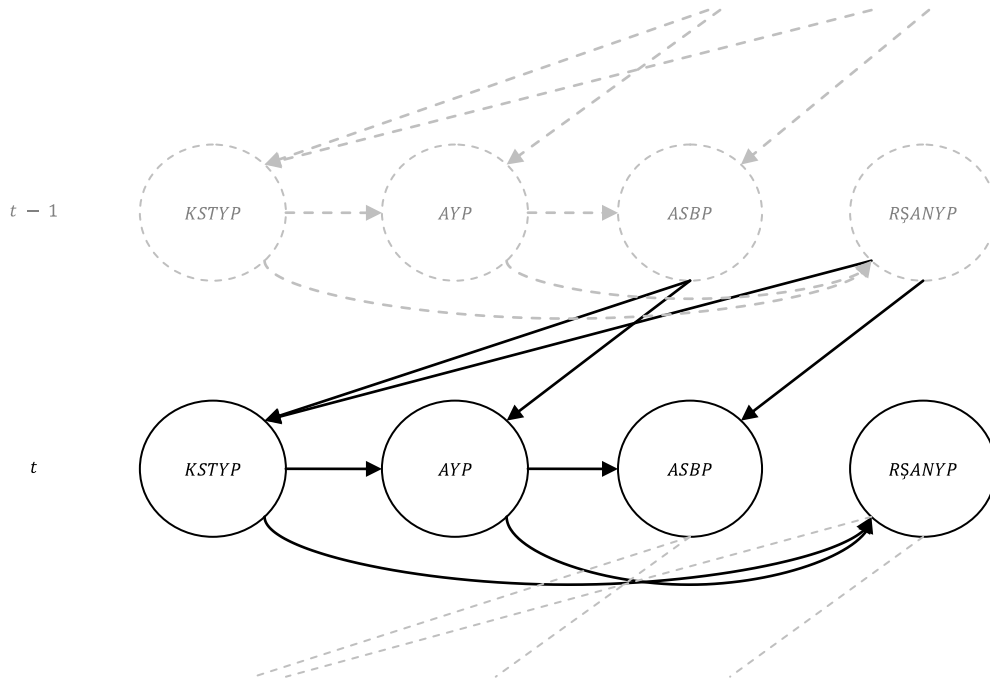
Başlangıç nakit hizmet talebi adedinin bulunmasında kullanılabilir bir diğer yöntem, her bir şubenin NYBB'ye aynı uzaklıkta bulunduğunu varsaymak ve

RŞANYP'yi tüm şubeler için çözmektir. Mesafe eşit sayılmış olsa da kasa hareketleri yoğun olan şubeler daha fazla sayıda hizmet talebinde bulunacaktır. Eşit mesafe varsayımı ile bulunan nakit hizmet talebi adedinin ilk KSTYP'de kullanılması, algoritmanın şubeler açısından önceki paragrafta önerilen yöntemdeki gibi adil bir başlangıca imkân verecektir. İlaveten algoritmanın en iyiye daha yakın bir noktadan başlamasını, dolayısıyla daha kısa süre içerisinde sonuçlanmasını sağlayacağı da tahmin edilmektedir.

3.6.2 Durma Koşulları

Yönteme ilişkin olarak belirlenecek son öge Tümlleşik Yöntemin durma kriteri olacaktır. Tümlleşik Yöntem her bir etapta sırasıyla KSTYP, AYP, ASBP ve RŞANYP problemlerini çözmekte, bu modellerde kullanılan bir kısım parametreler önceki etapta ya da aynı etapta ama daha önceden çözülmüş modeller yardımıyla hesaplanmaktadır.

Önerilen Tümlleşik Yöntemde her bir alt modelin bir diğerini besleyen yapısı, durma kriterini belirlemeyi güçleştirmektedir. Problemlerin birbirlerinden etkilenme durumunun şematik gösterimine aşağıda yer verilmiştir.



Şekil 16: Modellerin Etkileşimi

Şekilde görüldüğü üzere modellerin zincirleme bir şekilde birbirini etkilemesi yalnızca tek bir modelin bir önceki etaptaki ile aynı sonucu vermesini durma kriteri olarak yeterli kılmamaktadır. Çünkü diğer modellere girdi teşkil eden parametrelerin daha önceki etaplarda değişmiş olması, bu modellerin farklı sonuçlar üretmesine neden olabilecektir. Bu nedenle her bir problemin bir önceki etaptaki modelle aynı sonuç üretmesi nihai durma kriteri olarak belirlenmelidir.

4 UYGULAMA

Nakit Yönetim Sistemlerinin optimum tasarımına yönelik olarak bir gerçek hayat uygulamasına bu bölümde yer verilmektedir. Çalışmada mümkün olduğunca gerçek verilere yer verilmeye çalışılmış, bu kapsamda mevcut yapılanma, maliyet ve süreçlere yönelik olarak uzman görüş ve değerlendirmelerinden yararlanılmıştır. Halka açık olmayan ya da içsel bilgi nitelikli olan verilerin kullanımı mümkün olmadığından, bu tür bilgiler için rassal veri üretimi yoluna gidilmiştir. Belirtilen verilerin de imkânlar elverdiğince gerçekçi olmasına gayret gösterilmiştir. Üzerinde çalışılan probleme ilişkin detaylara takip eden bölümde yer verilmektedir.

4.1 ŞUBE AĞ YAPILANMASI VE ŞUBE KONUMLARI

Optimum tasarıma konu edilecek şube ağının belirlenmesinde bir özel bankanın Karadeniz, Doğu ve Orta Anadolu Bölgesindeki şubelerinin bir bölümünü içeren bir ağ yapılanmasından yararlanılmıştır. Bu kapsamda Bankanın Aksaray'da 1, Amasya'da 5, Çankırı'da 2, Çorum'da 6, Kastamonu'da 5, Kayseri'de 14, Nevşehir'de 7, Kırşehir'de 2, Sivas'ta 6, Tokat'ta 6, Yozgat'ta 8, Kahramanmaraş'ta 2, Ordu'da 2, Samsun'da 12, Sinop'ta 5 ve Malatya ilinde 3 olmak üzere toplam 86 şubesi ağa dâhil edilmiştir.

Seçilen bölgenin merkezinde yer alan illerde şubelerin tamamı ağ'a dâhil edilirken, periferide kalan illerde ekstremde kalan şubeler tutarlı ve kompakt bir ağ yapısı elde edebilmek amacıyla dikkate alınmamıştır. Bu kapsamda Çankırı, Aksaray, Kahramanmaraş, Ordu illerindeki şubelerin yalnızca bir kısmı analize katılmıştır. Kapsanan bölgenin Türkiye Haritası üzerindeki gösterimine Şekil 17'de yer verilmiş olup, ilgili alan koyu kalın siyah çizgiler arasında kalan bölgedir.

Tablo 1: Şubelerin İller Bazında Dağılımı

İL ADI	ŞEHİR İÇİ	ŞEHİR DIŞI	TOPLAM
Aksaray	-	1	1
Amasya	1	4	5
Çankırı	1	1	2
Çorum	2	4	6
Kastamonu	1	4	5
Kayseri	3	11	14
Nevşehir	2	5	7
Kırşehir	1	1	2
Sivas	2	4	6
Tokat	1	5	6
Yozgat	1	7	8
Kahramanmaraş	-	2	2
Ordu	-	2	2
Samsun	7	5	12
Sinop	1	4	5
Malatya	3	-	3
Toplam	26	60	86



Şekil 17: Uygulamaya Konu Edilen Şubelerin Yer Aldığı Bölge

Belirtilen 86 şubenin adresleri ilgili Bankanın internet sitesinden temin edilmiş ve söz konusu adreslerin konumu Google Earth isimli harita yazılımı üzerinde

bulunmuş ve işaretlenmiştir. Daha sonra bu harita yazılımı aracılığı ile her bir şubenin diğerine olan en kısa uzaklığı mesafe ve süre cinsinden bulunmuştur. Bu maksatlı olarak toplam $3.655 (= 85 \times 86 / 2)$ sorgu yapılmış ve her biri 86×86 büyüklüğünde simetrik nitelikli mesafe ve süre matrisleri elde edilmiştir. En kısa mesafe ve sürenin bulunmasında harita üzerinde yer alan karayolları dikkate alınmış ve harita yazılımının standart sorgu yeteneği kullanılmıştır.

Seçilen ağ'da şubeler arasındaki en uzun mesafe 845 km, en kısa mesafe ise 0,4 km olmuştur. Süre olarak bakıldığında, en uzun süre 19 saat 49 dakika iken, en kısa süre 1 dakika olarak gerçekleşmiştir. Kullanılan harita yazılımının sürelerin hesaplanmasında yolların kalitesini de dikkate aldığı gözlemlenmiştir. Mesafe ve süre verileri üzerinden yapılan analizde belirli şubeler arasında 11 km ortalama hız yapılabileceği, bazı yollarda ise 77 km ortalama hızla yol kat edilebileceği hesaplanmıştır.

Bir NYBB ile şube arasındaki süre olarak mesafenin günlük mesai saati kısıtı olan 9 saati aşamayacağı dikkate alınarak, bu süreyi aşan mesafelerin söz konusu olduğu şubelerin arasında yol bulunmadığı varsayılmıştır. Böylelikle uygun nitelikli olmayan seçenekler baştan elenerek, çözüm yordamlarının daha kısa sürelerde optimum çözüme ulaşabilmeleri amaçlanmıştır.

4.2 GİDER PARAMETRELERİ

4.2.1 ZA Giderleri

ZA giderlerinin hesaplanmasında ağırlıklı olarak uzman görüş ve değerlendirmelerinden yararlanılmıştır. ZA'lar normal ticari araçlara özel bazı donanımlar eklenerek güvenlik unsurlarının geliştirilmesi suretiyle oluşturulmaktadır. Belirtilen donanımlar araç fiyatını iki katına kadar artırabilmektedir. ZA'ların düzenli bakım ve yenilemelerle ekonomik olarak on yıla kadar kullanılabilirdiği, bu sürenin sonunda ilk yatırım bedelinin %10'u kadar bir bedelle elden çıkarılabildiği raporlanmaktadır.

Aracın ilk yatırım giderleri dışında periyodik giderleri bulunmaktadır. Yıllık bakım giderlerinin araç ilk yatırım bedelinin %10'u seviyesinde olduğu tahmin edilmektedir. Bunun yanında eklenen donanımların araç yükünü artırması, sürekli ve zorlu yol koşullarında kullanılması nedeniyle ortalama yılda bir motor değişimi yapılması gerekliliği bulunmaktadır. Motor değişimi maliyetinin aracın ilk yatırım değerinin %40'ı seviyesinde olduğu belirtilmektedir.

Araç giderlerinin en önemli parçalarından biri de yakıt giderleri olmaktadır. Güvenlik donanımı ilavesi ile ağırlığı %50 kadar artan ZA'lar zaman kısıtları altında, sınırları da zorlanarak kullanılmaktadır. Bu sebeple araçların yakıt tüketiminin fabrika verilerinin iki katına kadar ulaştığı ifade edilmektedir.

Belirtilen gider kalemlerinin yanında araç park giderleri ve trafik cezaları gibi gider unsurları da bulunmakta olup, bu giderler de uzman değerlendirmeleri paralelinde tahmin edilmiş ve ZA giderlerine dâhil edilmiştir.

Sonuç olarak yukarıda belirtilen tüm değişken gider kalemlerini içerecek şekilde, aracın ekonomik kullanım süresi olan 10 yıl içinde oluşan nakit giderler hesaplanmıştır. Yıllık nakit akımlarının yanında amortisman gideri kaynaklı vergi kazançları da dikkate alınarak bulunan net nakit akımlarının inceleme tarihimiz itibariyle geçerli faiz oranları üzerinden net bugünkü değeri bulunmuştur. Daha sonra net bugünkü değer yıllık devresel ödeme karşılığı hesaplanmış, bu değer yıllık kat edilen ortalama kilometre miktarına bölünerek km başına değişken gider değerine ulaşılmıştır.

Yukarıda belirtilen giderlerin yanında Motorlu Taşıtlar Vergisi, Kasko, Trafik Sigortası gibi giderler de yıllık olarak ilgili aracın sınıfı ve motor hacmine bağlı olarak oluşmaktadır. Öncekilerden farklı olarak bu giderler sabit nitelikli giderler olup, aracın kat ettiği yola bağlı olarak değişkenlik arz etmemektedir. Bu giderlerin toplamı sabit bir değer olarak alınmış, modellerde bir araç tahsisi söz konusu olduğunda, bu aracın yaptığı yola bakılmaksızın sabit giderin oluştuğu varsayılmıştır.

Yukarıdaki analizler çerçevesinde hesaplanan sabit ve değişken gider parametreleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2: Araç Giderleri

Gider Türü	Tutar (TL)
Değişken ZA Giderleri / km	0,68
Yıllık Sabit ZA Gideri / Adet	5.104

4.2.2 NYBB Giderleri

NYBB'lere ilişkin en temel maliyet kalemi kira giderleri olmaktadır. NYBB'ler genellikle şubenin de yer aldığı bir binada faaliyet göstermektedir. Şubelerin genellikle buldukları bölgenin ticari olarak çekici kesiminde yer alması kiralari artıran bir unsur olmaktadır. Öte yandan, daha güvenli olması sebebiyle NYBB'lerin çoğunlukla zemin altı katlarda yer alması kira giderlerini baskılayıcı bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Binanın banka mülkü olması halinde gider hesaplamasında amortisman maliyetine ilaveten bina değeri üzerinden hesaplanacak fırsat maliyeti toplamı dikkate alınabilecektir. Diğer bir seçenek de piyasa emsallerinden faydalanarak binanın rayiç kira bedelinin bulunmasıdır. Çalışmamızda ikinci yöntemin kullanılması tercih edilmiştir.

Kira bedelinin tahmininde, öncelikle uzman değerlendirmelerine dayanılarak NYBB'lerin ortalama büyüklükleri hesaplanmıştır. Daha sonra, analize dâhil edilen şubelerin bulunduğu il merkezlerinde bu büyüklükteki binanın kira rayiçleri İnternette yer alan emlak sitelerinde gerçekleştirilen sorgulamalar yardımı ile tahmin edilmiştir. Çalışmamızda NYBB'lerin kira giderlerinin buldukları yerden bağımsız olarak aynı olduğu varsayılmıştır.

Diğer önemli bina giderleri arasında temizlik, ısıtma, aydınlatma ve su giderleri yer almaktadır. Belirtilen giderler NYBB'de çalışan kişi sayısına bağlı olarak değişmektedir. Nakit yönetim birimlerinde ağırlıklı olarak insan kaynağından faydalanılmakla birlikte, ileri teknoloji cihaz kullanımı ile insan kaynağı istihdamı minimum düzeye indirilebilmektedir. Kullanılan menkul ve teçhizatın maliyet bedelleri üzerinden hesaplanan amortisman giderleri de önemli gider kalemleridir. Tüm bu

belirtilen kalemler haricinde sigorta giderleri, vergi, resim ve harç giderleri, çevre temizlik giderleri de bina giderlerine katkıda bulunan faktörler arasında yer almaktadır.

Çalışmamızda kira dışında kalan giderler, kira giderlerinin belirli bir yüzdesi olarak dikkate alınmıştır. Yukarıda belirtilen analizler çerçevesinde ortaya çıkan sabit nitelikli NYBB giderleri aşağıda yer almaktadır.

Tablo 3: NYBB Bina Giderleri

Gider Türü	Tutar (TL)
Yıllık Sabit NYBB Gideri / Adet	77.581

4.2.3 Personel Giderleri

Nakit yönetim sistemlerinde personel istihdamı nakit yönetim birimlerinde ve ZA'larda yapılmaktadır. Buralarda görev yapan personel çoğunlukla vasıfsız niteliktedir. Bununla birlikte çeşitli unsurlar çalışanların mali haklarının düşürülmesini engellemektedir. Öncelikle, tüm gün boyunca seyahat halinde bulunan ZA'lardaki çalışma koşulları oldukça ağırdır. Diğer taraftan, çalışanlara yüklü miktarlarda kıymet emaneti söz konusu olmaktadır. Çalışanların zorlu mali koşullar altında çalışıyor olmaları suiistimale ihtimalini artırıcı bir etki yapmaktadır.

Personelin maliyetinin bulunmasında asgari ücret baz alınmıştır¹⁵⁹. Öncelikli olarak asgari ücretin işverene maliyeti bulunmuştur. Uzman değerlendirmeleri de dikkate alınarak personel maliyeti olarak bu rakamın belli bir yüzdeyle fazlası olarak hesaplanmıştır.

Nakit Yönetimi Organizasyonunda güvenlik görevlisi, şoför, yetkili ve memur olmak üzere, toplamda dört farklı türde personelin görev yaptığı varsayılmıştır. Bu çalışanlardan güvenlik görevlisi ve şoförün asgari ücretten %100 fazla, memurun %200 fazla, yetkilinin ise %300 fazla maliyete neden olduğu varsayılmıştır.

¹⁵⁹ 2010 Yılı Asgari Ücretleri, 2010, www.muhasabenet.net, (13 Haziran 2010).

Tablo 4: Personel Giderleri

Gider Türü	Tutar (TL)
Asgari Ücretin İşverene Yıllık Maliyeti	11.088,12
Şoför Yıllık Maliyeti	22.176,24
Güvenlik Görevlisi Yıllık Maliyeti	22.176,24
Memur Yıllık Maliyeti	33.264,36
Yetkili Yıllık Maliyeti	44.352,48

4.2.3.1 ZA Personeli

ZA’larda şoför ile güvenlik görevlisinin istihdamı bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Güvenlik nedeniyle şoförün aracı terk etmesinin tercih edilmemesi, 2495 sayılı Bazı Kurum ve Kuruluşların Korunması ve Güvenliğinin Sağlanması Hakkındaki Kanun¹⁶⁰ gereği güvenlik görevlisinin güvenlik ve koruma faaliyetleri haricinde görevlendirilememesi, ilave personelin çalıştırılmasını da zaruri hale getirmektedir. Bir memurun nakdin şubeye ulaştırılması ve fazla nakdin alınması görevini yerine getireceği, bu sırada araçtaki nakde bir yetkilinin nezaret etmesi gerektiği dikkate alındığında, ZA’larda bir şoför, bir güvenlik görevlisi, bir yetkili ve bir memur olmak üzere toplamda dört kişinin görev yapmasının makul ve güvenli bir tercih olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, özel banka ve firmalarda ticari kaygularla, ZA’larda şoför ve güvenlik görevlisinden mürekkep bir kadronun görevlendirilmesi de tercih edilebilmektedir.

Tablo 5: ZA Personel Giderleri

Gider Türü	Tutar (TL)
Şoför Yıllık Maliyeti	22.176,24
Güvenlik Görevlisi Yıllık Maliyeti	22.176,24
Memur Yıllık Maliyeti	33.264,36
Yetkili Yıllık Maliyeti	44.352,48
ZA Personeli Yıllık Maliyeti	121.969,32

¹⁶⁰ 2495 Sayılı “Bazı kurum ve kuruluşların güvenliklerinin sağlanması hakkındaki kanun”, 1981.

4.2.3.2 NYBB Personeli

Gün içerisinde yoğun nakit hareketinin gerçekleştiği hizmet binasında asgari bir güvenlik görevlisinin hizmet vermesi bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, gelen ya da giden nakdin sayımı ve diğer operasyonel işlemlerin asgari bir memur tarafından yerine getirilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, şube taleplerinin izlenmesi, gerekli kontrollerin yapılması ve diğer yönetim fonksiyonlarını üslenmek üzere bir yetkilinin istihdamı gerekmektedir. Sonuç olarak NYBB’lerde bir güvenlik görevlisi, bir yetkili ve bir memur olmak üzere toplamda üç kişinin görev yaptığı varsayılmıştır.

Tablo 6: NYBB Personel Giderleri

Gider Türü	Tutar (TL)
Güvenlik Görevlisi Yıllık Maliyeti	22.176,24
Memur Yıllık Maliyeti	33.264,36
Yetkili Yıllık Maliyeti	44.352,48
NYBB Personeli Yıllık Maliyeti	99.793,08

4.2.4 Şubelerdeki Nakit Hareketleri

Uygulamaya dahil edilen her bir şubenin benzetişim yöntemiyle optimal KYP’nin tespit edilebilmesi için şubelerin günlük kasa hareketlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İçsel bilgi niteliğinde olduğundan kasa hareketlerinin temin edilerek kullanılması mümkün bulunmamaktadır. Bu nedenle her bir şubenin nakit hareketleri rassal olarak üretilmiştir.

Her bir şubenin sabah 9:00 – 13:00, öğleden sonra 14:00 - 18:00 arasında faaliyet gösterdiği varsayılarak kasadaki nakit hareketlerinin saat 9:00’dan itibaren Üstel Dağılıma (4.1) uygun aralıklarla geldikleri varsayılmıştır¹⁶¹.

¹⁶¹ Morris H. DeGroot, **Probability and Statistics**, 2. Basım, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1984, s.289-290.

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Üstel dağılımın beklenen değeri $1/\lambda$ olarak hesaplanmaktadır. Beklenen değer şubelere bağlı olarak farklılaştırılmıştır. Şube başı daha fazla nüfusun bulunduğu ilçelerde yer alan şubelerde beklenen değer dar tutulmuş, yani daha kısa aralıklarla işlem gerçekleştiği varsayılmıştır. Nüfusun az olduğu ilçelerde beklenen değer nispeten daha büyük alınmıştır. Böylelikle bu şubelerde daha az işlem gerçekleştiği varsayılmıştır. Şube başına nüfus hesaplanırken o ilçede yer alan toplam bankacılık sektörü şube sayısı dikkate alınmıştır.

Belirtilen yöntemle kasa işlemleri en yoğun olan şubede işlemlerin ortalama 20 saniyede bir gerçekleştiği, en az yoğun şubede ise işlemlerin ortalama 4 dakika arayla gerçekleştiği varsayılmış olmaktadır. Böylelikle şubelerde gerçekleşen kasa işlemi sayısı yıllık olarak yaklaşık 30 bin ile 360 bin arasında değişmiştir.

Bir sonraki aşamada her bir işlemin para yatırma ya da çekme işlemi olma niteliği belirlenmiştir. Para yatırma işlem adedinin genellikle çekme işlem adedinden az olduğu, buna karşın para yatırma işlemlerinin tutarının, çekiliş işlemlerine kıyasla daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu nedenle her bir işlemin ortalamada %30 ihtimalle para yatırma, %70 ihtimalle de çekiliş işlemi olduğu varsayılmıştır. Ortalama para yatırma ve çekiliş işlem tutarlarında ise belirtilen oranlar tam tersi yönde kullanılmıştır.

Para yatırma ve çekiliş işlemlerinin farklı dağılımlarının bulunduğu öngörülmektedir. Genel olarak kırsal şubelerde hacim olarak daha fazla para çekiliş işlemi gerçekleştirildiği, dolayısıyla bu şubelere genellikle nakit temin edildiği varsayılmıştır. Kentsel piyasalardaki üretimin daha yüksek olmasından hareketle, bu şubelerde hacimsel olarak daha fazla para yatırıldığı varsayımı yapılmaktadır. Dolayısıyla kurgulanan sistemde kentlerden kırsal alanlara doğru bir nakit akışının bulunduğu öngörüsü mevcuttur. Bu nedenle kentsel şubelerde para yatırma işlemlerinin ağırlığı bir önceki paragrafta belirtilenden biraz daha fazla, kırsal şubelerde de biraz daha düşük olarak belirlenmiştir. Verilerin rassal üretilmesi nedeniyle kısa süreli olarak belirtilen eğilimin tersi de söz konusu olabilecektir.

Şubelerdeki kasa işlemleri verisi için belirlenmesi gereken bir diğer rassal nitelikli unsur işlem tutarlarıdır. İşlem tutarlarının Weibull Dağılımına (4.2) uygun olarak değiştiği varsayılmıştır¹⁶².

$$f(x; \lambda; k) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \left(\frac{k}{\lambda}\right) * \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Para yatırma ve çekme işlemlerinin ortalama büyüklüğünün hesaplanmasında ilçedeki her bir şubeye düşen milli gelir verisi gösterge olarak alınmıştır. Bu tutar ne kadar yüksek ise nakdi işlem büyüklüklerinin de o derecede yüksek olduğu varsayılmıştır. İlçe bazında milli gelir verisi yalnızca 1996 yılı için bulunmaktadır. Bu nedenle bu kasa hareketlerinin büyüklüklerinin hesaplanmasında sözü edilen veri seti kullanılmıştır.

4.3 PROBLEMİN ÖNERİLEN YÖNTEMLE ÇÖZÜMÜ

4.3.1 Hazırlık Aşaması

İlk olarak tüm şubelerin bağlı oldukları NYBB'ye 5 dakika uzaklıkta oldukları ve nakit hizmeti alma maliyetlerinin 5 TL olduğu varsayılmıştır. RŞANYP için tasarlanan Benzetişim ve Arama yöntemleri kullanılarak şubelerin belirtilen şartlarda ne kadar hizmet talebinde bulunacakları belirlenmiştir. Başlangıç koşulları böylelikle her bir şube için eşit kılınmıştır.

Belirtilen şartlarda şubeler bir yıllık süre içerisinde toplam 143.329 adet nakit hizmeti talebinde bulunmuşlardır. Diğer bir ifadeyle şube başına yıllık hizmet adedi 1,667 adet, günlük hizmet adedi ise yaklaşık 7 adet olmuştur. Şubelerdeki toplam kasa ortalaması 14.204.535 TL olarak gerçekleşmiştir (Tablo 7).

¹⁶² William W. Hines ve Douglass C. Montgomery, **Probability and Statistics in Engineering and Management Science**, 2. Basım, New York: John Wiley & Sons, 1980, s.164-165.

Tablo 7: Etap Başlangıcında RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
14.204.535	143.329

4.3.2 Birinci Etap

4.3.2.1 KSTYP Aşaması

KSTYP'nin çözümünde LINDO adlı optimizasyon yazılımı kullanılmıştır. Belirtilen yazılım Doğrusal Programlama ve Tamsayı Programlama Modellerinin çözümünü sağlamaktadır.

Eşit mesafe ve maliyet varsayımı altında hesaplanan nakit hizmeti adetleri KSTYP aşamasında şubelerin hizmet talebi girdisi olmuştur. KSTYP'nin belirtilen talep koşullarında çözülmesi sonucunda toplamda 22 NYBB ağ üzerine yerleştirilmiş, şubelere hizmet etmek üzere 17 araç tahsislenmiştir. Araç sayısının daha az olmasının nedeni 5 NYBB'ye yalnızca bu NYBB'lerle aynı binada olan şubenin bağlanmış olmasıdır. NYBB'lerin bu şubelere hizmet için yol kat etmesi, dolayısıyla araç tahsisi gerekmemektedir. Geriye kalan NYBB'lerden biri Kayseri Şubesi binasına konumlandırılmış ve kendisine 11 şube bağlanmıştır. Nevşehir ve Samsun Şubeleri binalarına konumlandırılanlara ise 9'ar şube bağlanmıştır. Ayrıca bu aşamada araçların 2.234.262 km yol yapacağı tahmin edilmektedir (Tablo 8).

Tablo 8: 1. Etap KSTYP

Nakit Yönetim Merkezi Sayısı	Araç Sayısı	Toplam Yol	Toplam Rota Uzunluğu
22	17	2.234.262	5.166

4.3.1.2 AYP Aşaması

Bu aşamada da LINDO yazılımı kullanılarak, her bir NYBB için optimal araç rotaları belirlenmiştir. KSTYP aşamasında Nevşehir Şubesi için iki aracın gerektiği öngörülürken, AYP aşamasında bu şube için bir aracın yeterli olacağı hesaplanmıştır.

Böylelikle toplamda 16 aracın günlük mesai kısıtlamaları altında tüm şubelere hizmet verebileceği öngörülmektedir (Tablo 9).

Hesaplanan rotaların toplam uzunluğu 3.977 km, araçların bu rotalar üzerinde kat ettiği toplam yol 1.003.508 km olarak hesaplanmaktadır. Her bir şubenin dahil olduğu rota üzerinden NYBB'ye ortalama uzaklığı ve nakit hizmet maliyeti hesaplanmıştır. Ortalama mesafe katkısı 47,2 km, NYBB'ye süre 56 dk, nakit hizmeti maliyeti ise 144 TL olmuştur. En yüksek maliyet Sivas Şubesine bağlanan Pınarbaşı/Kayseri Şubesinde ortaya çıkmıştır. Bu şubenin mesafe katkısı 324,6 km, nakit hizmeti maliyeti 689 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9: 1. Etap AYP

Rota Sayısı	Toplam Yol	Rota Uzunluğu	Ortalama Hizmet Maliyeti
16	1.003.508	3.977	144

4.3.1.3 ASBP Aşaması

Başlangıçta şubelerin çok yakınında bir NYBB bulunduğu varsayımıyla hareket edilmiştir. Bu nedenle şubelerin tamamı günde birden fazla hizmet talebinde bulunmuştur. Bu koşullarda AYP aşamasında belirlenen her bir rota için en az bir araç tahsisi gerekmektedir. Dolayısıyla 16 araca ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 10: 1. Etap ASBP

Araç Sayısı	Toplam Yol
16	1.443.603

4.3.1.4 RŞANYP Aşaması

Bu bölümde AYP aşamasında hesaplanan NYBB'ye olan süre olarak uzaklığı ve nakit hizmeti maliyetleri kullanılarak her bir şubenin optimal kasa politikası Benzetişim ve Arama yöntemleri ile hesaplanmıştır.

Şubeler toplamda 18.131 adet nakit hizmeti talebinde bulunurken, şubelerin toplam kasa ortalaması 21.307.840 TL olarak gerçekleşmiştir. 1.526 adet ile en fazla

nakit hizmeti talebinde bulunan şube Nevşehir Şubesi olmuştur. Belirtilen gelişmede Nevşehir Şubesi binasına bir NYBB konumlandırılması etkili olmuştur. En az nakit hizmeti talebinde bulunan şube ise 8 adet hizmet talebi ile Pınarbaşı/Kayseri Şubesidir. Bu sonuçta bu şubenin en yüksek nakit hizmet maliyeti ile karşı karşıya olması etkili olmuştur.

Tablo 11: 1. Etap RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
21.307.840	18.131

4.3.1.5 Toplam Maliyet

Birinci etapta çalıştırılan modeller sonucunda ortaya çıkan maliyetlere aşağıdaki tabloda yer verilmiştir (Tablo 12). NYBB adedi KSTYP, Kasa Ortalaması RŞANYP tarafından belirlenmektedir. Maliyet kalemlerinin bazıları birden fazla model tarafından hesaplanabilmektedir. Örneğin ZA sayısı ve toplam yol KSTYP, AYP ve ASBP modelleri tarafından hesaplanmaktadır. Ancak, her bir model belli öğelerin optimal miktarını belirlemek için tasarlanmış olup, diğer öğeleri ise yardımcı olarak ya da düzeltme katsayılarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. ZA sayısı ve toplam yol uzunluğunun en rafine hesaplandığı model ASBP olduğu için bu modelin sonucu dikkate alınmıştır.

Tablo 12: 1. Etap Sonuçları

	Kaynak Problem	Adet / Miktar	Maliyet (TL)
NYBB Bina	KSTYP	22	1.706.776
NYBB Personel	KSTYP	66	2.195.448
ZA	ASBP	16	81.668
ZA Personel	ASBP	64	1.951.509
Toplam Yol	ASBP	1.443.603	984.501
Kasa	RŞANYP	21.307.840	1.704.627
Toplam Maliyet			8.624.529

4.3.3 İkinci Etap

İlk etapdaki RŞANYP’de hesaplanan 18.131 nakit hizmet talebi KSTYP için girdi olarak kullanılmış ve model tekrar optimize edilmiştir. Optimal çözümde şubelere toplam 9 adet NYBB hizmet vermektedir (Tablo 13). NYBB sayısındaki azalmanın temel nedeni nakit hizmet talebinin kurgusal başlangıç koşullarındaki 143.329 adetten sekizde biri seviyesine inmesi olmuştur. Bahsi geçen NYBB’ler Amasya, Çorum, Kastamonu, Kayseri, Malatya, Nevşehir, Samsun, Sivas il merkezlerindeki ve Elbistan/Kahramanmaraş ilçesindeki şubelere konuşlandırılmıştır.

Tablo 13: 2. Etap KSTYP

Nakit Yönetim Merkezi Sayısı	Araç Sayısı	Toplam Yol	Toplam Rota Uzunluğu
9	10	1.033.283	10.059

Her bir NYBB için ayrı AYP çözümlenerek bağlı şubeleri ziyaret etmekte izlenmesi gereken optimal rota sayısı 14 olarak belirlenmiştir. Belirtilen rotaların toplam uzunluğu 5.274 km olarak hesaplanmıştır. NYBB adedinin azalmasına bağlı olarak ortalama hizmet maliyeti 172 TL’ye çıkmıştır (Tablo 14).

Tablo 14: 2. Etap AYP

Rota Sayısı	Toplam Yol	Rota Uzunluğu	Ortalama Hizmet Maliyeti
14	1.330.668	5.274	172

ASBP aşamasında tüm rotalara birer araç tahsis edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Toplam yol miktarı ise 1.025.600 km’ye düşmüştür (Tablo 15).

Tablo 15: 2. Etap ASBP

Araç Sayısı	Toplam Yol
14	1.025.600

NYBB'lerin şubelere olan uzaklıklarının ve buna bağlı olarak nakit hizmeti talebinin azalması neticesinde şubelerin kasa ortalaması 24.444.459 TL olarak oluşmuştur. Toplam nakit hizmet talebi sayısı 14.497'ye inmiştir (Tablo 16).

Tablo 16: 2. Etap RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
24.444.459	14.497

Birinci etaba göre ikinci etapta NYBB ve ZA sayısı ile bunlarda görevli personel sayısı ve de yol miktarı azalmış, buna mukabil kasa ortalaması artmıştır. Tüm bu gelişmeler sonrasında toplam maliyet 6.030.385 TL'ye düşmüştür (Tablo 17).

Tablo 17: 2. Etap Sonuçları

	Kaynak Problem	Adet / Miktar	Maliyet (TL)
NYBB Bina	KSTYP	9	698.227
NYBB Personel	KSTYP	27	898.138
ZA	ASBP	14	71.459
ZA Personel	ASBP	56	1.707.570
Yol	ASBP	1.025.600	699.433
Kasa	RŞANYP	24.444.459	1.955.557
Toplam Maliyet			6.030.385

4.3.4 Üçüncü Etap

Şubelerin ikinci etaptaki nakit hizmet talepleri dikkate alınarak KSTYP çözülmüş ve bu talebin optimal olarak 8 NYBB ile karşılanabileceği sonucu elde edilmiştir. Kaldırılan NYBB Elbistan'da yer alan olmuştur. Bu aşamada hesaplanan toplam rota uzunluğu iki katına çıkarken, yol miktarı da yaklaşık üçte ikisine inmiştir (Tablo 18).

Tablo 18: 3. Etap KSTYP

Nakit Yönetim Merkezi Sayısı	Araç Sayısı	Toplam Yol	Toplam Rota Uzunluğu
8	7	772.400	10.682

Her bir NYBB için AYP'nin çalıştırılması neticesinde şubelere toplam 14 rotada hizmet verilebileceği sonucuna varılmıştır. NYBB'lerin daha iyi yerleştirilmesine bağlı olarak daha az NYBB ile hizmet verilmesine rağmen ortalama hizmet maliyetinde önceki etapta göre 5 TL kadar bir düşüş gerçekleşmiştir (Tablo 19).

Tablo 19: 3. Etap AYP

Rota Sayısı	Toplam Yol	Rota Uzunluğu	Ortalama Hizmet Maliyeti
14	1.243.995	4.930	167

ZA'ların toplamda 969.908 km yol yapacakları hesaplanan ASBP aşamasında 13 aracın 14 rotada hizmet verebileceği öngörülmüştür (Tablo 20).

Tablo 20: 3. Etap ASBP

Araç Sayısı	Toplam Yol
13	969.908

Rota sayısından az araç kullanımı Kastamonu Şubesine konumlandırılan NYBB'de söz konusu olmuştur. Belirtilen NYBB'ye bağlı 11 şube bulunmaktadır. Taşköprü, Boyabat, Ayancık, Türkeli, İnebolu şubeleri birinci rotada, Tosya, İskilip, Çankırı, Ilgaz şubeleri ikinci rotada, Cide Şubesi ise üçüncü rotada yer almaktadır. Kastamonu Şubesi NYBB ile aynı binada olduğundan araç yardımı olmaksızın hizmet alabilmektedir.

Tablo 21: ASBP Aşamasında Araç Sayısını Belirleme

<u>Şube Adı</u>	<u>Nakit Hizmeti Sayısı</u>	HİZMET ALMAMA İHTİMALİ		
		<u>1. Rota</u>	<u>2. Rota</u>	<u>3. Rota</u>
Kastamonu	361			
Taşköprü/Kastamonu	66	0,74		
Boyabat/Sinop	80	0,68		
Ayancık/Sinop	44	0,83		
Türkeli/Sinop	37	0,85		
İnebolu/Kastamonu	73	0,71		
Tosya/Kastamonu	68		0,73	
İskilip/Çorum	44		0,82	
Çankırı	46		0,82	
Ilgaz/Çankırı	35		0,86	
Cide/Kastamonu	31			0,88
Araç İhtiyacı Duymama İhtimali				
		0,25	0,43	0,88
Araç İhtiyacı Duyma İhtimali				
		0,75	0,57	0,12

Her bir şubenin yıllık nakit hizmeti talebi sayısı yukarıdaki tablonun ikinci sütununda yer almaktadır (Tablo 21). Bir şubenin herhangi bir gün hizmeti talebinde bulunma ihtimali yıllık hizmet talebinin yıldaki iş günü sayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Örneğin Taşköprü Şubesi'nin hizmet talebinde bulunması ihtimali aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\frac{66}{252} = 0,26 \quad (4.3)$$

Taşköprü Şubesinin hizmet talebinde bulunmama ihtimalinin bulunması için bu sayı birden çıkarılmaktadır.

$$1 - 0,26 = 0,74 \quad (4.4)$$

Şubelerin hizmet talebinde bulunmama ihtimalleri dâhil oldukları rotalar bazında Tablo 21'un son üç sütununda verilmiştir. Bir rotada herhangi bir gün araca ihtiyaç duyulmaması ihtimali, şube bazında ihtimallerin çarpılması sonucunda bulunmakta olup ilgili rakamlara tablonun sondan bir önceki satırında yer verilmiştir. Örneğin 1. Rotada araç ihtiyacı duyulmaması ihtimali aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$0,74 \times 0,68 \times 0,83 \times 0,85 \times 0,71 = 0,25 \quad (4.5)$$

Bir rotada araç ihtiyacı duyulması ihtimalinin bulunması için bu sayının 1'den çıkarılması gerekmektedir.

$$1 - 0,25 = 0,75 \quad (4.6)$$

Rotaların tamamında aynı anda araca ihtiyaç duyulması ihtimalinin bulunması için, her birinde ihtiyaç duyulması ihtimalleri çarpılmıştır.

$$0,75 \times 0,57 \times 0,12 = 0,05 \quad (4.7)$$

AYP aşamasında Kastamonu'da yer alan NYBB'ye bağlı olarak üç rota belirlenmiştir. Bahsi geçen NYBB'nin üç araca birden aynı anda ihtiyaç duyması ihtimali %5 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle, 20 iş gününden yalnızca birinde, yani yaklaşık ayda bir kez üç araca birden ihtiyaç duyulmaktadır. Belirtilen oranın düşük olması nedeniyle Kastamonu NYBB'sinde yer alan üç rota için iki aracın ekonomik olarak yeterli olacağı değerlendirilmiştir.

RŞANYP aşamasında her bir şube için Benzetişim ve Optimizasyon modelleri çalıştırılmış ve şubelerin toplamda 14.224 nakit hizmeti talebinde bulunacakları ve kasa ortalamalarının 24.773.936 TL olacağı hesaplanmıştır (Tablo 22).

Tablo 22: 3. Etap RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
24.773.936	14.224

Önceki etaba göre üçüncü etapta NYBB ve ZA sayısı birer azalmıştır. Yol miktarında da yaklaşık 55.000 km kadar bir azalma gerçekleşmiştir. Kasa ortalamasında sınırlı bir artış olmasının da etkisiyle toplam maliyet 5.714.315 TL'ye inmiştir (Tablo 23).

Tablo 23: 3. Etap Sonuçları

	Kaynak Problem	Adet / Miktar	Maliyet (TL)
NYBB Bina	KSTYP	8	620.646
NYBB Personel	KSTYP	24	798.345
ZA	ASBP	13	66.355
ZA Personel	ASBP	52	1.585.601
Yol	ASBP	969.908	661.453
Kasa	RŞANYP	24.773.936	1.981.915
Toplam Maliyet			5.714.315

4.3.5 Dördüncü Etap

NYBB adedinde ve konumlarında bu etapta herhangi bir değişiklik olmamıştır. KSTYP modelinde toplam yol miktarında bir azalma olacağı ön görülürken toplam rota uzunluğunda bir miktar artış gerçekleşmiştir (Tablo 24).

Tablo 24: 4. Etap KSTYP

Nakit Yönetim Merkezi Sayısı	Araç Sayısı	Toplam Yol	Toplam Rota Uzunluğu
8	6	694.044	11.574

AYP aşamasında şubelere yine 13 rota üzerinden hizmet verileceği hesaplanmaktadır. Önceki etaba göre toplam yol miktarında yaklaşık 60 bin km azalma

olacağı öngörülmektedir. Şubelere ortalama nakit hizmeti ulaştırma maliyetinde 4 TL'lik bir azalma olmuştur (Tablo 25).

Tablo 25: 4. Etap AYP

Rota Sayısı	Toplam Yol	Rota Uzunluğu	Ortalama Hizmet Maliyeti
13	1.186.062	4.701	163

ASBP aşamasında yine Kastamonu'da yerleşik NYBB'de yer alan üç rota iki aracın hizmet verebileceği tahmin edilmiştir. Araçların kat edecekleri toplam yol miktarında da önceki etaba göre cüzi bir azalma olacağı öngörülmüştür (Tablo 26).

Tablo 26: 4. Etap ASBP

Araç Sayısı	Toplam Yol
12	1.015.059

RŞANYP aşamasında toplam kasa ortalamasında önceki etaba göre yaklaşık 200 bin TL azalma oluşmuş, toplam hizmet adedi de 131 adet azalmıştır (Tablo 27).

Tablo 27: 4. Etap RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
24.560.690	14.093

Önceki etaba göre bu etapta NYBB sayısı aynı kalmış, ZA sayısı bir azalmıştır. Yol miktarında yaklaşık 45.000 km kadar bir artış gerçekleşmiştir. Kasa ortalamasının azalmasının da etkisiyle toplam maliyet 5.600.966 TL'ye inmiştir (Tablo 28).

Tablo 28: 4. Etap Sonuçları

	Kaynak Problem	Adet / Miktar	Maliyet (TL)
NYBB Bina	KSTYP	8	620.646
NYBB Personel	KSTYP	24	798.345
ZA	ASBP	12	61.251
ZA Personel	ASBP	48	1.463.632
Yol	ASBP	1.015.059	692.244
Kasa	RŞANYP	24.560.690	1.964.849
Toplam Maliyet			5.600.966

4.3.6 Beşinci Etap

Beşinci etapta Çorum'a NYBB konuşlandırılmamıştır. Böylelikle NYBB adedinde bir azalma olmuştur. Toplam yol miktarında 208 bin km kadar bir artış olması öngörülürken, toplam rota uzunluğunun da 1.565 km kadar artacağı tahmin edilmektedir (Tablo 29).

Tablo 29: 5. Etap KSTYP

Nakit Yönetim Merkezi Sayısı	Araç Sayısı	Toplam Yol	Toplam Rota Uzunluğu
7	6	902.508	13.139

AYP aşamasında şubelere 15 rota üzerinden hizmet verileceği hesaplanmıştır. Önceki etaba göre toplam yol miktarında yaklaşık 260 bin km artış olacağı öngörülmektedir. Şubelere ortalama nakit hizmeti ulaştırma maliyetinde 18 TL'lik bir artış olmuştur (Tablo 30).

Tablo 30: 5. Etap AYP

Rota Sayısı	Toplam Yol	Rota Uzunluğu	Ortalama Hizmet Maliyeti
15	1.446.420	5.732	181

ASBP aşamasında aynı anda üç araca ihtiyaç duyulması ihtimali Kastamonu'da %8, Sivas'ta %18, Samsun'da %11 olarak hesaplanmıştır. Belirtilen NYBB'ler için

AYP'de belirlenen üç rotaya, iki araç tahsislenmiştir. Araçların kat edecekleri toplam yol miktarında da önceki etaba göre yaklaşık 90 bin km'lik bir artış olacağı öngörülmüştür (Tablo 31).

Tablo 31: 5. Etap ASBP

Araç Sayısı	Toplam Yol
12	1.106.675

RŞANYP aşamasında toplam kasa ortalaması 644 bin TL artmış, toplam hizmet adedi de 72 adet azalmıştır (Tablo 32).

Tablo 32: 5. Etap RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
25.204.906	14.021

Önceki etaba göre bu etapta NYBB adedi bir azalmış, ZA sayısı aynı kalmış, kat edilen yol miktarı ile kasa ortalaması artmıştır. NYBB adedi ve personeli maliyetindeki azalma, kasa ortalaması ve yol kaynaklı maliyetlerdeki artıştan daha yüksek olduğundan toplam maliyette 63 bin TL tutarında bir azalma meydana gelmiştir (Tablo 33).

Tablo 33: 5. Etap Sonuçları

	Kaynak Problem	Adet / Miktar	Maliyet (TL)
NYBB Bina	KSTYP	7	543.065
NYBB Personel	KSTYP	21	698.552
ZA	ASBP	12	61.251
ZA Personel	ASBP	48	1.463.632
Yol	ASBP	1.106.675	754.725
Kasa	RŞANYP	25.204.906	2.016.392
Toplam Maliyet			5.537.617

4.3.7 Altıncı Etap

Altıncı etapta bu sefer Nevşehir'e NYBB özgülmemiştir. Böylelikle NYBB adedi 6'ya inmiştir. Toplam yol uzunluğunun 168 bin km, rota uzunluğunun ise 4 km kadar artacağı tahmin edilmektedir (Tablo 34).

Tablo 34: 6. Etap KSTYP

Nakit Yönetim Merkezi Sayısı	Araç Sayısı	Toplam Yol	Toplam Rota Uzunluğu
6	8	1.170.340	13.143

Bu etapta AYP şubelere 14 rota üzerinden hizmet verilmesini öngörmüş, yol miktarında ise kayda değer bir değişme olmamıştır. Şubelere ortalama nakit hizmeti ulaştırma maliyetinde 3 TL azalmıştır (Tablo 35).

Tablo 35: 6. Etap AYP

Rota Sayısı	Toplam Yol	Rota Uzunluğu	Ortalama Hizmet Maliyeti
14	1.418.475	5.622	178

ASBP aşamasında aynı anda üç araca ihtiyaç duyulması ihtimali Kastamonu'da %7, Samsun'da %16 olarak hesaplanmıştır. Belirtilen NYBB'lere ikişer araç tahsislendiğinden araç sayısı 12 olarak hesaplanmıştır. Araçların kat edecekleri toplam yol miktarında önceki etaba göre yaklaşık 18 bin km'lik bir azalma olacağı hesaplanmıştır (Tablo 36).

Tablo 36: 6. Etap ASBP

Araç Sayısı	Toplam Yol
12	1.088.706

RŞANYP aşamasında toplam kasa ortalamasında yaklaşık 425 bin TL artış olmuştur. Buna karşın toplam hizmet talebi adedi yaklaşık kayda değer bir düşüş gerçekleşmiştir.

Tablo 37: 6. Etap RŞANYP

Toplam Kasa Ortalaması	Hizmet Talebi Adedi
25.629.511	12.267

Bu etapta NYBB adedi ve toplam yol miktarı azalmış, kasa ortalaması ise artmıştır. Belirtilen gelişmeler sonrasında 156 bin TL kadar bir maliyet azalması meydana gelmiştir (Tablo 38).

Tablo 38: 6. Etap Sonuçları

	Kaynak Problem	Adet / Miktar	Maliyet (TL)
NYBB Bina	KSTYP	6	465.484
NYBB Personel	KSTYP	18	598.758
ZA	ASBP	12	61.251
ZA Personel	ASBP	48	1.463.632
Yol	ASBP	1.088.706	742.470
Kasa	RŞANYP	25.629.511	2.050.361
Toplam Maliyet			5.381.957

4.3.8 Yedinci ve Son Etap

Bu etapta NYBB'ler önceki etapdaki gibi Amasya, Kastamonu, Kayseri, Malatya Samsun ve Sivas il merkezi şubelere yerleştirilmiştir. Şubelerin NYBB'lerle olan paylaşımlarında da herhangi bir değişiklik olmamıştır. AYP aşamasında optimal çözümde yine aynı 14 rota önerilmiştir. ASBP aşamasında aynı anda üç araca ihtiyaç duyulması ihtimali Kastamonu'da %9, Samsun'da %14 olarak hesaplanmıştır. Belirtilen NYBB'lere yine ikişer araç tahsislenmiş ve araç sayısı 12 olarak belirlenmiştir. RŞANYP aşamasında toplam kasa ortalaması ve hizmet talebi aynı kalmıştır. Böylelikle algoritma için belirlenen durma koşulları gerçekleşmiştir.

Altıncı etapta yer alan çözüm, önerilen yöntem tarafından tavsiye edilen çözüm olmuştur (Tablo 38). Sözü edilen çözümde 6 NYBB, 12 ZA kullanımı önerilmektedir. Toplam personel sayısı 18'i NYBB'lerde, 48'i ZA'larda olmak üzere toplam 64 kişidir.

Bu çözümde yıllık toplam 1,11 milyon km yol kat edildiği ve yaklaşık 25 milyon TL kasa ortalaması olduğu tahmin edilmektedir. Tasarlanan NYS'nin kasa ortalaması kaynaklı atıl nakit maliyeti de dâhil olmak üzere, yıllık toplam maliyetinin 5,4 milyon TL kadar olacağı hesaplanmaktadır.

4.3.9 Modelleri Bağlayan Parametrelerin Gelişimi

Önerilen yöntemde KSTYP, AYP, ASBP ve RŞANYP modelleri ardışık olarak çalıştırılmakta ve her birinin sonucunu diğerlerine beslenmektedir. Bu modelleri bağlayan diğer hususlar ise c^{t-1} , e^{t-1} , k^{t-1} parametreleridir.

(3.7) numaralı formülle hesaplanan c^{t-1} parametresi KSTYP ve ASBP modellerini birleştirmekte olup, KSTYP'nin ZA'ların rota izlemek yerine her bir şubeye git/gel tarzı bir seyahat gerçekleştirdiği varsayımının etkilerini bertaraf etmek üzere tasarlanmıştır. Bu parametrenin etaplar itibariyle gelişimine aşağıda yer verilmiştir (Tablo 39).

Tablo 39: c^{t-1} Parametresinin Gelişimi

Etaplar						
1	2	3	4	5	6	7
0,67	0,52	0,46	0,41	0,44	0,43	0,43

Birinci etapta henüz parametrenin hesaplanması için herhangi bir değer bulunmadığından, bu değer 2/3 olarak alınmıştır. Görüldüğü üzere parametre değeri sonraki üç etap azalmış, daha sonra artış göstererek 0,43 değerine yakınsamıştır.

AYP ve ASBP modelleri birleştiren e^{t-1} parametresinin formülasyonu (3.17) numaralı denklemde yer almaktadır. Belirtilen parametrenin etaplar arasındaki gelişimi ise şöyledir (Tablo 40).

Tablo 40: e^{t-1} Parametresinin Gelişimi

Etaplar						
1	2	3	4	5	6	7
0,67	0,77	0,78	0,86	0,77	0,77	0,77

Birinci etapta tahmini değeri 2/3 olarak tahmin edilen belirtilen parametre sonraki etaplarda 0,77 - 0,86 bandında gezinerek 0,77 değerinde istikrara kavuşmuştur.

(3.8) numaralı denklemlerle hesaplanan k^{t-1} ZA'lar tarafından kat edilen yıllık km miktarını göstermektedir. KSTYP ile ASBP'yi birleştiren bir diğer faktör niteliğindeki bu parametrenin etaplar arasındaki gelişimi ise şöyle olmuştur (Tablo 41).

Tablo 41: k^{t-1} Parametresinin Gelişimi

Etaplar						
1	2	3	4	5	6	7
100.000	73.257	74.608	84.588	92.223	90.726	90.726

Sözü edilen parametre uzman değerlendirmelerine dayanılarak birinci etapta 100 bin km olarak tahmin edilmiştir. İkinci etapta keskin bir düşüş gerçekleştirerek 73.257 km'ye inen parametre değeri, sonraki üç etaptaki artışla birlikte 90 binlerde istikrara ulaşmıştır.

Görüldüğü üzere, belirtilen üç parametre de etaplar arasında radikal değişiklikler göstermemiştir. İlaveten etaplar ilerledikçe belirli bir sabit değere yakınsamışlardır. Bahsi geçen özellik önerilen yöntemin sağlamlığına işaret ettiği düşünülmektedir.

SONUÇ

Tez çalışmamızda banka nakit yönetim yapılanması optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu amaçla, öncelikli olarak literatürde yer alan standart modeller belirlenmiş ve belirtilen modeller nakit yönetimi yapılanması problemlerine uyarlanmıştır. Sistemin her bir parçasının optimize edilmesinin, bütünün optimum olmasını sağlamayacağı gerçeğinden hareketle, sistemin tümleşik olarak iyileştirilmesini sağlayan, uyarlanmış modelleri sıralı ve tekrarlı olarak çalıştıran bir yöntem geliştirilmiştir. Son olarak sözü edilen yöntem gerçek ve kurgusal verilerden terkip edilen bir banka örneğine uygulanmıştır.

Finansal piyasaların derinleşmesi ile finansal ürün ve ihtiyaçların çeşitlenmesi paralelinde, işlemleri de karmaşık bir nitelik kazanan bankacılık sektöründe ana faaliyet konuları mevduat toplayarak fon yaratmak, bu fonları kredi nitelikli işlemlerle ticari ve bireysel kesime kullandırmak ve ödemeler sistemine aracılık etmek olarak sınıflandırılabilir. Belirtilen işlemlerin nakit karşılığı yapılanları banka şubelerinde nakit ihtiyacı ve fazlası oluşmasına neden olmaktadır.

Çok sayıda şube aracılığı ile hizmetlerin müşterilere sunulduğu özellikle ticari bankacılık alanında, belirtilen faaliyetler neticesinde bazı şubelerde nakit fazlaları oluşmakta, çeşitli şubelerde de nakit ihtiyaçları baş göstermektedir. Şubelerde yer alan ihtiyaç fazlası nakitler getirisiz aktif niteliğindedir. Bu nitelikli nakdin toplanarak merkez bankası hesaplarına aktarılması yoluyla getirili aktifler oluşturulabilmektedir. Öte yandan, sonuç olarak müşteri talebi karşılığında oluşan şube nakit ihtiyaçlarının süresi içinde karşılanması, banka itibarını da olumsuz yönde etkilemesi muhtemel önemli bir faaliyet niteliğindedir.

Nakit fazlası olan şubelerden nakdin toplanması ve nakit ihtiyacı olan şubelere aktarılması, artan nakdin merkez bankası hesaplarına alacak kaydedilmesi, daha fazla nakde ihtiyaç duyulması halinde ise merkez bankası hesaplarından çekiliş yapılması olarak özetlenebilecek nakit yönetimi aktiviteleri bankalardaki en önemli operasyonel faaliyetlerden birini oluşturmaktadır. Belirtilen faaliyetlerin minimum maliyetle gerçekleştirilmesine bankalarda özel önem atfedilmektedir. Bu sebeple, bankalarda çeşitli donanım, yazılım ve teknolojileri kullanan merkezi nakit yönetimi birimi ile

yeterli sayıda araç ve personel istihdam edilen bölgesel nakit yönetimi birimlerinden oluşan büyük nakit yönetimi yapılanmaları oluşturulmuştur.

NYS'ye ilişkin maliyetler iki ana kalemden oluşmaktadır. İlk maliyet kalemi şube kasalarında yer alan nakdin fırsat maliyetidir. İkinci önemli maliyet kalemi ise şubelerin nakit fazlalarını toplamak ve nakit ihtiyaçlarını karşılamak için oluşturulan organizasyon nedeniyle ortaya çıkan yatırım ve işletme maliyetidir. Bu iki maliyet birbiriyle ters orantılıdır. Zira atıl nakit kaynaklı maliyetin azaltılması (artırılması) için nakit yönetimi organizasyonunun büyütülmesi (küçültülmesi) gerekmektedir. Optimal nakit yönetimi yapılanması bu iki maliyet kaleminin toplamını minimize eden yapılanma olmaktadır.

Türk Bankacılık Sektörü açısından değerlendirildiğinde, bankalardaki mevcut nakit yönetimi sistemlerinin optimal olarak tasarlanmadığına işaret edebilecek bazı bulgular yer almaktadır.

Öncelikli olarak, son yıllarda faiz oranlarında çok büyük düşüşler gerçekleşmiştir. Sözü edilen düşüşler neticesinde şubelerde atıl olarak bekleyen nakdin maliyeti de önemli ölçüde azalmıştır. Belirtilen gelişme bankaların önceki dönemlere göre daha küçük nakit yönetimi yapılanmalarına ihtiyaç duyduğuna işaret etmektedir. Öte yandan, özellikle istihdam piyasasındaki katılıklar nedeniyle bankaların nakit yönetimi yapılanmalarında yukarıda değinilen gelişmelerin gerektirdiği ölçüde indirime gidemedikleri tahmin edilmektedir.

Türk bankacılık sektöründeki şube sayısı son yıllardaki yeni şube açılışları ile %50'nin üzerinde artış göstermiştir. Belirtilen gelişmeler mevcut NYBB'lerin adedi, yerleri ile kaynak kullanımının optimal düzeyde olmayabileceğine işaret etmektedir.

Son olarak, Ülke karayolu ağında son dönemde önemli iyileşmeler sağlanmış, özellikle bölünmüş yol miktarı ile asfalt kalitesinin iyileşmesi daha az araçla aynı sayıda şubeye hizmet verilebilmesini mümkün kılmıştır. Diğer önemli gelişmeler arasında ise nakit yönetiminde kullanılan araç teknolojisinin iyileşmesi, nakit yönetimi sistemlerinin izlenmesi ve yönetilmesini mümkün kılacak yazılımların geliştirilmesi, araçların uydu sistemleri yardımıyla izlemeyi olanaklı kılan düşük maliyetli araç takip sistemlerinin

geliştirilmesi gibi yenilikler yer almaktadır. Belirtilen gelişmeler de mevcut nakit yönetimi yapılanmalarının optimal düzeyde olup olmadığı yönünde sorgulanmasını gerektiren diğer faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Bir NYS'nin tasarımında dikkate alınması gereken ana faktörler şu şekilde belirlenmiştir:

Bankanın mevcut şube ağı ve her bir şubenin nakit hizmeti talebi veri alındığında;

- Ağ üzerinde kaç adet NYBB bulunmalıdır?
- Bu birimler ağ üzerindeki hangi noktalara yerleştirilmelidir?
- Bu birimler hangi şubelere hizmet vermelidir?

Nakit yönetim birimine bağlı şubeler ve nakit hizmeti talepleri veri olarak alındığında;

- Nakit yönetim biriminde şubelere hizmet vermek için izlenecek ana rotalar ve bu rotalar üzerinde yer alacak şubeler hangileri olmalıdır?
- Bu rotalara hizmet vermek üzere nakit yönetim birimine kaç adet araç özgülenmelidir?

Her bir şubenin nakdi işlem yapısı ve yoğunluğu ile nakit yönetim merkezine süre olarak uzaklığı ve nakit hizmet alma maliyeti veri alındığında;

- Kasa bakiyesi hangi seviyeye düştüğünde şube nakit talep etmelidir?
- Nakit talep edildiğinde kasa bakiyesi hangi düzeye çıkarılmalıdır?
- Kasa bakiyesi hangi seviyeye çıktığında şube nakit devrini talep etmelidir?
- Kasa bakiyesi hangi seviyeye indirilmelidir?

Dikkat edilirse yukarıdaki ihtiyaçların ilk bölümü orta ve uzun vadeli olmaları nedeniyle stratejik niteliklidir. İkinci kısım ihtiyaçlar orta vadeyi adreslemekte olduğundan taktik, üçüncü kısım ihtiyaçlar da kısa vadeyi hedeflemekte olduğundan operasyonel niteliklidir.

Yukarıda belirtilen ihtiyaçların ilk bölümü için literatürde yer alan KSTYP'nin (Uncapacitated Facility Location Problem) kullanılabileceği belirlenmesinde bulunulmuştur. KSTYP'de bir mal üretmekte ya da hizmeti sunmakta olan tesislerin, çeşitli talep noktalarından müteşekkil bir ağ üzerinde, üretim ve dağıtım maliyetlerini en düşük kılacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenmektedir.

İhtiyaçların ikinci bölümü için ise literatürde yer alan AYP'den (Vehicle Routing Problem) yararlanılabileceği gözlemlenmiştir. AYP'de ağ üzerinde çeşitli noktalar konumlanmış müşterilerin ihtiyaçlarını en düşük maliyetle karşılamak üzere, merkezi bir depoya bağlı olarak çalışan araçların rotalarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

AYP tarafından üretilen çözümlerin kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde AYP tarafından tavsiye edilen rotalardaki araca ihtiyaç duyma ihtimalleri değerlendirilmekte, bu ihtimalin belirli bir eşik değerden düşük olması halinde nakit yönetim birimine toplam rota sayısından daha az aracın tahsis edilmesi söz konusu olmaktadır. Bu yöntem çalışmamızda ASBP olarak adlandırılmıştır.

Nakit yönetimi politikası büyüklükleri olarak da adlandırılabilir üçüncü kısım ihtiyaçların çözümü için ise literatürde yer alan RŞANYP'nin kullanılabileceği belirlenmesinde bulunulmuştur. RŞANYP için literatürde yer alan çözüm yöntemlerinin nakit hareketleri ile ilgili olasılık dağılımlarının bilinmesini gerekli kıldığı, bu dağılımların karmaşık evalüasyonlarını gerektirdiği, belirtilen evalüasyonların çözümünde ayrıca Dinamik Programlama gibi yüksek işlem gücü ve bellek kapasitesi gerektiren bir yöntemin kullanımına ihtiyaç bulunduğu gözlemlenmiştir. Belirtilen işlemlerin problemin çözümünü güçleştirilmesi nedeniyle farklı bir çözüm yöntemi önerisi getirilmiştir.

RŞANYP için önerilen çözüm yönteminde öncelikli olarak şubedeki mevcut nakit hareketleri veri alınarak belirli nakit yönetimi politikası altında şubenin kaç kez nakit hizmeti talebinde bulunacağı ve ne büyüklükte kasa ortalaması oluşacağı konularının benzetişimini gerçekleştiren basit bir hesap çizelgesi hazırlanmıştır.

Böylelikle şuben özelinde herhangi bir politika tercihiinde bulunulduğunda ne kadar nakit yönetimi maliyetine katlanacağı belirlenebilmektedir. Şubenin nakit hareketleri veri alındığında hangi nakit yönetimi politikasının şubenin nakit yönetimi kaynaklı maliyetlerini minimum kılacağını belirlemek için ise basit bir arama yordamı geliştirilmiştir. Bu yordam benzetişim için oluşturulan hesap çizelgesi üzerinde arama gerçekleştirmekte ve durma koşulları sağlanana kadar her tekrarda maliyeti iyileştirmeye devam etmektedir.

Dikkat edilirse, yukarıda belirtilen dört yöntem birbiriyle ilişkili sonuçlar üretmekte ve her biri NYS'nin belirli bir bölümünü optimize etmektedir. Bir sistemin her bir parçasının kendi başına ayrı ayrı optimize edilmesi sistemin bütününe optimize edilmesini sağlamayacaktır. Bu tespitten hareketle yukarıdaki modelleri ardışık bir şekilde kullanan, her bir modelin çıktısını sonraki modellerde kullanan tekrarlı çalışan bir Tümüleşik Yöntem önerisi getirilmiştir. Tümüleşik Yöntemde modelleri birbirine bağlayan, model sonuçlarını daha gerçekçi kılan, önceki model sonuçlarını sonraki modellere aktaran bazı faktörler oluşturulmuştur. Bu faktörlerle birlikte Tümüleşik Yöntemdeki dört ayrı model tek bir modelmiş gibi hareket etmekte ve her bir tekrarda daha iyi maliyetli ve daha uygulanabilir çözümler üretmektedir.

Tümüleşik Yöntem RŞANYP ile şubelerin nakit hizmet talebi adetlerinden oluşan bir başlangıç çözümü bulmakta, bu çözüm KSTYP'ye beslenerek NYBB adedi, konumları ve bağlı şubeleri bulunmaktadır. Nakit yönetim birimleri ve bağlı şubeleri AYP'ye girdi olmakta, her bir bölge birimi için AYP çözülerek şubelere hizmet vermekte kullanılacak ana araç rotaları belirlenmektedir. Ana araç rotaları ve şubelerin nakit hizmet talebi adetleri ASBP'ye girdi olmakta ve her bir NYBB için yapılan hesaplamalarla NYS'de kaç adet ZA'ya ihtiyaç olduğu belirlenmektedir. AYP ve ASBP'den elde edilen her şubeye ilişkin nakit hizmeti alma maliyeti ve nakit hizmeti alma süresi RŞANYP'ye girdi oluşturmakta, her şube için ayrı ayrı bu problem çalıştırılarak nakit yönetimi politikası ile nakit hizmet talebi adedi yeniden belirlenmektedir. Bu aşamada şubelerin başlangıçta tahmin edilen hizmet talebi adetleri değişmiş olduğundan, KSTYP yeniden çalıştırılmakta, bölge birimi adetleri, konumları, bağlı şubeleri tekrar belirlenmekte ve sonuçları sonraki modellere girdi olarak

beslenmektedir. Algoritmanın durma koşulu her bir modelin bir önceki tekrardaki modelle aynı sonuç vermesi olarak belirlenmiştir. Bu durumda model çözümü daha fazla iyileştiremeyeceği için yöntem sona ermektedir.

Önerilen Tümlşik Yöntemin işlevselliğini görmek üzere bir uygulama çalışması da gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bir özel bankanın Karadeniz, Doğu ve Orta Anadolu Bölgesindeki 86 şubesini içeren bir ağ yapılanmasından yararlanılmıştır. Şubelerin adresleri bankanın internet şubesinden temin edilmiş, Google Earth yazılımından faydalanılarak şubeler harita üzerinde işaretlenmiş, birbirlerine olan mesafe ve süre olarak uzaklıkları bu yazılım aracılığı ile belirlenmiştir. Nakit yönetim sistemlerinde kullanılan bina, araç ve personelin maliyetleri uzman değerlendirmesi, internet üzerinden yapılan araştırmalar ve çeşitli varsayımlardan da yararlanılarak tespit edilmiştir. İçsel nitelikli veri niteliğinde olduğundan şubelerdeki nakit hareketlerine ulaşılması mümkün olmamış, bu veriler şubenin yer aldığı ilçenin makroekonomik büyüklükler ve çeşitli varsayımlara dayanılarak rassal olarak üretilmiştir.

Tümlşik Yöntem gerçek ve kurgusal verilerden oluşan yukarıdaki probleme uygulanmıştır. Yöntem birinci etapta 22 NYBB açılmasını önermiş, bu birimlere bağlı olarak faaliyet gösterecek 16 araç ile 130 personel istihdamını öngörmüştür. Araçların toplam 1,44 milyon km kat edecekleri, şubelerde de 21,31 milyon TL kasa ortalaması olacağı tahmin edilmiştir. NYS'nin toplam maliyeti 8,62 milyon TL olmuştur. Model tekrarlı bir şekilde bu maliyeti iyileştirmiş, ikinci etapta maliyet 6,03 milyon TL'ye, üçüncü etapta 5,71 TL'ye, dördüncü etapta 5,60 milyon TL'ye, beşinci etapta 5,54 milyon TL'ye, altıncı etapta ise 5,38 milyon TL'ye inmiştir. Yedinci etapta tüm modeller altınca etaptakilerle aynı sonucu verdiği için yöntemin durma koşulları sağlanmıştır. Altınca etapta bulunan çözümde 6 NYBB açılması önerilmiş, bu birimlere bağlı olarak 12 araç ve 64 personelin görev yapması gerekliliği öngörülmüştür. Araçların toplamda 1,11 milyon km yol kat edecekleri ve şubelerde 25,20 milyon TL kasa ortalaması oluşacağı tahmin edilmiştir.

Çalışmamızda NYS'nin tasarımıyla ilgili ana faktörler inceleme konusu yapılmaya çalışılmış, tali unsur olarak görülen bazı faktörler ise göz ardı edilmiştir. Örneğin NYS'nin kullanılan süreçler ile organizasyon yapıları veri olarak alınmış ve

iyileştirmeye konu edilmemiştir. Ayrıca, nakit yönetim yapılanmasının üç katmanlı bir yapıdan oluştuğu varsayılmıştır. İlk katmanda bir merkezi birim, ikinci katmanda bölgesel birimler, üçüncü katmanda ise şubelerin bulunduğu bir durum inceleme konusu yapılmıştır. Bazı bankalarda bir kısım bölge birimlerinin ana birim, bir kısmının da bağlı birimlerden oluşan bölge yapılanmaları dolayısıyla dört katmanlı yapılanmaların bulunduğu bilinmektedir. Bu yapılanmalar için benzer tümleşik yöntem önerileri getirilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmamızda NYBB'lerin arasında ya da bunlarla merkezi birim arasındaki nakit hareketleri ve etkileşimler göz ardı edilmiştir. Buradaki temel kabullenme NYBB'nin gün sonundaki nakit noksan ya da fazlasını mahallindeki merkez bankası şubesi ya da acentesi aracılığı ile tasfiye edeceği şeklindedir. NYBB'nin mahallinde merkez bankası şubesi ya da acentesi olmaması durumunda burada oluşan fazla ya da noksanın da tasfiyesi ile ilgili yapılanma ve maliyetlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Şubelerde yalnızca Türk Lirası üzerinden oluşan nakit hareketleri dikkate alınmıştır. Ancak, bilindiği üzere Ülkemizde özellikle Dolar ve Avro da yoğun bir şekilde işlem görmektedir. Birden fazla para türünden kasa tutulması halinde şubelerde hangi kasa politikasının optimal olacağı hususu araştırmaya değer bir konu olmaktadır. Bu durumda nakit yönetim yapılanmasının ne yönde etkileneceği konusu da ilgi çekebilecektir.

Çalışmamızda ağırlıklı olarak yalnızca şubelerden oluştuğu varsayılmıştır. Ancak, bilindiği üzere ATM cihazlarında gerçekleşen nakdi işlem hacmi şube ile boy ölçüşebilir konuma gelmiştir. ATM cihazlarının bazı basit modifikasyonlarla çalışmamız kapsamında oluşturulan modele dâhil edilmesi mümkündür. Şube binasında yer alan ATM'lerdeki nakit hareketleri şube nakit hareketleri ile birlikte değerlendirilebilecektir. Zira bu şubelere verilen nakit hizmetleri şubelere bağlı ATM'lerden kaynaklanan talepleri de kapsamaktadır. Şubelerle aynı binada olmayan, harici ATM'lerin ayrı bir şube gibi ele alınması yeterli olacaktır.

Literatürde yerleşim, yönlendirme ve envanter yönetimi problemlerinin iki veya daha fazlasını bir modelde birleştiren çalışmalar son dönemde yoğun bir şekilde ilgi çekmiştir. Envanter yönetimini içeren çalışmalarda, envanterin merkez ya da bölge birimlerinde yer aldığı varsayımı yapılmakta olup, bu çalışmada ele alınan problem türlerinde ise envanter şubelerde oluşmaktadır. Bu nedenle belirtilen modellerin bankalardaki NYS tasarımında kullanılması mümkün görülmemektedir. Bununla birlikte, özellikle yerleşim ve yönlendirme problemlerinin birleştirildiği çalışmalarda son dönemde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak yerleşim ve yönlendirme problemlerinin yekpare bir modelde birleştirildiği, envanter yönetimi probleminin ise çalışmamızdaki gibi ayrı bir şekilde ele alındığı bir problemin araştırmaya değer olduğu düşünülmektedir. Yerleşim ve yönlendirme problemlerinin birlikte ele alınmasının önerdiğimiz yöntemle göre daha iyi sonuçlar üretebileceği düşünülmekle birlikte, birleşik modelin karmaşıklık düzeyinin artması nedeniyle yöntemin özellikle çok şubeli bankalarda uygulanması güçlük arz edecektir.

Çalışmamızda AYP’de belirlenen ana rotalarda toplamda kaç araca ihtiyaç duyulduğunu hesaplamak üzere ASBP isimli bir model de tasarlanmıştır. Belirtilen model Tümlşik Yöntemde diğer üç probleme bağımsız olarak ilave edilmiştir. Çalışmalarımız sırasında belirtilen modelin AYP’nin amaç fonksiyonuna eklenmesinin de mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda AYP’nin amaç fonksiyonu belirlenen rotaların olasılık hesaplamalarını da dikkate alarak ihtiyaç duyulan araç sayısının beklenen değerini ya da kat edilen yolun beklenen değerini minimize etmeye dönüşmektedir. Sözü edilen durumda amaç fonksiyonu doğrusal olmaktan çıkmakta ve bu nedenle de zorluk derecesi artmaktadır. Bununla birlikte, bazı ortak kısıtların Lagrange Çarpanları ile amaç fonksiyonuna eklenmesi halinde, problemin kolay çözülebilen parçalara ayrılabilirdiği ve Lagrange Gevşetmesi ya da Bender’in Parçalama yöntemi ile çözümlenebileceği gözlemlenmiştir. Belirtilen problemin çözümüne yönelik çalışmalar da önemli ve gerçek hayata uygulanabilir bir araştırma alanı olarak dikkat çekmektedir.

KAYNAKÇA

Kitaplar:

- Ahuja, Ravindra K., Thomas L. Magnanti ve James B. Orlin. **Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications**. 1. Basım. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- Cornuejols, Gerard, George L. Nemhauser ve Laurence A. Wolsey. "The Uncapacitated Facility Location Problem". Pitu B. Mirchandani ve Richard L. Francis (Ed.). **Discrete Location Theory** içinde. 1. Basım. Florida : John Wiley & Sons, 1989, ss. 119-171.
- DeGroot Morris H.. **Probability and Statistics**. 2. Basım. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1984.
- Drezner, Z ve H. Hamacher. **Facility Location: Applications and Theory**. 2. Basım. Berlin : Springer, 2002.
- Freixas, Xavier ve Jean-Charles Rochet. **Microeconomics of Banking**. 2. Basım. Cambridge : The MIT Press, 2008.
- Hines W. William ve Douglass C. Montgomery. **Probability and Statistics in Engineering and Management Science**. 2. Basım. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- Kallehauge, Brian, Jesper Larsen, Oli B. G. Madsen ve Marius M.Solomon. "Vehicle Routing Problem with Time Windows". Guy Desaulniers, Jacques Desrosiers ve Marius M. Solomon (Ed.). **Column Generation** içinde. 1. Basım. New York : Springer, 2005, ss.67-98.
- Lewis, Harry R. ve Christos H. Papadimitriou, **Elements of the Theory of Computation**. 1. Basım. New Jersey: Prentice-Hall, 1981.
- Mirchandani, Pitu B. "The p-Median Problem and Generalizations". Pitu B. Mirchandani ve Richard L. Francis (Ed.). **Discrete Location Theory** içinde. Florida : John Wiley & Sons, 1989, ss. 55-117.
- Mirchandani, Pitu B. ve Richard L. Francis (Ed.). **Discrete Location Theory**. 1. Basım. Florida : John Wiley & Sons, 1989.
- Nemhauser, George ve Laurence A. Wolsey. **Integer and Combinatorial Optimization**. 1. Basım. s.l. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- Toth, Paolo ve Daniele Vigo. **The Vehicle Routing Problem**. 1. Basım. Philedelphia : SIAM, 2001.

Winston, Wayne L.. **Operations Research Applications and Algorithms**. 2. Basım.
Boston: PWS-Kent Publishing Company, 1991, s.618.

Sürekli Yayınlar:

- Ahuja, R. K., J. B. Orlin, S. Pallottino, M. P. Scaparra ve M. G. Scutella. "A Multi-Exchange Heuristic for the Single-Source Capacitated Facility Location Problem". **Management Science**. Vol.50, No.6, June 2004, ss.749-760.
- Albareda-Sambola, Maria, Juan A. Diaz ve Elena Fernandez. "A Compact Model and Tight Bounds for a Combined Location-Routing Problem". **Computers & Operations Research**. Vol.32, No.3, March 2005, ss.407-428.
- Aldajani, Mansour A. ve Hesham K. Alfares. "Location of Banking Automatic Teller Machines Based on Convolution". **Computers & Industrial Engineering**. Vol.57, No.4, November 2009, ss.1194-1201.
- Ambrosino, Daniela ve Maria Grazia Scutella. "Distribution Network Design: New Problems and Related Models". **European Journal of Operations Research**. Vol.165, No.3, September 2005, ss.610-624.
- Ambrosino, Daniela, Anna Sciomachen ve Maria Grazia Scutella. "A Heuristic Based on Multi-Exchange Techniques for a Regional Fleet Assignment and Location-Routing Problem". **Computers & Operations Research**. Vol.36, No.2, February 2009, ss.442-460.
- Baltensperger, Ernst. "Alternative Approaches to the Theory of the Banking Firm". **Journal of Monetary Economics**. Vol.6, No.1, January 1980, ss.1-37.
- Bar-Ilan, Avner. "Trigger-Target Rules need not be Optimal with Fixed Adjustment Costs: A Simple Comment on Optimal Money Holding under Uncertainty". **International Economic Review**. Vol.31, No.1, February 1990, ss.229-234.
- Baumol, William J.. "The Transaction Demand for Cash: An Inventory Theoretic Approach". **The Quarterly Journal of Economics**. Vol.66, No.4, November 1952, ss.545-556.
- Berman, O. ve R. Huang. "Minisum Collection Depots Location Problem with Multiple Facilities on a Network". **The Journal of the Operational Research Society**. Vol.55, No.7, July 2004, ss.769-779.
- Berman, Oded ve Zvi Drezner. "A New Formulation for the Conditional p-Median and p-Center Problems". **Operations Research Letters**. Vol.36, No.4, July 2008, ss.481-483.
- Bischoff, Martin ve Kerstin Dachert. "Allocation Search Methods for a Generalized Class of Location-Allocation Problems". **European Journal of Operational Research**. Vol.192, No.3, February 2009, ss.793-807.
- Brandeau, Margaret L. ve Samuel S. Chiu. "An Overview of Representative Problems in Location Research". **Management Science**. Vol.35, No.6, June 1989, ss.645-674.

- Brotcorne, Luce, Gilbert Laporte ve Frederic Semet. "Fast Heuristics for Large Scale Covering-Location Problems". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.1, January 2002, ss.651-665.
- Chen, J. F. ve T. H. Wu. "Vehicle Routing Problem with Simultaneous Deliveries and Pickups". **Journal of the Operations Research Society**. Vol.57, No.5, May 2006, ss.579-587.
- Christofides, N. ve S. Elion. "An Algorithm for the Vehicle-Dispatching Problem". **Operational Research Quarterly**. Vol.20, No.3, September 1969, ss.309-318.
- Church, Richard L.. "BEAMR-An Exact and Approximate Model for the p-Median Problem". **Computers & Operations Research**. Vol.35, No.2, February 2008, ss.417-426.
- Clarke, G. ve J. W. Wright. "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points". **Operations Research**. Vol.12, No.4, July-August 1964, ss.568-581.
- Constantinides, George M. ve Scott F. Richard. "Existence of Optimal Simple Policies for Discounted-Cost Inventory and Cash Management in Continuous Time". **Operations Research**. Vol.26, No.4, July-August 1978, ss.620-636.
- Cornuejols, Gerard, Marshall L. Fisher ve George L. Nemhauser. "Location of Bank Accounts to Optimize Float". **Management Science**. Vol.23, No.8, April 1977, ss.789-810.
- Crevier, Benoit, Jean-François Cordeau ve Gilbert Laporte. "The Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Inter-Depot Routes". **European Journal of Operational Research**. Vol.176, No.2, January 2007, ss.756-773.
- Dantzig, G. B. ve J. H. Ramser. "The Truck Dispatching Problem". **Management Science**. Vol.6, No.1, October 1959, ss.80-91.
- Daskin, Mark S., Collette R. Coullard ve Zou-Jun Max Shen. "An Inventory-Location Model: Formulation, Solution, Algorithm and Computational Results". **Annals of Operations Research**. Vol.110, 2002, ss.83-106.
- Dearing, P.M. ve F.C. Newruck. "A Capacitated Bottleneck Facility Location Problem". **Management Science**. Vol.25, No.11, November 1979, ss.1093-1104.
- Desrochers, Martin, Jacques Desrosiers ve Marius Solomon. "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows". **Operations Research**. Vol.40, No.2, March-April 1992, ss.342-354.
- Dobson, Gregory ve Uday S. Karmarkar. "Competitive Location on a Network". **Operations Research**. Vol.35, No.4, July-August 1987, ss.565-574.

- Douglass, Moon I. ve Chaudhry S. Sohail. "An Analysis of Network Location Problems with Distance Constraints". **Management Science**. Vol.30, No.3, March 1984, ss.290-307.
- Duhamel, Christophe, Philippe Lacomme, Christian Prins ve Caroline Prodhon. "A GRASP x ELS Approach for the Capacitated Location-Routing Problem". **Computers & Operations Research**. Vol.37, No.11, November 2010, ss.1912-1923.
- Edson, Senne L.F., Lorena A.N. Luiz ve Pereira A. Marcos. "A Branch-and-Price Approach to p-Median Location Problems". **Computers & Operations Research**. Vol.32, No.6, June 2005, ss.1655-1664.
- Ekşioğlu, Burak, Arif Volkan Vural ve Arnold Reisman. "The Vehicle Routing Problem: a Taxonomic Review". **Computers & Industrial Engineering**. Vol.57, No.4, November 2009, ss.1472-1483.
- Elton, Edwin J. ve Martin J. Gruber. "On the Cash Balance Problem". **Operational Research Quarterly**. Vol.25, No.4, December 1974, ss.553-572.
- Eppen, Gary D. ve Eugene F. Fama. "Cash Balance and Simple Dynamic Portfolio Problems with Proportional Costs". **International Economic Review**. Vol.10, No.2, June 1969, ss.119-133.
- Eppen, Gary D. ve Eugene F. Fama. "Solutions for Cash-Balance and Simple Dynamic-Portfolio Problems". **The Journal of Business**. Vol.41, No.1, January 1968, ss.94-112.
- Eppen, Gary D. ve Eugene F. Fama. "Three Asset Cash Balance and Dynamic Portfolio Problems". **Management Science**. Vol.17, No.5, January 1971, ss.311-319.
- Federgruen, Awi ve Paul Zipkin. "A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem". **Operations Research**. Vol.32, No.5, September-October 1984, ss.1019-1037.
- Fernandez, J., P. Fernandez ve B. Pelegrin. "Estimating Actual Distances by Norm Functions - A Comparison Between the $l_{k,p,\theta}$ -norm and the $l_{b1,b2,\theta}$ -norm and a Study About the Selection of the Data Set". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.6, May 2002, ss.609-623.
- Fisher, Marshall L., Kurt O. Jörnsten ve Oli B. G. Madsen. "Vehicle Routing with Time Windows: Two Optimization Algorithms". **Operations Research**. Vol.45, No.3, May-June 1997, ss.488-492.
- Francis, Richard L., Leon F. McGinnis ve John A. White. "Locational Analysis". **European Journal of Operational Research**. Vol.12, No.3, March 1983, ss.220-252.

- Girgis, Nadia Makary. "Optimal Cash Balance Levels". **Management Science**. Vol.15, No.3, November 1968, ss.130-140.
- Goel, Asvin ve Volker Gruhn. "A General Vehicle Routing Problem". **European Journal of Operations Research**. Vol.191, No.3, December 2008, ss.650-660.
- Golden, B. L., T. L. Magnanti ve H. Q. Nguyen. "Implementing Vehicle Routing Algorithms". **Networks**. Vol.7, No.2, June 1972, ss.113-148.
- Golden, Bruce L. ve Arjang A. Assad. "Perspectives on Vehicle Routing: Exciting New Developments". **Operations Research**. Vol.34, No.5, September-October 1986, ss.803-810.
- Greenberg, Harvey J. ve William P. Pierskalla. "A Review of Quasi-convex Functions". **Operations Research**. Vol.19, No.7, (November-December 1971), ss.1553-1570.
- Greene, Clinton A. "The Management of Near-Money in the Miller-Orr Model is not Optimal". **Journal of Money, Credit and Banking**. Vol.24, No.3, August 1992, ss.399-404.
- Gunnar, Andersson, Richard L. Francis, Tomas Normark ve Brenda M. Rayco. "Aggregation Method Experimentation for Large-Scale Network Location Problems". **Location Science**. Vol.6, No.1, May 1998, ss.25-39.
- Gunnarsson, H., M. Rönnqvist ve D. Carlsson. "A Combined Terminal Location and Ship Routing Problem". **Journal of the Operational Research Society**. Vol.57, No.8, August 2006, ss.928-938.
- Gutierrez-Jarpa, Gabriel, Guy Desaulniers, Gilbert Laporte ve Vladimir Marianov. "A Branch-and-Price Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Deliveries, Selective Pickups and Time Windows". **European Journal of Operational Research**. Vol.206, No.2, October 2010, ss.341-349.
- Hakimi, S.L.. "Optimal Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Median Graph". **Operations Research**. Vol.12, No.3, May-June 1964, ss.450-459.
- Heyman, Daniel P.. "A Model for Cash Balance Management". **Management Science**. Vol.19, No.12, August 1973, ss.1407-1413.
- Hinderer, K. ve K.-H. Waldmann. "Cash Management in a Randomly Varying Environment". **European Journal of Operational Research**. Vol.130, No.3, May 2001, ss.468-485.
- Ioannou, G., M. Kritikos ve G. Prastacos. "A Greedy Look-Ahead Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows". **The Journal of the Operational Research Society**. Vol.52, No.5, May 2001, ss.523-537.

- Jaramillo, Jorge H., Joy Bhadury ve Rajan Batta. "On the Use of Genetic Algorithms to Solve Location Problems". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.6, May 2002, ss.761-779.
- Javid, Amir Ahmadi ve Nader Azad. "Incorporating Location, Routing and Inventory Decisions in a Supply Chain Network Design". **Transportation Research**. Vol.46, No.5, September 2010, ss.582-597.
- Klein, Michael A.. "A Theory of the Banking Firm". **Journal of Money, Credit and Banking**. Vol.3, No.2, May 1971, ss.205-218.
- Klibi, Walid, Alain Martel ve Adel Guitouni. "The Design of Robust Value-Creating Supply Chain Networks: A Critical Review". **European Journal of Operational Research**. Vol.203, No.2, June 2010, ss.283-293.
- Kohl, Niklas ve Oli B. G. Madsen. "An Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on Lagrangian Relaxation". **Operations Research**. Vol.45, No.3, May-June 1997, ss.395-406.
- Langohr, Herwig. "Alternative Approaches to the Theory of the Banking Firm : A Note". **Journal of Banking & Finance**. Vol.6, No.2, June 1982, ss.297-304.
- Laporte, G. ve A. Dasci. "An Analytical Approach to the Facility Location and Capacity Acquisition Problem under Demand Uncertainty". **Journal of the Operational Research Society**. Vol.56, No.4, April 2005, ss.397-405.
- Laporte, G. ve Y. Nobert. "An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depot Location". **European Journal of Operational Research**. Vol.6, No.2, February 1981, ss.224-226.
- Laporte, G., Y. Nobert ve P. Pelletier. "Hamiltonian Locations Problems". **European Journal of Operational Research**. Vol.12, No.1, January 1983, ss.80-87.
- Laporte, G., Y. Norbert ve D. Arpin. "An Exact Algorithm for Solving a Capacitated Location-Routing Problem". **Annals of Operations Research**. Vol.6, No.9, 1986, ss.293-310.
- Laporte, Gilbert, Juan A. Mesa ve Francisco A. Ortega. "Locating Stations on Rapid Transit Lines". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.6, May 2002, ss.741-759.
- Laporte, Gilbert, Yves Nobert ve Martin Desrochers."Optimal Routing under Capacity and Distance Restrictions". **Operations Research**. Vol.33, No.5, September-October 1985, ss.1050-1073.
- Lee, Jeong-Hun, Il-Kyeong Moon ve Jong-Heung Park. "Multi-Level Supply Chain Network Design with Routing". **International Journal of Production Research**. Vol.48, No.13, July 2010, ss.3957-3976.

- Little, J. D. C., K. G. Murty, C. Karel ve D. W. Sweeney. "An Algorithm for the Travelling Salesman Problem". **Operations Research**. Vol.11, No.6, November-December 1963, ss.972-909.
- Melo, M. T., S. Nickel ve F. Saldanha-da-Gama. "Facility Location and Supply Change Management - A Review". **European Journal of Operational Research**. Vol.196, No.2, July 2009, ss.401-412.
- Milbourne, Ross. "Optimal Money Holding under Uncertainty". **International Economic Review**. October 1983, Vol.24, No.3, ss.685-698.
- Milbourne, Ross. "Optimal Money Holding under Uncertainty: Reply". **International Economic Review**. Vol.31, No.1, February 1990, ss.235.
- Miller, Merton H. ve Daniel Orr. "A Model of the Demand for Money by Firms". **The Quarterly Journal of Economics**. Vol.80, No.3, August 1966, ss.413-435.
- Miller, Merton H. ve Daniel Orr. "The Demand for Money by Firms: Extensions of Analytic Results". **The Journal of Finance**. Vol.23, No.5, December 1968, ss.735-759.
- Mladenovic, Nenad, Jack Brimberg, Pierre Hansen ve Jose A. Moreno-Perez. "The p-Median Problem: A Survey of Metaheuristic Approaches". **Journal of Operational Research**. Vol.179, No.3, June 2007, ss.927-939.
- Nagy, G. ve S. Salhi. "Nested Heuristic Methods for the Location-Routeing Problem". **The Journal of the Operations Research Society**. Vol.47, No.9, September 1996, ss.1166-1174.
- Nagy, Gabor ve Said Salhi. "Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problem with pick ups and deliveries". **European Journal of Operational Research**. Vol.162, No.1, April 2005, ss.126-141.
- Nagy, Gabor ve Said Salhi. "Location Routing: Issues, Models and Methods". **European Journal of Operations Research**. Vol.177, No.2, March 2007, ss.649-672.
- Nazif, H. ve L. S. Lee. "Optimized Crossover Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows". **American Journal of Applied Sciences**. Vol.7, No.1, January 2010, ss.95-101.
- Neave, Edwin H.. "The Stochastic Cash Balance Problem with Fixed Costs for Increases and Decreases". **Management Science**. Vol.16, No.7, March 1970, ss.472-490.
- Porteus, Evan L.. "Equivalent Formulations of the Stochastic Cash Balance Problem". **Management Science**. Vol.19, No.3, November 1972, ss.250-253.

- Porteus, Evan L. ve Edwin H. Neave. "The Stochastic Cash Balance Problem with Levied Against the Balance". **Management Science**. Vol.18, No.11, July 1972, ss.600-602.
- Pringle, John J.. "A Theory of the Banking Firm: Comment". **Journal of Money, Credit and Banking**. Vol.5, No.4, November 1973, ss.990-996.
- ReVelle, C.S ve H.A. Eiselt. "Location Analysis a Synthesis and Survey". **European Journal of Operational Research**. Vol.165, No.1, January 2005, ss.1-19.
- Revelle, Charles S. ve Gilbert Laporte. "The Plant Location Problem: New Models and Research Prospects". **Operations Research**. Vol.44, No.6, November-December 1996, ss.864-874.
- Ricciardi, Nicoletta, Roberto Tadei ve Andrea Grosso. "Optimal Facility Location with Random Throughput Costs". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.1, January 2002, ss.593-607.
- Rosing, K. E. ve M. John Hodgson. "Heuristic Concentration for the p-Median: an Example Demonstrating How and Why It Works". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.10, September 2002, ss.1317-1330.
- Salhi, S. ve G. Nagy. "Consistency and Robustness in Location-Routing". **Studies in Locational Analysis**. June 1999, Vol.13, ss.3-19.
- Shen, Juo-Jin Max. "Integrated Supply Chain Design Models: A Survey and Future Research Directions". **Journal of Industrial and Management Optimization**. Vol.3, No.1, February 2007, ss.1-27.
- Solomon, Marius M.. "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints". **Operations Research**. Vol.35, No.2, March-April 1987, ss.254-365.
- Taillard, Eric D., Gilbert Laporte ve Michel Gendreau. "Vehicle Routeing with Multiple Use of Vehicles". **The Journal of the Operational Research Society**. Vol.47, No.8, August 1996, ss.1065-1070.
- Tobin, James. "The Interest-Elasticity of Transactions Demand for Cash". **The Review of Economics and Statistics**. Vol.38, No.3, August 1956, ss.241-247.
- Tüzün, Dilek ve Laura I. Burke. "A Two-Phase Tabu Search Approach to the Location Routing Problem". **European Journal of Operational Research**. Vol.116, No.1, July 1999, ss.87-99.
- Vasco, F. J., D. D. Newhart, K. L. Jr. Stott ve F. E. Wolf. "A Large-Scale Application of the Partial Coverage Uncapacitated Facility Location Problem". **Journal of the Operational Research Society**. Vol.54, No.1, January 2003, ss.11-20.

- Wang, Qian, Rajan Batta, Joyendu Bhadury ve Christopher M. Rump. "Budget Constrained Location Problem with Opening and Closing of Facilities". **Computers & Operations Research**. Vol.30, No.13, November 2003, ss.2047-2069.
- Wang, Shouu-Jiun, Joyendu Bhadury ve Rakesh Nagi. "Supply Facility and Input-Output Point Locations in the Presence of Barriers". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.1, January 2002, ss.685-699.
- Wen, Min, Jean-François Cordeau, Gilbert Laporte ve Jesper Larsen. "The Dynamic Multi-Period Vehicle routing Problem". **Computers & Operations Research**. Vol.37, No.9, September 2010, ss.1615-1623.
- Wu, Tai-Hsi, Chinyao Low ve Jiunn-Wei Bai. "Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems". **Computers & Operations Research**. Vol.29, No.10, September 2002, ss.1393-1415.
- Yeun, Liong Choong, Wan Rosmanira Ismail, Khairuddin Omar ve Mourad Zirour. "Vehicle Routing Problem: Models and Solutions". **Journal of Quality Management and Analysis**. Vol.4, No.1, October 2008, ss.215-218.
- Yu, Vincent F., Shih-Wei Lin, Wenyih Lee ve Ching-Yung Ting. "A Simulated Annealing Heuristic for the Capacitated Location Routing Problem". **Computers & Industrial Engineering**. Vol.58, No.2, March 2010, ss.288-299.
- Zhang, Lixun ve Gerard Rushton. "Optimizing the Size and Locations of Facilities in Competitive Multi-Site Service Systems". **Computers & Operations Research**. Vol.35, No.2, February 2008, ss.327-338.
- Annals of Operations Research**. "Location Problems: Special Edition". Vol.110, No.2, 2002, ss.1-181.
- Computers & Operations Research**. "Special Issue in Location Analysis". Vol.29, No.1, January 2002, ss.1-102.

Diğer Yayınlar:

- Azi, Nabila, Michel Gendreau ve Jean-Yves Potvin. “An Exact Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Use of Machines”. **Working Paper**. University of Montreal. 2008.
- Bo, Zhang, Ma Zujun ve Jiang Sai. “Location-Routing-Inventory Problem with Stochastic Demand in Logistics Distribution Systems”. **Working Paper**. Southwest Jiaotong University. Series No.2108, 2008.
- Calvete, Herminia I., Carmen Gale, Maria Jose Oliveros ve Belen Sanchez-Valverde. “Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows: An Optimization Based Approach”, **Monografias del Seminario Matematico Garcia de Galdeano**. Jaca/İspanya: UJ. 15-17 Eylül 2003, No.31, ss.295-304.
- Goel, Asvin ve Volker Gruhn. “Solving a Dynamic Real-Life Vehicle Routing Problem”. **Working Paper**. University of Leipzig. 2007.
- Hashimoto, H, T. Ibaraki, S. Imahori ve M. Yagiura. “Generalization of the Vehicle Routing Problem with Time Windows”. **Working Paper**. University of Kyoto. 2007.
- Kupriyanova, Irina. “A Vehicle Routing Problem with Time Windows and Shift Time Limits”, **Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi**. Technical University of Denmark, 2006.
- Li, Jin, Yunlong, Zhu ve Shen Hai. “An Improved Branch and Bound Algorithm for Location-Routing Problems”. **IEEE Computer Society Report**. Chongqing, 2009.
- Louis, Sushil J., Xiangying Yin ve Zhen Ya Yuan. “Multiple Vehicle Routing with Time Windows Using Genetic Algorithms”. **Working Paper**. University of Nevada, 1999.
- Vacca, Ilaria ve Matteo Salani. “The Vehicle Routing Problem with Discrete Split Delivery and Time Windows”. **Working Paper**. Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, 2009.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. **2010 Yılı Performans Programı**. Ankara, 2010.
- Türkiye Bankalar Birliği Banka. **Şube ve Personel Bilgileri**. İstanbul, 2003.
- Türkiye Bankalar Birliği Banka. **Şube ve Personel Bilgileri**. İstanbul, 2010.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. **Ağırlıklı Ortalama TL Mevduat Faiz Oranları**. Ankara, 2010.
- Observable Universe. 2010. www.wikipedia.org. (12 Aralık 2010).

2010 Yılı Asgari Ücretleri. 2010. www.muhasabenet.net. (13 Haziran 2010).

2495. **Bazı kurum ve kuruluşların güvenliklerinin sağlanması hakkındaki kanun.**
1981.