



**T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FUTBOLDA ETKİN HÜCUM ROTALARININ BELİRLENMESİ  
İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL  
ÖNERİSİ VE ÇÖZÜMÜ**

**Kenan MENKÜÇ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**Danışman**

**Doç. Dr. Tarkan KÜÇÜKDENİZ**

**Haziran, 2018**

**İSTANBUL**

Bu çalışma, 18.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

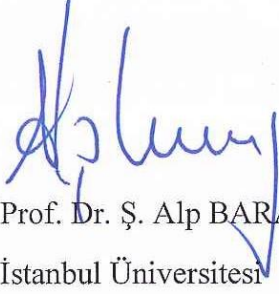
**Tez jürisi:**



Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ (Danışman)

İstanbul Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Ş. Alp BARAY

İstanbul Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Şakir ESNAF

İstanbul Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Ersin NAMLI

İstanbul Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Zeynep GERGİN

İstanbul Kültür Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Çocukluk anlarından başlayarak hayatımızın her anına şahitlik eden futbol, artık bir oyun olmanın ötesinde başlı başına büyük bir endüstri koluna dönüşmüştür. Başarıların önemli maddi karşılıklar ile ödüllendirildiği organizasyonların izlenme düzeyi artmaya devam etmektedir. Bu tez çalışmasının konusu bugün dünyanın neredeyse her kesimini heyecanlandıran futboldaki saha içi organizasyonlar, tezin amacı ise bu pas organizasyonları için etkili bir atak rotası belirleyebilecek model geliştirmektir.

Bu tez çalışmasında saha içerisindeki meşin yuvarlağın etkili hücum rotasını belirlemek amaçlanmıştır. Pas akışı tıpkı bir kargonun taşınması gibidir. Bu kapsamda topun izlediği rota için farklı veriler türetilerek sonuçlar belirli pozisyonlar ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada cesaretimi kırmayıp bana desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Tarık Küçükdeniz'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu yolculukta hep yanımda olan aileme, eşime ve oğlum Tarık Tevfik'e kocaman bir teşekkür etmek isterim.

Haziran, 2018

Kenan Menküç

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ .....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET .....	xii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>4</b>
2.1. FUTBOLUN TARİHİ.....	4
2.1.1. Türkiye’de Futbol.....	7
2.2. SPOR VE FUTBOL ÜZERİNE YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR ...	7
2.3. VERİLERİN GÜVENİRLİĞİ.....	11
2.4. AKTARIM PROBLEMİ .....	11
2.5. DAVRANIŞSAL YAKLAŞIM .....	15
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>18</b>
3.1. VERİLERİN TOPLANMASI .....	18
3.1.1. Programın Akış Şeması.....	18
3.1.2. Oyuncuların Pas Performans Verilerinin Toplanması.....	20
3.2. PAS STRETEJİSİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL .....	26
3.2.1. Başlangıç Ve Bitiş Bölgelerinin Belli Olduğu Topun Akış Problem ...	27
3.2.2. Başlama ve Bitiş Noktalarının Opsiyonel Olduğu Topun Akış Problemi .....	30
3.2.3 Maç İçerisindeki Atağın Başladığı Bölge ile Topun Akış Problemi .....	33
<b>4. UYGULAMA.....</b>	<b>36</b>
4.1. İSTANBUL BAŞAKŞEHİR FUTBOL KULÜBÜ.....	36
4.1. VERİLERİN TOPLANMASI .....	37
4.2. ÖNERİLEN MODELİN GENEL PROBLEMİ.....	46
4.2.1. Başlangıç ve Bitiş Bölgelerinin Belli Olduğu Top Akış Probleminin Çözümü.....	47

4.2.2. Başlama ve Bitiş Noktalarının Opsiyonel Olduğu Topun Akış Probleminin Çözümü.....	54
4.3. ÖNERİLEN MODELİN GERÇEKLEŞMİŞ BİR ATAK İLE BENZETİMİ .....	59
4.3.1. 25. Dakikadaki Pozisyon.....	61
4.3.2. 26. Dakikadaki Pozisyon.....	66
4.3.3. 45. Dakikadaki Pozisyon.....	70
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>75</b>
5.1. DEĞERLENDİRME .....	75
5.2. GELİŞTİRME ÖNERİSİ .....	76
5.3. YENİLİKÇİ YÖNÜ.....	77
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>78</b>
EK 1. Son Dönem Dal Sınır Algoritma Çalışmaları.....	82
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>84</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: 18. yüzyılda venedik'te İtalyan calcio'su.(Gashi, 2015) .....	5
Şekil 2.2: Yüzdeli datalar ve zaman mekansal datalar (Gudmundsson ve Horton, 2017) .9	9
Şekil 2.3: Aktarım problemi şeması .....	12
Şekil 3.1: Model akış şeması .....	19
Şekil 3.2: Futbolcunun yapmış olduğu pas şekiller.....	20
Şekil 3.3: Bir bölgeden diğer bölgeye pas akışı .....	24
Şekil 3.4: Volkan Babacan'ın 2016/17 sezonu pas noktaları.....	25
Şekil 3.5: Örnek soru şekli.....	32
Şekil 4.1: İsabetli, isabetsiz ve kilit paslar .....	37
Şekil 4.2: Oyuncu için pas verileri .....	38
Şekil 4.3: Oyuncu için pas verileri metre olarak gösterimi .....	38
Şekil 4.4: Doğrusal ve üstel yaklaşım ile veri üretimi.....	41
Şekil 4.5: 11 oyuncunun 2016/17 sezonu pas noktaları .....	42
Şekil 4.6: Futbol sahası ideal ölçüleri.....	44
Şekil 4.7: Bir futbol sahasının 60 ayrı bölgeye bölünmesi .....	44
Şekil 4.8: Opensolver solver seçim .....	46
Şekil 4.9: OpenSolver uygulaması .....	47
Şekil 4.10: Önerilen modelin sonuç rotası.....	50
Şekil 4.11: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	51
Şekil 4.12: Önerilen modelin sonuç rotası.....	52
Şekil 4.13: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	52
Şekil 4.14: Önerilen modelin sonuç rotası.....	53
Şekil 4.15: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	53
Şekil 4.16: Önerilen modelin sonuç rotası.....	57

Şekil 4.17: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	57
Şekil 4.18: Önerilen modelin sonuç rotası.....	58
Şekil 4.19: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	59
Şekil 4.20: Bursaspor Başakşehir F.K. maç kadrosu.....	60
Şekil 4.21: 2016/17 sezonu 2.hafta'nın ortalama oyuncu pozisyonları .....	60
Şekil 4.22: 25. dk. daki pozisyon .....	61
Şekil 4.23: Oyunun atak rotası rotası.....	62
Şekil 4.24: Önerilen modelin sonuç rotası.....	63
Şekil 4.25: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	63
Şekil 4.26: Önerilen modelin sonuç rotası.....	64
Şekil 4.27: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	64
Şekil 4.28: Önerilen modelin sonuç rotası.....	65
Şekil 4.29: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	65
Şekil 4.30: 26. Dk. daki pozisyon .....	66
Şekil 4.31: Oyunun atak rotası rotası.....	67
Şekil 4.32: Önerilen modelin sonuç rotası.....	68
Şekil 4.33: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	68
Şekil 4.34: Önerilen modelin sonuç rotası.....	69
Şekil 4.35: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	69
Şekil 4.36: 45. dk. daki pozisyon .....	70
Şekil 4.37: Oyunun atak rotası rotası.....	71
Şekil 4.38: Önerilen modelin sonuç rotası.....	72
Şekil 4.39: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	72
Şekil 4.40: Önerilen modelin sonuç rotası.....	73
Şekil 4.41: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.....	74



## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 1.1:</b> Premier Lig Yabancı Kulüp ortaklığı Tablosu.....	1
<b>Tablo 2.1:</b> Futbolun profesyonelleşme süreci ( Akşar, 2006).....	6
<b>Tablo 2.2:</b> Türkiye'deki profesyonel lig süreci.....	7
<b>Tablo 3.1:</b> Pasların koordinatları.....	21
<b>Tablo 3.2:</b> Pasların yönleri ve mesafeleri.....	21
<b>Tablo 3.3 :</b> Başarısız pas yönleri ve mesafeleri .....	22
<b>Tablo 3.4 :</b> Başarılı pas yönleri ve mesafeleri .....	22
<b>Tablo 3.5:</b> Örnek problem çözümü .....	33
<b>Tablo 4.1:</b> 2016/17 sezonu puan durumu .....	35
<b>Tablo 4.2:</b> 2016/17 sezonu Başakşehir F.K. oyuncularının ortalama pas yüzdesi .....	39
<b>Tablo 4.3:</b> 2016/17 sezonu Başakşehir F.K. ortalama pas mesafesi.....	40
<b>Tablo 4.4:</b> 2016/17 Sahadaki 22. bölgeye etki eden pas durumu .....	45
<b>Tablo 4.5:</b> Başlangıç ve bitiş noktaların belli olduğu problemin doğrusal puanlamayla çözümü .....	50
<b>Tablo 4.6:</b> Başlangıç ve bitiş noktaların belli olduğu problemin üstel puanlamayla çözümü .....	51
<b>Tablo 4.7:</b> Başlangıç ve bitiş noktaların belli olduğu problemin üstel puanlamayla çözümü.....	53
<b>Tablo 4.8:</b> Başlangıç ve bitiş opsiyonel olduğu problemin doğrusal puanlamayla çözümü.....	57
<b>Tablo 4.9:</b> Başlangıç ve bitiş opsiyonel olduğu problemin üstel puanlamayla çözümü ...	58
<b>Tablo 4.10:</b> Önerilen model için gerçekleşmiş bir atağın rotası.....	61

<b>Tablo 4.11:</b> Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü. ....	62
<b>Tablo 4.12:</b> Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü .....	63
<b>Tablo 4.13:</b> Gerçek bir atağın önerilen model de üstel puanlamayla çözümü .....	65
<b>Tablo 4.14:</b> Önerilen model ile gerçek bir atağın rotası.....	67
<b>Tablo 4.15:</b> Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü .....	67
<b>Tablo 4.16:</b> Gerçek bir atağın önerilen model de üstel puanlamayla çözümü. ....	69
<b>Tablo 4.17:</b> Önerilen Modelin Gerçek Bir Atağın Rotası .....	71
<b>Tablo 4.18:</b> Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü.. ....	71
<b>Tablo 4.19:</b> Önerilen Modelin Gerçek Bir Atağın Üstel Puanlamayla Çözümü .....	73

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CBC	: COIN-OR branch and cut
COIN-OR	: Computational infrastructure for operations research
Dk.	: Dakika
DSA	: Dal sınır algoritması
GSP	: Gezgin satıcı problemi
KTP	: Karma tamsayı programlama
LP	: Lineer programlama
NP-Zor	: Non-deterministic polynomial-time

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# FUTBOLDA ETKİN HÜCUM ROTALARININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ VE ÇÖZÜMÜ

Kenan MENKÜÇ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ

Futbol, her geçen gün büyüyen bir endüstridir. Büyüme olgusu beraberinde yeni statların yapılmasını, milyar Dolarları aşan yayın ihalelerini, promosyon ürünlerini, sponsorluk anlaşmalarını ortaya çıkarmakla kalmamış; ölçümleme ve enformasyon sağlama amaçlı uygulamalar da gündeme gelmiştir. Böylece çeşitli bilim alanlarında uygulamalarını gördüğümüz veri toplama ve toplanan veriyi amaca uygun olarak değerlendirme işlemleri futbol alanına da taşınmıştır. Sonuç olarak çeşitli ölçümleme firmalarının veri pazarladıkları yeni bir iş alanı oluşmuştur. Bu tezin yöntemi, bir futbol müsabakasında üretilmiş verilerin “dal sınır” algoritmasına göre çözümlenmesidir ve bu yöntemle bir futbol takımı için etkili hücum rotası belirlemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda aktarım problemlerine daha uygun bulunduğu için topun etkili bir şekilde taşınması problemi konu olarak seçilmiştir. Buna uygun şekilde de topu hücum hattına taşıyacak en verimli rotayı tespit etmek amaçlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek amacıyla aktarım problemini futbola uyarlayabilmek için bazı değişiklikler yapılmıştır. Öncelikle futbol sahası 60 eşit ve ayrı alana bölünerek topun bu alanlar arasındaki aktarımı sağlanmıştır. Futboldaki “duvar pası” yani bir oyuncunun topu bir diğer oyuncuya verip tekrar geri alması uygulamasına aktarım problemlerinde rastlanmaz. Bu uyarlamayı yapabilmek için bölgesel aktarımlar ve çoğu bölge için iki oyuncu ataması gibi uygulamalara gidilmiştir. Sonuçta gerçek atak rotaları ile karşılaştırmalar yapılmış ve bazı rotaların büyük benzerlikler taşıdığı görülmüştür.

Haziran 2018, 99 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Aktarım problemi, optimizasyon, zaman-uzamsal veri, dal sınır algoritması, futbol.

## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **A MATHEMATICAL MODEL SUGGESTION AND SOLUTION FOR DETERMINING EFFECTIVE OFFENSIVE ROUTINGS IN FOOTBALL**

**Kenan MENKÜÇ**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Tarık KÜÇÜKDENİZ**

The recent growth of the soccer industry is remarkable. This growth has also resulted in the construction of many new stadiums in Turkey. Broadcasting deals are just one side of this industry, while game tickets, textile products, advertising contracts, and sporting goods are the other side. Interest in new business areas within soccer have grown so much. In the last season, sports measurements made by companies have resulted in the production of much new data. By companies marketing their own data, a new business area has been created. The method of this thesis is to analyze the data generated in a soccer competition according to the "branch and bound " algorithm and aim at determining an effective attack route for a soccer team. This study aims to make an optimization in the field using these acquired data. The problem of transporting the ball effectively shows great similarities to the transshipment problem. The aim of this study is to find the most efficient route for carrying the ball to the offensive line. The transshipment problem, which is the starting point of the study, has similarities with soccer, with a few changes being made. The soccer field has been divided into 60 separate areas, and the ball is transferred among these areas. Wall pass, a term that has been encountered so far in soccer, has been included in the emerging routes. Passing the ball to another player and then taking it right back is not a problem in transferring issues. To ensure this, regional transfers and two players have been assigned to most regions. The results have been compared with a real attack route, and some routes are understood to have great similarities.

June 2018, 99 pages

**Keywords:** Transshipment problem, optimization, spatio-temporal data, branch and bound algorithm, soccer.

## 1. GİRİŞ

Brezilyalı futbolcu Sokrates, 1984 yılında Fiorentina Kulübü'ne transfer olduktan sonra kendisine yöneltilen “En çok hangi İtalyan futbolcuya saygı duyuyorsun? Sandro Mazzola mı yoksa Gianni Rivera mı?” sorusuna “Onları tanımam. Ben Gramsci’yi orijinal dilinden okumak ve işçi hareketleri tarihini çalışmak için buradayım” şeklinde cevap vermiştir (Bardaro, 2017). Kuzey yarımkürede Haziran 2016 itibarıyla 335.878 vatandaşı bulunan İzlanda, 2016 yılında UEFA’nın 4 yılda bir düzenlediği EURO 2016’ya katıldı. İzlanda Millî takımı bu turnuvadaki en kritik müsabakasına çıkacaktı. Ülke nüfusunun sadece %10’luk bir kısmı organizasyonun düzenlendiği Fransa’da bulunmaktaydı. Belki de birçok çalışan bu organizasyon için aylar öncesinden yıllık iznini almıştı. Bu süre zarfındaki bir diğer önemli gelişme ise maçtan bir gün önce 26 Haziran’da yapılacak Başkanlık seçimi idi. Seçimi kazanan Gudni Johannesson, Pazartesi günü maçı izleyenlerle beraberdi. Futbolun gelişimine katkı sağlayan ülkelerin başında gelen İngiltere’de 28 Şubat 2015 tarihinde yapılan yayın ihalesi, bir önceki ihaleye göre %70 oranında bir artış ile 2016/17, 2017/18 ve 2018/19 sezonları için 5 milyar 136 milyon Poundluk bir bedel ile neticelendirildi. 31 Aralık 2017 tarihinde oynanan Crystal Place-Manchester City ve West Bromwich Albion-Arsenal maçları ile 1 Ocak 2018’de 10 takımın oynadığı 5 maç ve bunların tatil döneminde oynanmalarına rağmen geniş kitleler tarafından izlenmesi, yayın hakkı için ödenen bu yüksek meblağın nedenini açıklar niteliktedir.

**Tablo 1.1:** Premier lig yabancı kulüp ortaklığı tablosu.

<b>Premier Lig Yabancı Ortaklığı Olan Kulüpler</b>	<b>Kulübün Sahibi ya da Ortağı</b>
Manchester City	Mansur Bin Zayed El Nahyan (B.A.E)
Fulham	Shahid Khan (PAKİSTAN)
Arsenal	Stan Kroenke (ABD)
Aston Villa	Randy Lerner (ABD)
Cardiff City	Vincent Tan (MALEZYA)
Chelsea	Roman Abramovich (RUSYA)
Hull City	Assem Allam (MISIR)
Liverpool	John W. Henry (ABD)
Manchester United	Malcolm Glazer (ABD)
Sunderland	Ellis Short (ABD)



Tablo1.1 Premier Ligde yer alan bazı takımların sahiplerinin yada bu takımların büyük ortaklarının ülkenin dışından olduğunu göstermektedir. Ayrıca yine Tablo 1.1’de görülen duruma benzer bir yönelim başka ülkelerde de söz konusudur. Örneğin İtalya’da FC Internazionale Milano’nun büyük ortağı Çin’li Zhang Jindong ile AC Milan’ın sahibi Çin’li Yonghong Li de Premier Lig’dekine benzer şekilde futbolun bir yatırım aracı olarak yaygınlığını göstermektedir. Yakın dönemde bazı ülkelerde futbola yönelik ilgiyi arttırmak için ciddi yatırımlar yapılmaya başlanmıştır.

Futbol son dönemde bazı ülkeler için popüler kültür olarak yükselen bir değer olmanın yanında önemli maddi yatırımlara da zemin olmaktadır. Bunlar arasında öne çıkan ülke Çin’dir. Çin Ligi’ne transfer olan bazı oyuncuların transfer ücretleri yatırımın boyunu göstermektedir. 2016 yılı sonunda Çin’e transfer olan Carlos Tevez, o tarihte en yüksek maaş alan futbolcu unvanına sahip olmuştur.

- Oscar dos Santos Emboaba Júnior – (Shanghai SIPG): 70,5 milyon Euro
- Givanildo Vieira de Souza – (Shanghai SIPG) : 56 milyon Euro
- Alex Teixeira (Jiangsu Suning): 46 milyon Euro
- Jackson Martinez (Guangzhou Evergrande): 42 milyon Euro

Taraftarlık; aile içi aidiyet/gelenek aktarımı, akran etkisi ya da medyanın etkisiyle gelişen bir duygudur. Futbol, artık bir spor aktivitesi olmanın ötesine geçerek seyirlik ve eğlencelik bir faaliyete dönüşmüştür. Taraftarlığın gündelik hayattaki sunumu, beraberinde büyük bir futbol endüstrisini ortaya çıkarmıştır. Yazınsal ve görsel futbol medyasının ulaştığı büyüklük, yeni iletişim araçlarında, özellikle sosyal medyada, güçlü kimlikler oluşturulması futbolun gündelik hayattan çıkarılamayacak kadar büyüdüğünü göstermektedir.

Futbol ekonomik etkileşimin yanında toplumsal unsurlarla da iç içe geçmeye başlamıştır. Futbolda artık küresel göç, toplumsal tabakalaşma gibi sosyolojik olgulardan da bahsetmek mümkündür. Bu kapsamda futbol, ekonomik getirisinden öte, ortaya çıkardığı toplumsal statü ile daha da önemli bir noktaya taşınmaktadır. Sosyolojik, endüstriyel, finansal, siyasal açıdan irdelenen futbol bu çalışma için sahanın dışındaki kısımdır ancak saha içinde kazanılan her başarı sahanın dışında çok fazla etki uyandırmaktadır. Bu noktada bu tez çalışması sahadaki başarıyı arttırmayı amaçlar.

Futbol, saha içi organizasyonu ve yapılanması gittikçe karmaşıklaşan başarı/kazanma odaklı bir spordur. Başarıyı getiren etkenler ise artık standartlaşmaya doğru bir seyir takip etmektedir. Bu tezin konusu bakımından kazanmayı sağlayan bu etkenlerden birisi de bireysel oyundan ve beceriden öte takımın bir bütün olarak nasıl hareket ettiği ve nasıl bir organizasyon ortaya koyduğudur. Takım olgusunu düzenlemek ve mükemmelleştirmek için de her oyuncunun ne yapacağıın oyun öncesinde planlanması gerekecektir. Bu planlama da çağdaş dönemde veriyi gerekli kılmaktadır. Artık futbol, bir veri depolama sürecine dayalı olarak oynanmaktadır. Çeşitli ve karmaşık ölçüm teknikleriyle oyuncuların neredeyse her hareketi kayıt altına alınmaktadır. Bu kapsamda bir takımın gerek kendisi için gerekse de rakipleri noktasında oldukça fazla sayıda veri kaydedilmektedir. Oynanmış bir oyunla ilgili veriler aslında sonraki oyunlar için taktik ve strateji üretilmesi noktasında anlamlı hâle gelmektedir. Bu tez çalışmasında bir futbol takımı için kaydedilmiş veriler kullanılarak bu takımın ileriki maçları kazanması hedefine yönelik etkili stratejik yolları belirlemek amaçlanmaktadır.

Futbol yorumcuları da bu veri kaydı sürecine kayıtsız kalamamış, zorunlu olarak analizleri, veri depolayan aracı kurumların verileri üzerinden yürütmeye başlamışlardır. Bu analizlerde sahanın belli bölgelere ayrıldığı görülmekte olup topun hangi bölgede nasıl hareket ettiği üzerinden antrenörler tarafından analizler yapılmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasında da problemin çözümü için oyun sahası her biri yaklaşık 11 metre karelik bir alandan oluşan 60 eşit parçaya bölünmüştür. Mevcut veriler arasında bir model oluşturabilmek için buna uygun veri seti seçilmiştir. Oyuncuların oynamış oldukları karşılaşmalarda ortaya çıkan performanslarını belirlemek amacıyla öncelikle saha içi pas istatistikleri belirlenmiştir.. Bu veri kullanılarak her bir oyuncu için dört ayrı yöne pas verme başarısını hesaplayan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile elde edilen bu veriler bir aktarım problemi olarak modellenmiş ve hücum organizasyonu rotasını bulmayı amaçlayan bir matematiksel model kullanılarak, takım içi en iyi atak rotası belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde öncelikle 2.1’de futbol tarihi ve Türkiye’de futbolun gelişim süreci incelenmiştir. 2.2’de ise, spor ve futbol hakkında literatür taraması yapılmıştır. 2.3’de bu çalışma için önerilen modelde kullanılan verilerin güvenilirliği hakkında bir literatür taraması yapılmıştır. 2.4’de ise, önerilen matematiksel modelin çıkış noktası olan aktarım problemlerinin literatürüne yer verildi. 2.5’de futbol sahası ve oyuncuların durumuyla benzerlikler taşıyan davranışçı yaklaşım incelenirken 2.6’da problemin çözümü için gerekli araç hakkında bir literatür sunulmuştur. Bu çalışmada konu edinilen futbol topunun saha içerisindeki etkin akış probleminin Bölüm 3’de erişilebilecek yeni bir metodoloji önerilmiştir.

### 2.1. FUTBOLUN TARİHİ

Futbol, günümüzde, dünya üzerindeki hemen herkesi doğrudan ya da dolaylı şekilde etkileyen devasa bir endüstridir. Kitleler için önemli bir sosyalleşme aracı olarak futbol, sadece aynı ülkenin vatandaşları arasında değil, farklı ülkelerde yaşayan ve farklı dilleri konuşan insanlar arasında da iletişim aracı misyonu taşımaktadır. Futbol terimleri pek çok dilde ortak kullanılmaktadır. Futbola artan ilgi, futbolu endüstriyel anlamda hatırı sayılır bir sermaye ağına dönüştürmüştür. Gerek transfer ücretleri, gerek yayın hakları için ödenen rakamlar, ürün ve bilet satışlarından elde edilen hasılatlar ve sponsorluklar yoluyla futbol, çok büyük bir ekonomik etkinlik oluşturmaktadır. Futbol bu noktaya önemli değişimler ve dönüşümler geçirerek gelmiştir.

Futbol, ilk olarak Çin’de M.Ö. 2000’li yıllarda “Tsu Chu” adı altında topun ayakla oynandığı bir oyun şeklinde ortaya çıkmıştır (Yücel, 2010). M.Ö. 100 civarında ise Romalılar ile Araplar arasında belli kurallar çerçevesinde topa ayakla vurmak suretiyle bir oyunun oynandığı, Yunanlıların bunu askerî eğitimlerde 15 kişilik takımlar hâlinde oynadığı ve bu oyuna da “Episkyres” adı verildiği bilinmektedir (Ongan ve Demiröz, 2010). M.S. 7. yüzyıla gelindiğinde Japonya’da oynanmaya başlanan Kamberi oyunu –rakibin olmadığı ve topu sektirme esasına dayanan bir oyun– ile karşılaşılmaktadır (Bozdemir, 1998). Bu oyun günümüzde Japonya’da geleneksel bir oyun olarak festivallerde oynanmaktadır.

11. yüzyılda Kaşgarlı Mahmut, “Divan-ı Lügâti’t-Türk” adlı eserinin ilk cildinde Orta Asya’da böyle bir oyunun varlığından bahsetmiş ve isminin “tepük” olduğunu eserinde yazmıştır. İtalyancada tepme kelimesi ile aynı anlama gelen “calcio” ise İtalya’da 15. yüzyıl civarında

sadece soyluların oynadığı bir oyundur. Şekil 2.1’de İtalyan calcio’su resmedilmiştir. Ancak bu oyunun da Fransa’da halkın topla oynadığı geleneksel “la Soule” adlı oyunla benzerlikler taşıdığı anlaşılmaktadır (Stemmmler, 2000). 16. ve 17. yüzyıllara gelindiğinde futbol artık Avrupa’da bilinen bir oyun hâline gelmiş ve İtalya, Fransa, İngiltere ve İskoçya’da yaygın olarak oynanmıştır.



Şekil 2.1: 18. yüzyılda Venedik’te İtalyan calcio’su (Gashi, 2015).

1841 yılında İngiltere’de futbol topunun tam küre şeklinde olması kararı futbolun kurallı bir oyun haline dönüşme sürecinin başlangıcı olarak kabul edilir. 1848’de “Cambridge Kuralları” adı altında futbol kuralları toplanmış ve bu kurallarla ilk futbol maçı Cambridge’de üniversite öğrencileri arasında oynanmıştır. 1857’de Sheffield Club, ilk futbol kulübü olarak kurulmuş; futbolun hızla yayılması üzerine İngiltere Futbol Federasyonu’nun kurulmasına karar verilmiştir (Çakmak, 2014). Futbolun günümüzdeki hâline gelme serüveni, “Futbol Ekonomisi” adlı eserde Tablo 2.1’deki gibi özetlenmiştir (Akşar ve Merih, 2006):

**Tablo 2.1:** Futbolun profesyonelleşme süreci.

1841	Futbol topunun şeklinin küre olarak kabul edilmesi
1848	“Cambridge Kuralları” adı altında futbol kurallarının toplanması ve Cambridge’de üniversite öğrencileri arasında ilk kurallı futbol maçının oynanması
1855	Bir İngiliz takımının ilk kez yurtdışına çıkarak futbol oynaması ve Almanya’da futbolun temelini atılması
1857	Dünyadaki ilk futbol kulübü Sheffield Club’ın kuruluşu
1863	İngiltere Futbol Federasyonu’nun kuruluşu
1870	Portekiz’de ticaret yapan İngilizlerin burada futbolu yaymaya başlamaları
1871	İngiltere Federasyon Kupası’nın başlaması
1872	İngiltere-İskoçya arasında oynanan ilk millî maç
1875	Kalelere üst direk konulması ve topa kafayla vurulmasına izin verilmesi
1876	Korner kuralının kabulü
1879	Glasgow’dan Darwen’e parayla transferi ile profesyonel futbolculuğun başlaması
1882	Futbol kurallarında değişiklik yapmaya yetkili International Board’un kurulması
1885	Profesyonelliğin İngiltere’de resmen kabulü
1886	Ofsayt kuralının kabulü
1889	Danimarka ve Hollanda’da futbol federasyonlarının kurulması
1890	Futbol maçlarında tam yetkinin hakemlere verilmesi
1891	Penaltının kabulü
1893	Amerika kıtasında ilk futbol federasyonunun Arjantin’de kurulması
1895	İngiltere’de kadınların ilk futbol maçını oynaması
1899	Sürenin 90 dakika, ölçülerin 118,4 x 91,4 metre olarak belirlenmesi
1901	Sheffield United-Tottenham Hotspur federasyon kupası finalini 110.802 kişinin izlemesi
1902	İngiltere dışında oynanan ilk milli maçta Avusturya’nın Macaristan’ı 5-0 yenmesi
1904	FIFA’nın kurulması
1906	Kıtalar arası ilk millî maçta Güney Afrika’nın Brezilya’yı Brezilya’da 5-0 yenmesi
1903	Averajın kabulü
1907	Kendi sahasında bulunan bir futbolcunun ofsayt sayılmamasının kabulü
1908	Londra Olimpiyat Oyunları’nda futbolun dâhil edilmesi

21 Mayıs 1904 tarihinde kurulan FIFA, hâlihazırda 209 üyeye sahiptir. 1929'da Barcelona'da düzenlenen kongrede alınan karar ile ilk dünya kupası organizasyonu 1930 yılında 13 ülkenin katılımı ile Uruguay'da yapılmış ve kupayı finalde Arjantin'i 4-2 yenen Uruguay kazanmıştır. Avrupa'da ise UEFA, 15 Haziran 1954 tarihinde İsviçre'de kurulmuştur ve şu an Türkiye'nin de dâhil olduğu 54 üye ülke ile uluslararası bir spor kurumu olarak hizmet vermektedir.

### 2.1.1. Türkiye'de Futbol

Türkiye özelinde Türkiye Futbol Federasyonu (TFF), kendi kurumsal yapısını Tablo 2.2'de şöyle anlatmaktadır:

**Tablo 2.2:** Türkiye'deki profesyonel lig süreci.

1959	Türkiye 1. Futbol Ligi başlangıç tarihi
1959	8 takımlı kırmızı ve beyaz grupların olduğu ilk organizasyon düzenlenir ve ilk şampiyon Fenerbahçe olur.
1959	1959-1960 sezonu itibari ile tek grupta müsabakalar oynanır.
1987	1987-1988 sezonundan başlayarak artık galibiyetler 2 puan yerine 3 puan olarak değerlendirilir.

Hâlihazırda 18 takımın mücadele ettiği Türkiye liginde son 3 takım bir alt lige düşerken ilk 2 takım UEFA'nın düzenlediği Şampiyonlar Ligi'ne gitme hakkını elde etmektedir.

## 2.2. SPOR VE FUTBOL ÜZERİNE YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Sporda optimizasyon alanında Wright'ın (2009) yapmış olduğu çalışma, son 50 yılda yapılan yöneylem araştırması çalışmalarının varlığını göstermektedir. Bu spor dalları futbol, Amerikan futbolu, tenis, kriket, basketbol, beysbol ve olimpik oyunlardır. Ayrıca bu süreç içerisinde oyunların kuralları değişim göstermiş, oyun içinde değişen kurallar izleyicinin ilgisini daha fazla çekecek hâle getirilmiştir. Takeuchi ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan kolektif bir çalışmada, voleybolun günümüzdeki şeklini alana kadar üç ayrı oyun modeli uygulandığını ve son hâlinin, yani günümüzdeki kurallarla oynanan oyunun, daha hızlı oynandığını matematiksel olarak ortaya koyulmuştur.

Son dönemdeki uygulamalar dinamik örnekler sunmaktadır. Barghi'nin (2015) Ottawa Üniversitesinde yaptığı bir çalışma, oyunun statik değil dinamik bir temelini olduğunu ortaya koymuş ve oyunu 2, 3, 7 ve hatta 99 devreye bölerek her devrede her bir futbolcu için farklı bir

değerlendirme ortaya koymuştur. Daha sonra bu verilerin toplamını devre sayısına bölerek bir ortalama bulmayı, böylelikle daha etkili bir yaklaşım geliştirmeyi hedeflemiştir. Oyuna sonradan dâhil olan ya da oyun içerisinde belirli bölümlerde varlığını yitiren oyuncular için bu tarz bir değerlendirmenin daha etkili olacağını savunmuştur. Barghi çalışmasında oyunu 90 dakika üzerinden ve tek parça olarak değerlendirilmiştir. Daha sonraki çalışmalar için oyunu daha fazla parçalara bölerek her bir parça için ayrı bir öneri sunmak yapılan çalışmayı gerçeğe daha uygun kılabilir. Spor üzerine yapılan çalışmaların bu tez için en temel branşı futboldur. Futbol bir takım oyunu olmasından dolayı bu oyun için iki unsur önem arz eder.

1. Takım olgusu
2. Oyunda pasın önemi

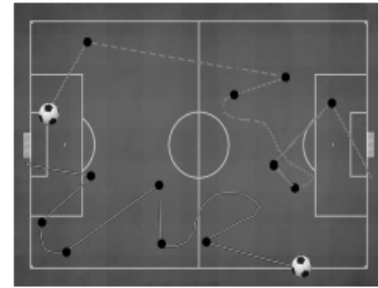
### **2.2.1. Takım Olgusu**

Spor alanında dünya rekorlarının kırılması insanları olağan skorlardan daha iyisini yapmaya itmektedir. Bu sebeple alanda yapılan akademik çalışmalar aslında var olan sistemi iyileştirmeyi amaçlamıştır. Örneğin bunlar arasından daha iyi bir kadro dizilişi, ya da mevcut ekonomiyi daha iyi kullanma veya saha içi için en iyi dizilim sayılabilir. Bunları artırmak mümkündür ancak; temel kaidenin iyileştirmek üzerine kurulduğu aşikârdır. Takım oyunları üzerine yapılan çalışmaların genel olarak futbol, basketbol, voleybol ve Amerikan futbolu alanında olduğu göze çarpmaktadır.

Takım oyuncular arasındaki ilişkiler önemlidir çünkü; kaynaklara erişim imkânı yaratır ve bu kaynakların başarılı bir şekilde harekete geçirilmesini kolaylaştırır (Grund, 2012). Takımdaki iletişimi en üst düzeye çıkarmak demek aralarındaki iletişim ağlarını arttırmak demektir ve vurgu hep takım oyunu üzerinedir. Grund, bir çalışmasında (2012), oyunun tek bir kişi üzerinden planlanmasının pek de istenilen bir durum olmadığını ortaya koymuştur. Maç esnasında, oyun her kilitlendiğinde oyunu açabilecek birçok etkin yol (taktik) belirlenmelidir. Pas oranındaki artışlar takım performansının artmasını sağlar. Takım oyunlarının merkezileşmesindeki artış takım performansının düşmesine neden olur. Bu yüzden oyun içerisinde pas ağlarının merkezileşmesi ile takım performansı arasında negatif bir ilişki vardır (Grund, 2012). Yani takım kurgusunun tıpkı bir makine gibi bütünün parçalarından oluşması, her parçanın bir görevinin olması ve en önemlisi beraber hareket edebilme yeteneği, takım olgusunu daha yükseğe çıkarmaktadır. Makine oluşumunda yer alan parçalar makinenin farklı

yerlerinde konumlandırılır. Bu, özellikle futbol için yorumlanırsa oyuncular için oyun içerisinde farklı dizilişler ön plana çıkmaktadır (4-4-2, 3-5-2, 4-3-3, 4-2-3-1 en sık rastlanılanları). Bu tez çalışmasında oyuncular arasında bir kıyas ya da puanlama olacağı için bu durum aynı bölgede oynayan oyuncular üzerinden yapılmıştır. Tüm oyuncuları ortak bir havuz içinde değerlendirmek uygun olmayacaktır. Maç içerisindeki taktiksel formasyonlar üzerine yapılan bir çalışma, her bir oyuncunun, örneğin sağ ve sol kanat oyuncuları veya defans ve hücum hattındaki oyuncular, aynı istatistiksel davranışları gösterdiğini varsaymanın taktiksel varyasyonlar (4-4-2, 4-2-3-1, 3-4-3 en sık rastlanılanları) için büyük bir hata olacağını belirtmiştir (Bialkowski ve diğ., 2014). Dijital oyun endüstrisinde ya da robot oyun teknolojisinde kurgulanmış bir futbol oyunu için oyuncuların etkili dizilişinin belirlenmesinde kullanılan çoklu karar verme uygulamaları etkili sonuçlar vermiştir (Razykov, 2006). Ayrıca kullanılan veriler için 2013 yılında yapılan bir çalışmada ise maç esnasında ölçülen topun kimde fazla kaldığı, şut, faul, ofsayt, sarı kart, kırmızı kart gibi verilerden ziyade rota beyan eden verilerin geliştirilecek stratejiler için daha iyi sonuçlar vereceği savunulmuştur (Lucey ve diğ., 2013).

Kanada		Amerika Birleşik Devletleri
9(3)	Kaleyi Bulan Şut	12(4)
13	Faul	11
3	Korner vuruşu	8
1	Ofsayt	4
38%	Topa Sahip Olma	62%
3	Sarı Kart	1
0	Kırmızı Kart	0
4	Topu Kurtarma	3



**Şekil 2.2:** Yüzdeli datalar ve zaman-uzamsal veri (Gudmundsson ve Horton, 2017).

Gudmundsson ve Horton'un (2017) yaptığı çalışmada klasik yüzdeli datalar yerine zaman uzamsal datalar kullanılmıştır; yani sporcu yüzdelerinin basketbol, futbol gibi takım sporlarında bu yüzdeleri saha içerisinde hangi bölgede elde ettiğinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Şekil 2.2'de bu veriler gösterilmiştir. Hirano ve Tsumoto (2005)'nin yaptığı çalışmada ise gol ile sonuçlanmış tüm zaman-uzamsal rotalar için bir kümeleme modeli geliştirmiştir. Ayrıca oyuncuların sahada daha fazla yer teşkil etmeleri skor üstünlüğünde sağlamaktadır Kim(2004).



### 2.2.2. Oyunda Pasın Önemi

Carling, Fransa Lig 1’de iki sezonda (2007-2008 ve 2008-2009) 27 oyuncu üzerinden yaptığı çalışması takımın ortalama koşu mesafesini 191 km olarak belirtmiştir. Bunun sadece %1,7’sinin top ile yapıldığını tespit etmiştir (Carling, 2010). Günümüz futbolunda oyuncuların artık topu ayaklarında fazla tutmayıp daha çok pas yapmaları istenmektedir. Bir başka çalışmada, 4 önemli ligin pas verilerini incelenerek takımların kendi liglerindeki mevcut sıralamaları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada toplam gol, toplam gol girişimi ve alınan puan ile ortalama pas arasında yüksek bir korelasyon olması dikkat çekmektedir. Takımın yüksek pas aktivitesinin daha çok puana, daha çok gol girişimine ve daha çok gole sebep olduğu, bu çalışmada belirtmiştir (Cintia ve diğ., 2015). Pas oyununda her oyuncu eşit şekilde pas alma ya da verme aktivitesinde bulunmaz. Başka bir çalışma, Portekiz liginde 2010/2011 sezonundaki 30 maçı incelemiş ve her bölge (defans, orta saha, hücum) için, pas alma ve pas vermede öne çıkan futbolcular olduğunu, bu futbolcuların da oynadıkları bölgelere merkezîyetçilik kattığını ortaya koymuştur (Gama ve diğ., 2015). Benzer şekilde Pena ve Touchette yaptıkları çalışmada (2012), 2010 Dünya Kupası’nda İspanya ile Hollanda arasında oynanan müsabakadaki maç sonu elde edilen verilerden lider oyuncular ve pas akışları üzerine bir şema çizerek maçın sonucunun nedenlerini detaylı olarak incelemiştir. Turnuva galibi İspanya’nın en fazla geçiş, kümeleme (oyuncuların birbirlerine yakın olması) ve yüksek takım boyuna sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Aynı zamanda oyuncu, üst düzey kenar bağlantısına sahipken takım arkadaşları ile düşük mesafeyi koruduğunu belirtmiştir. Bütün bunlar, İspanya’nın “total futbol” stilinin bir yansımasıdır; burada uyumu yüksek olan oyuncular sürekli pas yaparlar (Pena ve Touchette, 2012). Futboldaki pası dikkate alan diğer bir çalışmada ise oyun içerisindeki pas dağılımlarının gama dağılımı ile büyük benzerlikler sergilediği belirtilmektedir (Narizuka ve diğ., 2014).

Bunların dışında pas çeşitliği de önem arz etmektedir. Malqui’nin yapmış olduğu çalışmada saha içindeki pas çeşitlerini ABAB, ABAC, ABCA, ABCB ve ABCD (AB; A oyuncusunun B oyuncusuna topu aktarması olarak gösterilmiştir.) olarak kümelemiştir. Bu çalışmada pas motifleri “Corinthians” ile “Atlético Mineiro” takımlarının pas karakterlerini hem futbolcu bazlı hem de takım bazlı kümelemiştir (Malqui, 2017).

### 2.3. VERİLERİN GÜVENİRLİĞİ

2014 yılında yapılan bir çalışmada, futbolda “big data”nın önemi ve uygulanabilirliği adına teknik direktör için Visual Analytics Method çalışması ile saha içinde gerek takım ile ilgili gerekse de bireysel ve taktiksel zayıf yönleri belirlemeyi amaçlayan bir metot geliştirilmiştir (Sacha ve diğ., 2014).

Spor alanında profesyonel hizmet veren “Opta Sportdata”, bu yöntemin akademik çalışmalar için geçerli ve güvenilir olduğunu belirtmiştir (Liu ve diğ., 2013). Diğer bir çalışmada, bu verilerin spor içinde hangi alanlarda kullanılacağı belirlenmiştir. “Stratejik analiz gerektiren; örneğin bir takım bir lig yükseldiğinde, transfer ile yeni oyuncular aldığından veya antrenörün bir eğitim sistemini değiştirmesini gerektiren daha üst düzey veya uzun vadeli olaylarda uygulanabilir.” (Stein ve diğ., 2017). Benzer bir çalışmada, “ilk 11” seçimi için futbolcuların bir çok özelliği; örneğin şut, pas, koşu, top çalma ve oyunu okuma gibi 18 ayrı özellik üzerinden bulanık mantık uygulaması ile çok kriterli bir seçim çalışması yapılmıştır. Oyun içerisinde bu oyuncu seçiminin de sonuca etki edebileceği vurgulanmıştır (Tavana ve diğ., 2013).

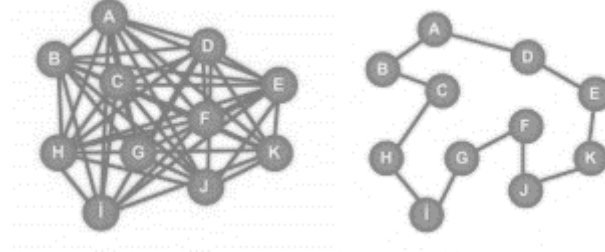
### 2.4. AKTARIM PROBLEMİ

Belirli bir bölgede yer alan düğümler arasında geçişlerin olduğu bir durumda bazen zaman olarak, bazen yol olarak yada yakıt olarak en verimli geçiş rotasını bulmayı amaçlayan problem tipine aktarım problemi denir. Bir futbol sahasında aktarım probleminde rastlanılan düğümler oyuncuların savundukları bölgeler ile benzerlikler içerir ve yine aynı şekilde futbol topunun bu bölgeler arasında aktarılması bu oyunun aktarım problemleri ile ortak yanlarının olduğunu gösterir.

Orta Çağ Avrupası'nın buhranlı atmosferinden sonra Doğu'nun zenginliklerine ulaşmak için etkili yollar arayan Avrupalılar, ellerindeki teknolojinin sınırlarını zorlayarak Doğu ve Batı arasında alternatif rotalar geliştirmiştir. Bu rotalar yeni bir çağın da habercisi olmuştur. Artan ticaret hacmi ile beraber ortaya çıkan rekabet, bazen en güvenli, bazen en hızlı, bazen de en az maliyetli rotaların keşfine zemin hazırlamıştır. Aslında bu problem tipleri ile günümüzde de sıkça karşılaşmaktayız. Gündelik hayatta bazen konfor, bazen zaman, bazen de maliyet, seyahat şeklini değiştirmekte; tren, vapur, otobüs, taksi ya da uçak gibi seyahat araçları farklı kombinasyonlar sunmakta ve farkında olunmasa da çoğu zaman bunlar arasında birçok hesap ve seçim yapmak zorunda kalınmaktadır.

Sanayi devriminden sonra artan iş hacmi gerek üretimde gerekse üretilen ürünlerin nakliyesinde ciddi maliyetler oluşturmaktadır ve kaçınılmaz olarak tasarruf yapılması gerekmektedir. Tasarrufu sağlamak ve etkinliği arttırmak için edinilen bu dinamik akış problemlerinin çözümü daha sonra telekomünikasyon sistemlerinin gelişmesi ile iletişim ağlarının etkin kullanılmasına da olanak tanımıştır. Akış problemlerinde iki temel unsur göze çarpar: (1) kesikli zaman adımları ya da (2) sürekli zaman adımları. Bu adımlar, problem tipinin modellenmesinde etkilidir.

Şekil 2.3’de H istasyonundan başlayan rota E istasyonuna ulaşmasında çok fazla alternatif yolun olduğunu, ancak bu rotalardan sadece birinin en iyi rota olduğunu göstermiştir. Aktarım problemlerinde çözümün bazen tek rota olmadığıda görülmektedir.



Şekil 2.3: Aktarım problemi şeması.

Lojistik aktarımlar, sistem genişliğindeki stokları zorunlu olarak arttırmadan maliyet düşürme ve iyileştirilmiş hizmeti sağlamaktadır (Özdemir ve diğ., 2006). Aktarımlar; giyim, moda eşyaları, oyuncaklar, özellikle online satış mağazalarına sahip perakendeciler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Özdemir ve diğ., 2006). Aktarım problemi hakkındaki öncü yayınlardan biri de iki nokta arasındaki aktarım sistemi olarak 1965’te gerçekleştirilmiştir (Krishnan ve Rao, 1965). Değişen şartlarla beraber Jönsson ve Silver’in yapmış olduğu çalışma, envanter dağıtımında iki farklı sistemi karşılaştırmış ve yeniden bir dağıtım olmadan aktarım ile tek rota üzerinden sorunun çözülebileceğini ama bunun bir maliyet doğuracağını belirtmiştir (Jönsson ve Silver, 1987). Sonrasında ise maliyet unsuru göz ardı edilerek bir havuzlama formu oluşturulmuştur. Bunun amacı, birbirine yakın iki nokta arasına, bu iki noktanın mevcut siparişini kümeleyebilecekleri bir havuz sistemini oluşturarak müşteri memnuniyeti arttırmak yani elde bulundurmama durumunun önüne geçilmesini sağlamaktır (Tagaras, 1989). Yakın dönemde yapılan bir çalışmada ise e-ticarette uygulanan müşteri taleplerini karşılamak için stok tutma yerine uygun aktarım ağları oluşturularak en yakın perakendeciden ürünün teslimatını gerçekleştiren OTO (Online-to-Offline) modeli geliştirilmiştir (Zhao ve diğ., 2016). Böylelikle

aktarım maliyeti ya da stok tutma maliyeti yüksek olan durumlarda bu aktarımı perakendecilerden sağlamak akıllıca bulunmuştur.

Bilindiği gibi bir olayın olma ya da olmama durumu bir kesinlik ifade etmemektedir ve bu yüzden olasılıklar yapılan hesaplamaların içinde çoğunlukla yer alır. Zaman içerisinde aktarım problemlerinin de içinde yer alacak bu olasılıklar stokastik aktarım problemlerini literatüre kazandırmıştır. Örneğin bir çöp kamyonu, çöp kasasındaki çöp miktarı ile bir sonraki çöp konteynirindeki çöpü almalı mıdır, yoksa mevcut yükü boşaltıp yeni istasyona boş kasayla mı gelmelidir? Yeni istasyondaki çöp miktarı eğer çöp kamyonunun kasasındaki boş kısma fazla gelir ise aracın ilk istasyona gidip tekrar artan çöpleri almak için gelmesi maliyet artışına sebep olacaktır. Bu problem için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Herer ve Rashit'in 1999'da yapmış oldukları çalışma, sabit dolum maliyetleri ile ilgili yayımların aksine, yanal aktarım ile ilgili iki istasyon probleminde, en uygun doldurma politikasının tek formda olmadığını ortaya koymuştur (Herer ve Rashit, 1999). Bu da bize farklı çözümlerin olabileceğini göstermektedir. İlk yaklaşımlar, teorik veya pratik olarak etkili algoritmalar üretmek için zaman-alan ağlarını kullanmıştır. Sonraki yaklaşımlar ise zamanla değişen kapasitelere ve maliyetlere sahip ağları ele alarak optimal çözümlerin varlığını ispatlamaya odaklanmıştır (Reyes, 2005).

Yakın dönemde yapılan çalışmalardan birinde, "physarum polycephalum" adlı bir küf mantarı çeşidinin beyni olmamasına rağmen bilgi aktarımı yaptığı, Audrey Dussutour ve David Vogel tarafından deneysel olarak ispatlanmıştır. Bu canlıdan esinlenilerek ve kesikli süreçler esas alınarak bir dinamik aktarım problemi üretilmiştir (Straszak ve Vishnoi, 2016). Bu problem için kullanılan zaman yaklaşımı kesikli zaman yaklaşımı olarak belirlenmiştir. Aynı yıl yapılan diğer bir çalışmada ise birçok farklı noktada ısı ve enerji transferi için uygun rota, optimal üretim miktarı ve güç transferinin belirlenmesinde aktarım ağ akış modelinden yararlanılması önerilmiştir (Abdollahi ve diğ., 2016).

Aktarım problemleri, sezgisel yaklaşımlar için de etkili bir çalışma alanı olarak göze çarpmaktadır. 2016'da yapılan bir çalışmada, birden çok amacın kullanıldığı aktarım problemlerinde (gemi, uçak, tren, tır, vs.) terminalerin belirlenmesi için çözümleme zamanını kısaltmayı amaçlayan bir sezgisel yaklaşım önerisi sunulmuştur (Lin ve Lin, 2016). Futbol oyunu ile büyük benzerlikler taşıyan aktarım problemleri temel olarak aşağıdaki şekilde modellenmiştir.

Genel aktarım probleminin matematiksel modeli aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Amaç fonksiyonu} \quad \min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad 2.1$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad 2.2$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad 2.3$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \ \& \ j = 1, 2, \dots, n \quad 2.4$$

Belirli bir bölgede yer alan düğümler arasında geçişlerin olduğu aktarım problemleri için genel olarak yol, mesafe, yada maliyet gibi unsurlar en küçüklenmeye çalışılmaktadır. Her düğümün bir istasyonu simgelediği aktarım problemlerinde ise bu düğümler arasındaki geçişler bir maliyet oluşturmaktadır. Yukarıdaki genel aktarım problemi modeli için aşağıda modelde kullanılan simgelerin açıklamaları verilmiştir.

*i*: İki düğüm arasındaki geçişlere çıkış noktası olarak belirlenir.

*j*: İki düğüm arasındaki geçişlerde varış noktası olarak belirlenir.

*c<sub>ij</sub>*: *i* düğümü ile *j* düğümü arasındaki aktarım için maliyet unsurudur.

*m*: Düğümler arasındaki aktarımların gerçekleştiği olası tüm giriş noktalarının toplamıdır.

*n*: Düğümler arasındaki aktarımların gerçekleştiği olası tüm çıkış noktalarının toplamıdır.

*x<sub>ij</sub>*: *i* düğümü ile *j* düğümü arasında bir aktarım olup olmadığını belirler.

*a<sub>i</sub>*: *i* düğümünde *j* düğümüne gerçekleşmiş tüm aktarımları belirtir.

*b<sub>j</sub>*: *j* düğümünden *i* düğümüne gerçekleşmiş tüm aktarımları belirtir.

#### 2.4.1. Dal Sınır Algoritması

“Dal Sınır Algoritması” (DSA), klasik lineer programlama için geliştirilmiştir (Land ve Doig, 1960). “Gezgin Satıcı Problemi” (GSP) için ilk uygulama Little ve diğ. (1963) tarafından yapılmıştır. Yine farklı bir GSP problemi çözümü Balas ve Toth (1983) tarafından uygulanmıştır. Daha sonra bu algoritmaların NP-zor problemleri için de elverişli olduğu düşünülmüştür (Clausen, 1999).

“Karma Tamsayı Programlama” (KTP), içerisinde hem ikili değişken hem de tamsayı değişken içeren bir programlamadır. Son dönemde KTP içinde sıklıkla DSA kullanılmıştır. Son dönem literatüründe tren yolu ağlarının çizelgelenmesini konu edinen bir çalışmada KTP ile DSA’nın ortak konu edindiği geniş bir literatür paylaşılmıştır (Bu çalışmanın kaynakçası Ek 1’de verilmiştir.). Bu literatür çalışmalarında KTP’nin sıklıkla DSA ile kullanıldığı görülmektedir (Karoonsoontawong ve Taptana, 2017).

Futbol oyunundaki topun aktarılması ile büyük benzerlikler taşıyan aktarım problemlerinin çözümü için sıklıkla kullanılan DSA bu tezin konu edindiği topun etkili akış rotasını belirlemede etkili bir çözüm sunmuştur.

## 2.5. DAVRANIŞSAL YAKLAŞIM

Takım oyunları, oyuncuların bir ahenk içerisinde beraber hareket etmelerini amaçlar fakat; takım farklı özelliklere sahip oyuncuların birleşimidir. Oyun her ne kadar takım oyunu olsa da bütünü oluşturan parçaların karakteri önem arz eder. Oyunun oynandığı alan aslında bir laboratuvar ortamı ile benzerlikler taşımakta, gündelik hayatın kuralları dışında kendi kuralları bulunmakta ve kendine ait bir hukuk sistemi (sarı kart, kırmızı kart, vs.) içermektedir. Oyundaki yasaklar/kurallar gerçek hayatla çoğu zaman benzerlik taşımaz. Örneğin futbol oyunu için topu elle oynamak ceza almak için yeterli bir nedendir. Bu disiplin içerisinde gelişimlerini sürdüren oyuncular, oyun içinde bir kimlik oluştururlar. Hangi pozisyonda oynadıkları onlar için bu kimliğin bir parçasıdır. Belki de yıllarca aynı bölgede oynayan sporcu, gerek bu bölge gerekse de oyunun diğer bölgeleri için belirli alışkanlıklar geliştirir. İşte bu alışkanlıklara o oyuncunun stili denebilir. Davranışçı yaklaşımın temellerini oluşturan benzer deney ortamlarına rastlanmaktadır. Psikoloji alanında yaygın olarak benimsenen bir yöntem olan davranışçı yaklaşım, öğrenmeyi bireyin uyarıcıya verdiği tepki üzerine kurmuştur (Guthrie, 1934). Bu alanda öncü çalışmalar yapanların başında İvan P. Pavlov gelmektedir. Pavlov, meşhur deneyinde, köpeklerin yemeğe salgı üreterek tepki vermesinden hareketle, köpeğine her yemek verdiğinde bir de zil çalmış, bir süre sonra köpek artık zil çaldığında yemeği görmese de salgı üretmeye başlamıştır. Bu deney sonucunda Pavlov, öğrenmenin koşullu uyaranlar yoluyla gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Pavlov ve Gantt, 1941). Buna yakın bir çalışmada Guthrie, belirli şartlar altında bir davranış sergileyen bir bireyin benzer şartlar altında yine aynı tepkiyi göstermesi gerektiğini savunmuş ve davranışın kalıcılığına vurgu yapmıştır (Guthrie, 1934).

“Öğrenme davranışlarda meydana gelen bir değişiklik olarak tanımlanır.” (Baymur, 1969). Futbol oyunu içerisinde oyuncu hareketlerinde sıklıkla refleksler görülür. Oyuncu, çalım atarken ya da kendine ait bir stil geliştirirken bunları her defasında düşünerek yapmaz çünkü hareket, düşünme eyleminden daha kısa sürede yaşanmaktadır. Watson ve Rayner (1920) reflekslerin davranışların başlangıç noktası olduğunu savunur. Albert adlı 8 aylık bir çocuk üzerinde yapmış olduğu deneyde bu sonuca varmıştır. Baymur (1969), birçok öğrenmenin aslında uzun refleksler silsilesinden oluştuğu belirtmiştir.

Thorndike, öğrenmenin sınıma-yanılma yolu ile gerçekleştiğini savunur ve öğrenme ilkelerini üç bölümde inceler: (1) tekrar ve egzersiz, (2) güdülenme durumu ve (3) davranışın sonucu (akt., Baymur, 1969).

Bahsedilen durumlar gerek oyunun içinde gerekse de oyuncunun spor hayatında (antrenman) sık tekrarların olduğunu göstermektedir. Oyuncu, yaptığı davranışlar ile çevresinden (aile, taraftar, akran, teknik heyet, medya vs.) olumlu yorumlar almak ya da olumsuz bir tablo ile karşılaşmamak adına bu şekilde güdülenmektedir. Bu ilkelerin oyun içerisine de yansıdığı düşünülebilir.

“Çok iyi öğrenilmiş, düşünülmeden otomatik olarak yapılan hareketlere alışkanlık denir.” (Baymur, 1969). Davranışın alışkanlık hâline gelebilmesi için bir ihtiyacı gidermesi ve çok tekrar edilmesi gereklidir. Bunun dışında beceri, bir takım hareketlerin birbirini izlemesi ile gerçekleşir (Baymur, 1969). Oyuncu alışkanlıkları ve oyuncu becerileri futbolda sıklıkla gündeme gelen terimlerdir. Yukarıda bahsedilen durumlar gelişmiş bir deney düzeneği sunan futbol sahasında, futbolcuların benzer durumlar ile defalarca karşılaştıklarını ve benzer davranışlar sergilemeleri gerektiği gerçeği ile örtüşmektedir. Bu kapsamda temel bazı uyarıcılar bulunmaktadır: seyirci, rakip, hakem, oyunun değişmeyen kuralları (sarı kart, kırmızı kart, faul, ofsayt vs.). Bunların yanında oyunu kazanma, puan alma, rakibi eleme, gol atma, skoru koruma gibi duygular gelişmiş bir deney ortamı sunmaktadır. Bu duygular ve eylemler sahanın dışına taşınan, gündelik hayata aktarılan bir boyuta sahip değildir.

Bu tez çalışmasında oyuncu verileri puanlanırken istatistiksel veriler kullanılmış ve oyuncunun sağa, sola, ileriye ve geriye doğru pas alma/verme ile saha içerisindeki pozisyon alışkanlıkları belirlenmiştir. Bunun gerekçesi bu davranışların öğrenme yoluyla edinildiği ve alışkanlık

hâline gelmiş olduğu varsayımdır. Böylelikle bir sonraki maç içerisinde benzer davranışlar sergileneceğini varsayarak problem bu varsayım üzerine modellenmiştir. Bu durumun sağlayacağı avantaj ise oynanmamış maçlar için strateji geliştirme üstünlüğü sağlamaktır.



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

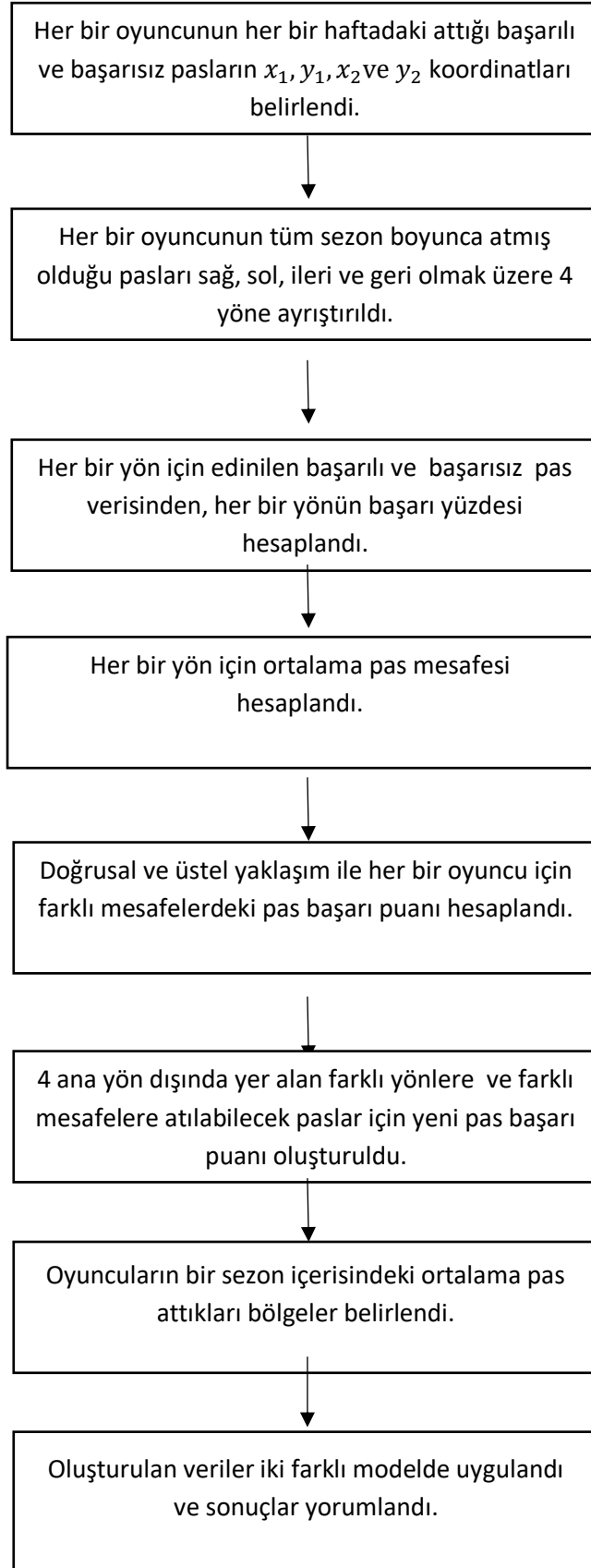
Bu tez bir futbol takımındaki oyuncuların oyun içerisinde sahip oldukları topu kendi aralarında yapacakları paslarla etkili bir şekilde hücum bölgesine taşınmasını amaçlar. Bu etkili rotanın bulunması için aktarım problemlerindeki yapı incelenerek, bu tez çalışması için iki model geliştirilmiştir. Bu modellerden ilki oyuncuların her biri için üretilen ve bir sezonundaki tüm maçlardan elde edilen performanslarına göre takımın toplam performansını en büyüklenmeyi amaçlamıştır. İkinci model ise bu performansların çarpımının en büyüklenmesini amaçlamıştır.

#### 3.1. VERİLERİN TOPLANMASI

Bu çalışmada kullanılan matematiksel model için oyuncuların saha içerisinde pas verdikleri bölgeler ve oyuncuların saha içerisindeki pas performansları kullanılmıştır. Bu amaçla bu iki kategoride verilerin elde edilmesi gerekmiştir.

##### 3.1.1. Programın Akış Şeması

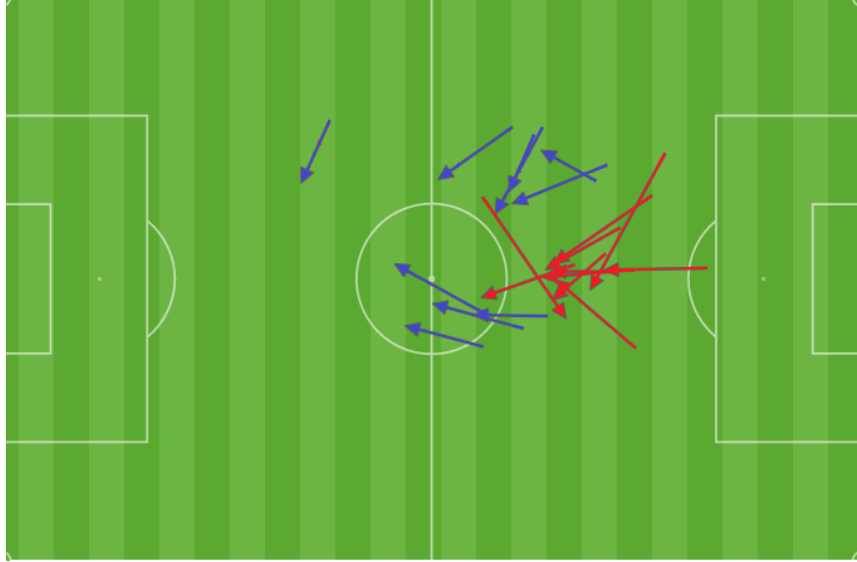
Şekil 3.1'de problem çözümlenirken izlenen akış şeması şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.1'de yer alan iş akış şeması topun akış rotası için geliştirilen oyuncu performans puanlarının çarpımını ve oyuncu performans puanlarının toplamını en büyükleyen modeller için ayrı ayrı uygulanmıştır. Ayrıca doğrusal ve üstel yaklaşım ile oluşturulan oyuncu performans puanları içinde ayrı ayrı uygulanmıştır.



Şekil 3.1: Model akış şeması.

### 3.1.2. Oyuncuların Pas Performans Verilerinin Toplanması

Bir futbol takımının Türkiye Süper Liginde bir sezon içerisinde oynamış olduğu 34 maç bulunmaktadır. Her takım oynadığı her maç için değişken bir 11 belirlemektedir. Cezalı oyuncular, sakat oyuncular, performansı düşen oyuncular ve performansı yükselen oyuncular bu değişimin temel sebebini oluşturmaktadır. Oyuncuların maç esnasında sürekli olarak pas yapmaktadırlar. Bir oyuncu 90 dakikalık bir maç esnasında ortalama 50 ile 100 arasında pas atmaktadır.



Şekil 3.2: Futbolcunun yapmış olduğu pas şekilleri.

Örnek olarak Şekil 3.2'de gösterilen her bir ok bir futbolcunun maç içerisinde gerçekleştirmiş olduğu pasları göstermektedir. Oklarda yer alan mavi renk başarılı, kırmızı renk başarısız pasları simgelemiştir. Her biri bir pası simgeleyen bu oklardan yada diğer bir ifadeyle vektörler aşağıdaki adımları izlenerek etkili bir veri kümesini oluşturmuştur.

- 1. Adım :** Şekil 3.2'de genel olarak çapraz bir görünüme sahip her bir ok  $x$  ve  $y$  koordinatlarına ayrılır. Bu işlemi yapabilmek için pasın atıldığı noktayı simgeleyen okun başlangıç noktasındaki  $x_1$  ,  $y_1$  noktaları, pasın atıldığı noktayı simgeleyen okun uç noktasındaki  $x_2$  ,  $y_2$  noktaları sıralı olarak belirlenir.

**2. Adım:** Tablo 3.1’de örnek olan her bir koordinatı belirlenmiş okların yön tayini için aşağıdaki formüller uygulanır.

**Tablo 3.1:** Pasların koordinatları.

	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$
1. ok	30	40	40	50
2. ok	30	40	20	60
3. ok	20	60	50	60
4. ok	30	40	30	10

$$x_2 - x_1 > 0 \text{ ise } f = x_1 - x_2 \text{ (ileri)} \quad (3.1)$$

$$x_2 - x_1 < 0 \text{ ise } b = x_1 - x_2 \text{ (geri)} \quad (3.2)$$

$$y_2 - y_1 > 0 \text{ ise } r = x_1 - x_2 \text{ (sağ)} \quad (3.3)$$

$$y_2 - y_1 < 0 \text{ ise } l = x_1 - x_2 \text{ (sol)} \quad (3.4)$$

Formül 3.1, 3.2, 3.3. ve 3.4’de yer alan  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $x_2$  ve  $y_2$  ifadeleri adım 1’deki  $x$ ,  $y$  eksenindeki koordinatların sayısal değerlerini ifade etmektedir.

$\lambda$  : sağ, sol , ileri ve geri olmak üzere 4 ana yol kümesi  $\lambda = \{ r, l, f, b \}$

$d_{i\lambda}$ :  $i$  pasının takımın sahadaki dizilişine göre  $\lambda$  yönündeki uzunluğudur.

$$(d_{ir}, d_{il}, d_{if}, d_{ib} \in d_{i\lambda})$$

**3. Adım:** Açıklayıcı örnek olarak verilen Tablo 3.2’de her bir pasın  $x$  ve  $y$  koordinatlarına ayrıldıktan sonraki dört farklı yönde kategorize edilmiş hali görülmektedir. Futbolcuların yaptığı başarılı ve başarısız pasların yönleri belirlendikten sonra sezon içerisinde oynadığı maçlarda yapmış olduğu tüm paslar başarılı ve başarısız olarak iki kategoride sınıflandırılır.

**Tablo 3.2:** Pasların yönleri ve mesafeleri.

			İleri Yön	Geri Yön	Sağ Yön	Sol Yön
Başarılı	Pas	1. ok	10			10
Başarısız	Pas	2. ok		10		20
Başarısız	Pas	3. ok	30			
Başarılı	Pas	4. ok			30	

**4. Adım:** Açıklayıcı örnek olarak verilen Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'deki futbolcunun başarılı ve başarısız pasları dört ana yön için kategorize edilmiştir. Bu tablolardaki her bir yön için başarı yüzdesi 3.5'deki formüle göre hesaplanır.

**Tablo 3.3:** Başarısız pas yönleri ve mesafeleri.

			İleri Yön	Geri Yön	Sağ Yön	Sol Yön
Başarısız Pas	2. ok			10		20
Başarısız Pas	3. ok		30			

**Tablo 3.4 :** Başarılı pas yönleri ve mesafeleri.

			İleri Yön	Geri Yön	Sağ Yön	Sol Yön
Başarılı Pas	1. ok		10			10
Başarılı Pas	4. ok				30	

$$P_{\lambda} = \frac{|S_{\lambda}^1|}{|S_{\lambda}^1 \cup S_{\lambda}^0|} \quad (3.5)$$

Burada;

$P_{\lambda}$ :  $\lambda$  yönlü pasın başarı yüzdesidir.  $\lambda = \{ r, l, f, b \}$

$S_{\lambda}^1$ :  $\lambda$  yönlü başarılı pas kümesidir.

$S_{\lambda}^0$ :  $\lambda$  yönlü başarısız pas kümesidir.

**5. Adım:** Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de futbolcuların yapmış oldukları paslar kategorize edilmiştir. Bu iki tablodan, oyuncunun sezon içerisinde yapmış olduğu tüm pasların dört ana yön için ortalama uzunluğu hesaplanır. Aşağıdaki formül 3.6'da  $\lambda$  yönlü pasların ortalama uzunluğunu hesaplar.

$$\mu_{\lambda} = \frac{\sum d_{i\lambda}^1 + \sum d_{i\lambda}^0}{n_{\lambda}} \quad (3.6)$$

Burada;

$\mu_{\lambda}$ :  $\lambda$  yönlü yapılan pasların ortalama uzunluğudur.  $\lambda = \{ r, l, f, b \}$

$d_{i\lambda}^1$ : Başarılı  $i$  pasının  $\lambda$  yönlü uzunluğudur.  $i \geq 0, \forall i = N, i \in (S_{\lambda}^1 \vee S_{\lambda}^0)$

$d_{i\lambda}^0$ : Başarısız  $i$  pasının  $\lambda$  yönlü uzunluğudur.

$n_{\lambda}$ :  $\lambda$  yönlü yapılan pas sayısıdır.  $n_{\lambda} \geq 0, n_{\lambda} = s(S_{\lambda}^1 \vee S_{\lambda}^0)$

**6. Adım:** Bir oyuncuya ait her bir yön için ortalama pas uzunluğu ve her bir yön için ortalama pas başarısı yukarıdaki adımlar izlenilerek elde edilmiştir. Futbol oyununda her bir an için pas uzunlukları ve pas yönleri değişkenlik göstermektedir. Elde edilen yukarıdaki iki veriden aşağıdaki formüller kullanılarak farklı uzunluktaki pasların başarı yüzdesi hesaplanmıştır. Aşağıda iki adet formül yer almaktadır. Doğrusal yaklaşımla pas başarı puanı oluşturmak için doğrusal bir fonksiyon kullanılmıştır. Üstel yaklaşımla pas başarı puanı oluşturmak için üstel bir fonksiyon kullanılmıştır.

Oyuncuların pas performans puanlamasında doğrusal yaklaşım :

Oyuncuların pas performanslarından edinilen verilerden bir oyuncunun hangi mesafeyi ne kadar yüzde ile başarabildiğini hesaplanabilir. Bunun için doğrusal bir yaklaşım geliştirilmiştir ve bu yaklaşım formül 3.7’de belirtilmiştir.

$$P_{\lambda k}^l = \frac{\mu_{\lambda k} * P_{\lambda k}}{d_{ik}} \quad (3.7)$$

$$P_{\lambda k}^l \leq 100 \text{ ise } c_{\lambda k} = P_{\lambda k}^l / 100 \quad (3.8)$$

$$P_{\lambda k}^l > 100 \text{ ise } c_{\lambda k} = 1 \quad (3.9)$$

Burada;

$P_{\lambda k}^l$ :  $k$  numaralı oyuncunun  $\lambda$  yönü için istenilen mesafedeki pas başarı yüzdesidir.

$P_{\lambda k}$ :  $k$  numaralı oyuncunun  $\lambda$  yön için pas başarısı yüzdesidir.

$\mu_{\lambda k}$ :  $k$  numaralı oyuncunun  $\lambda$  yönü için ortalama pas mesafesidir.

$d_{ik}$ :  $k$  numaralı oyuncunun  $i$  pası için istenilen mesafedir.

$c_{\lambda k}$ :  $k$  numaralı oyuncunun  $\lambda$  yönü için istenilen mesafedeki pas başarı puanıdır.

Oyuncuların pas performans puanlamasında üstel yaklaşım:

Oyuncuların pas performans puanlarının hesaplanmasında doğrusal yaklaşımın yanı sıra, pas mesafelerinin karesi kullanılarak üstel bir yaklaşımda geliştirmiştir. Üstel pas performans hesaplaması formül 3.10’da verilmiştir.

$$P_{\lambda k}^l = \frac{\mu_{\lambda k}^2 * P_{\lambda k}}{d_{ix}^2} \quad (3.10)$$

$$P_{\lambda k}^i \leq 100 \text{ ise } c_{\lambda k} = P_{\lambda k}^i / 100 \quad (3.11)$$

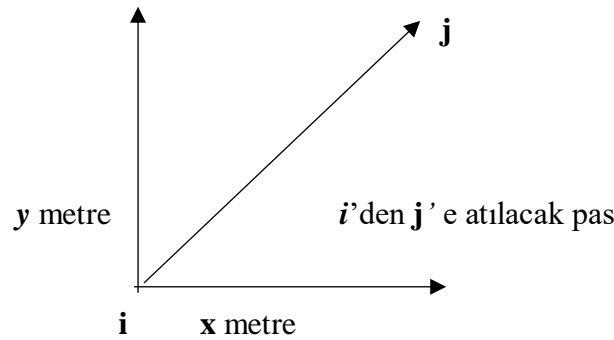
$$P_{\lambda k}^i > 100 \text{ ise } c_{\lambda k} = 1 \quad (3.12)$$

Formül 3.7’de yer alan doğrusal yaklaşım ile pas performans puanı oluşturma, formül 3.10’daki üstel yaklaşım ile pas performans puanı oluşturma formüllerinin sonunda yer alan  $c_{\lambda k}$ , oyuncu performanslarını gösteren puanların 0 ile 1 aralığında bir sayı olmasını sağlamıştır. Performans puanlarının 0 ile 1 arasında değişmesi iki adet matematiksel model oluşturmayı sağlamıştır. Bunlardan ilki oyuncu performans puanlarının toplanmasının en büyüklenmesini hedeflerken ikincisi ise oyuncu performans puanlarının çarpımının en büyüklenmesini hedeflemiştir.

**7.Adım:** İlk 6 adımda temel olarak 4 yön belirlenmişti. Ancak bir futbol oyunu sayısız yönden oluşmaktadır. Bu 4 ana yön arasında örneğin ileri sağ, ileri sol gibi yönler için futbol oyununda topun aktarımında rastlanılan yönlerdir. Bu durum için  $x$  ve  $y$  koordinatlarının belirlenmesi ile aradaki herhangi bir yön için pas başarı puanının hesaplanabileceği formül 3.13 geliştirilmiştir. Yukarıda farklı koşullar için formül 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12 kullanarak bir  $c_{\lambda k}$  puanı elde edilmişti ve  $\lambda$  4 ana yönü temsil etmiştir.

Bu yönleri  $x$  ve  $y$  koordinatlarındaki gösterimi ise ileri ve geri olan yönlerin  $y$ , sağ ve sol yönleri ise  $x$  olarak yerleştirilmesidir. Bu gösterim Şekil 3.3’de yer almıştır.

$$c_{\lambda k} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{x^2} + \frac{1}{y^2}}} \quad (3.13)$$



Şekil 3.3: Bir bölgeden diğer bölgeye pas akışı.

Burada;

$c_{xk}$ :  $k$  numaralı oyuncunun herhangi bir yöne attığı pasın sahanın yatay ekseninde katedilen mesafe için üstel yada doğrusal yaklaşım ile elde edilmiş pas başarı puanı kullanılarak oluşturulan bir pas başarı puanıdır.  $(r, l \in x)$

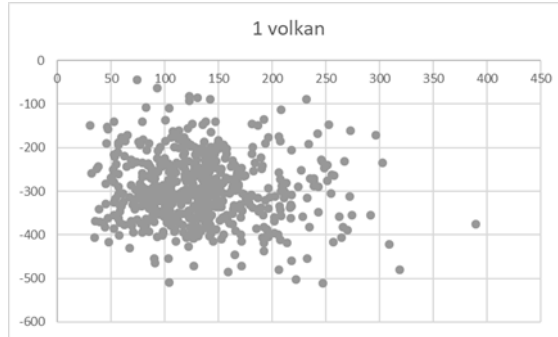
$c_{yx}$ :  $k$  numaralı oyuncunun herhangi bir yöne attığı pasın sahanın dikey ekseninde katedilen mesafe için üstel yada doğrusal yaklaşım ile elde edilen pas başarı puanı kullanılarak oluşturulan bir pas başarı puanıdır.  $(f, b \in y)$  formül 3.13 bir çok yön için kullanılabilir. Yön adlandırmasının fazlalığından dolayı sonraki adımlar ve uygulama aşaması için  $\lambda$  yerine  $i$  bölgesinden  $j$  bölgesine ibaresi kullanılmış ve  $c_{\lambda k}$  ifadesi  $c_{ijk}$  olarak değiştirilmiştir.

$x$ : Sağ yada sol yönlü atılacak pasın metre cinsinden değeridir.

$y$ : İleri yada geri atılacak pasın metre cinsinden değeridir.

$$c_{ijk} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{x^2} + \frac{1}{y^2}}} \quad (3.14)$$

**8.Adım:** Oyuncuları pas verdikleri bölgeler için veri elde edilmesi 8. adımda uygulanmıştır. Şekil 3.1’de yer alan her bir ok bir oyuncunun yaptığı pasın uzunluğunu göstermiştir. Pasın atıldığı noktayı simgeleyen okun başlangıç noktasındaki  $x_1$  ,  $y_1$  noktalarıdır. Oyuncunun bütün sezon içerisinde yapmış olduğu tüm pasların başlangıç noktaları belirlenmiş. Böylelikle sezon içerisinde oyuncunun genel olarak futbol sahasının hangi bölgelerinde oynadığı tesbit edilmiştir.



Şekil 3.4: Volkan Babacan’ın 2016/17 sezonu pas noktaları.



Yukarıdaki Şekil 3.3'de Başakşehir F.K'lü bir oyuncunun 2016/17 sezonunda pas attığı bölgeleri göstermiştir, bu veri  $x_1, y_1$  noktalarından türetilmiştir. Şekil 3.4'de yer alan oyuncunun saha içindeki pas attığı bölgeler kendi ceza sahası ve ceza sahasının önündeki bölgeler olduğu görülmüştür.

Yukarıda yer alan 8 adım sonucunda bir matematiksel model için gerekli 3 temel veri oluşturulmuştur. Bunlar oyuncunun ortalama pas mesafeleri, oyuncunun performans puanları ve oyuncunun saha içerisinde yer aldığı bölgelerdir.

### 3.2. PAS STRETEJİSİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL

Aşağıda futbol oyunundaki pas akışlarını, verimli bir rotaya dönüştürmeyi amaçlayan iki tip model oluşturulmuştur. İlki oyuncunun sezon içerisinde yapmış olduğu pas performansı sonucunda üretilen performans değerlerinin toplamını en büyüklemeyi hedeflerken diğeri bu performansların çarpımını en büyüklemeyi hedeflemiştir.

$S$  : Bir takımın ilk 11'de oynayan oyuncu kümesidir.  $S = \{1, 2, \dots, 99\}$

$m$  : Bölgeler arasındaki aktarımların gerçekleştiği olası tüm giriş noktalarının toplamıdır.  
 $m = \{60\}$

$n$  : Bölgeler arasındaki aktarımların gerçekleştiği olası tüm çıkış noktalarının toplamıdır.  
 $n = \{60\}$

$c_{ijk}$  :  $i$  bölgesinde  $j$  bölgesine  $k$  oyuncusunun performansıdır. ( $k \in S$ )

$c_{ijv}$  :  $i$  bölgesinden  $j$  bölgesine alternatif  $v$  oyuncusunun performansıdır.  $c_{ijv}$  hesaplanırken 3.13'deki formül kullanılmıştır. ( $v \in S$ )

$x_{ij}$  :  $i$  bölgesinden  $j$  bölgesine topun atılıp atılmadığı gösterir. (ikili)

$x_{ijk}$  :  $i$  bölgesinden  $j$  bölgesine  $k$  oyuncusunun aktarımı gerçekleştirme yada gerçekleştirilmeme durumudur.  $i, j, z = \{1, 2, 3 \dots 60\}$ , ( $i \neq j$ ), ( $j \neq z$ )

$E$  :  $\alpha$  bölgesi ile başlayıp  $\beta$  bölgesi ile biten topun oyuna girme bölgeleridir.  
 $E = \{2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11\}$

$F$  :  $\theta$  bölgesi ile başlayıp  $t$  bölgesi ile biten atağın sonlandırıldığı bölgeleridir.  
 $F = \{45, 46, 50, 51, 52, 53, 56, 57, 58, 59\}$

$a$  : Topun oyuna sokulduğu ilk bölgedir. ( $a \in E$ )

$b$  : Atağın sonlandırıldığı son bölgedir. ( $b \in E$ )

- $\alpha$ : Topun oyuna sokulması için saha içerisinde olası başlangıç bölgelerinin ilkidir. ( $\alpha \in \mathbf{E}$ )
- $\beta$  : Topun oyuna sokulması için saha içerisindeki olası başlangıç bölgesinin sonucusudur. ( $\beta \in \mathbf{F}$ )
- $\gamma$ : Bir müsabakada topun rakipten alınıp, atağın başladığı bir bölgedir. ( $\gamma = 1, 2 \dots 60$ )
- $\theta$ : Atağın sonlandırması için etkili bölgelerin ilkidir. ( $\theta \in \mathbf{F}$ )
- $t$ : Atağın sonlandırılması için etkili bölgelerin sonucusudur. ( $t \in \mathbf{F}$ )

### 3.2.1. Başlangıç Ve Bitiş Bölgelerinin Belli Olduğu Topun Akış Problem

Aşağıdaki matematiksel model pas performanslarının toplamını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak bilinmektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu : } \quad \text{Max } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijk} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijv} x_{ij} \quad (3.15)$$

3.15'deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzk} \quad (3.16)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (3.17)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad (\forall i, a, b = 1, 2, \dots, m \text{ ve } i \neq a, b) \quad (3.18)$$

$$\sum_{j=1, j \neq a}^m x_{aj} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ja} = -1 \quad (3.19)$$

$$\sum_{j=1, j \neq b}^m x_{bj} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{jb} = 1 \quad (3.20)$$

$$i = \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (3.21)$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3.22)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.23)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.24)$$

Model için oluşturulmuş belirli kısıt ve amaç fonksiyonları aşağıda açıklanmıştır.

Burada;

(3.15): Bu tez çalışmasında topun futbol sahasındaki bir bölgeden diğer bir bölgeye aktarımında oyunculara ait bir pas başarı puanı olan  $c_{ijk}$  belirlenmiştir. Bölgeler arasında topun aktarımında oyunculara ait pas başarı puanlarının toplamının en büyük olmasını amaçlamıştır. Çalışmada puanlar 0 ile 1 arasında değişirken bölgeler arasında aktarım olmayan her durum için puan değeri 1 puan ile belirlenmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç aktarım problemlerinin genel olarak en küçükleme problemleri iken tezdeki modelin en büyükleme problemi olmasından kaynaklanmıştır. Ayrıca performans çarpımlarının en büyükleme problemi için 0 ile 1 arasında alınan performans puanları yine en büyükleme problemi için belirlenmiştir.

(3.16):  $i$  bölgesinden  $j$  bölgesine  $k$  oyuncusu topu aktarmış ise  $j$  bölgesinden  $z$  bölgesindeki yine kendisi olan  $k$  oyuncusuna topu atarmamıştır. Böylelikle farklı bölgelerdeki aynı oyuncunun kendi kendine top atması önlenmiştir.

(3.17):  $i$  bölgesinden  $j$  bölgesine ya  $k$  oyuncusu ya da  $v$  oyuncusu pas atabilir. Böylelikle bölgeler arasındaki aktarım mümkün kılınırken hangi oyuncunun seçileceği problemin en büyükleme vasıtasıyla belirlenmiştir.

(3.18): Başlangıç ve bitiş bölgeleri dışındaki her bir bölgede topun başka bir bölgeye aktarımını sağlamıştır.

(3.19): Topun rotayı başlatacağı bölgeden topun aktarımını amaçlar. Çünkü ilk bölgeye top herhangi bir bölgeden aktarılmaz.

(3.20): Atağın sonlandırılacağı bölgeyi belirlemeyi amaçlar.

Aşağıdaki matematiksel model pas ise performansların çarpımını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak bilinmektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu:} \quad \text{Max} \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n c_{ijk} x_{ij} * \prod_{i=j}^m \prod_{j=1}^n c_{ijv} x_{ij} \quad (3.25)$$

3.25 'deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzk} \quad (3.26)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (3.27)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad (\forall i, a, b = 1, 2, \dots, 60 \text{ ve } i \neq a, b) \quad (3.28)$$

$$\sum_{j=1, j \neq a}^m x_{aj} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ja} = -1 \quad (3.29)$$

$$\sum_{j=1, j \neq b}^m x_{bj} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{jb} = 1 \quad (3.30)$$

$$i = \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (3.31)$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3.32)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.33)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ji} = \{0, 1\} \quad (3.34)$$

Burada;

(3.25) : Çalışmada topun bir bölgeden diğer bir bölgeye aktarımında oyunculara ait bir puan, pas başarı puanı olan  $c_{ijk}$  belirlenmişti. Bölgeler içerisinde topun aktarımında oyunculara ait pas başarı puanlarının çarpımının en büyük olmasını amaçlamıştır. Çalışmada puanlar 0 ile 1 arasında değişir iken bölgeler arasında aktarım olmayan her durum 1 puan ile puanlanır. Böylelikle hiçbir performans puanı 0 olmadığı için performans puanlarının çarpılmasında

sonucuda hiçbir zaman 0 çıkmaz. Buda modelin en büyüklenmesinde etkili bir durum sağlamıştır.

### 3.2.2. Başlama ve Bitiş Noktalarının Opsiyonel Olduğu Topun Akış Problemi

Aşağıdaki matematiksel model pas performansların toplamını en büyüklenerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak bilinmemektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu : Max } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijk} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijv} x_{ij} \quad (3.35)$$

3.35'deki matematiksel model için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzk} \quad (3.36)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (3.37)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad (\forall i, = 1, 2, \dots, m \text{ ve } i \neq \mathbf{F}, \mathbf{G}) \quad (3.38)$$

$$\left( \sum_{i=\alpha}^{\beta} \sum_{j=1, j \neq k}^m x_{ij} \right) - \left( \sum_{i=\alpha}^{\beta} \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} \right) = -1 \quad (3.39)$$

$$\left( \sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^m x_{1j} \right) - \left( \sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} \right) = 1 \quad (3.40)$$

$$i = \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (3.41)$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3.42)$$

$$\alpha, \beta, t, \theta > 0 \quad (3.43)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.44)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ji} = \{0, 1\} \quad (3.45)$$

Burada;

(3.39): Topun aktarımında rotanın başladığı bölgeden topun aktarılmasını amaçlar. Çünkü ilk bölgeye top herhangi bir bölgeden aktarılmaz.

(3.40) :Atağın sonlandırılacağı alanı belirlemeyi amaçlamıştır.

Aşağıdaki matematiksel model ise pas performansların çarpımını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak bilinmemektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \text{Max } \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n c_{ijk} x_{ij} * \prod_{i=j}^m \prod_{j=1}^n c_{ijv} x_{ij} \quad (3.46)$$

3.46'deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzk} \quad (3.47)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (3.48)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad (\forall i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } i \neq F, G) \quad (3.49)$$

$$\left( \sum_{i=\alpha}^{\beta} \sum_{j=1, j \neq k}^m x_{ij} \right) - \left( \sum_{i=\alpha}^{\beta} \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} \right) = -1 \quad (3.50)$$

$$\left( \sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^m x_{1j} \right) - \left( \sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} \right) = 1 \quad (3.51)$$

$$i = \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (3.52)$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3.53)$$

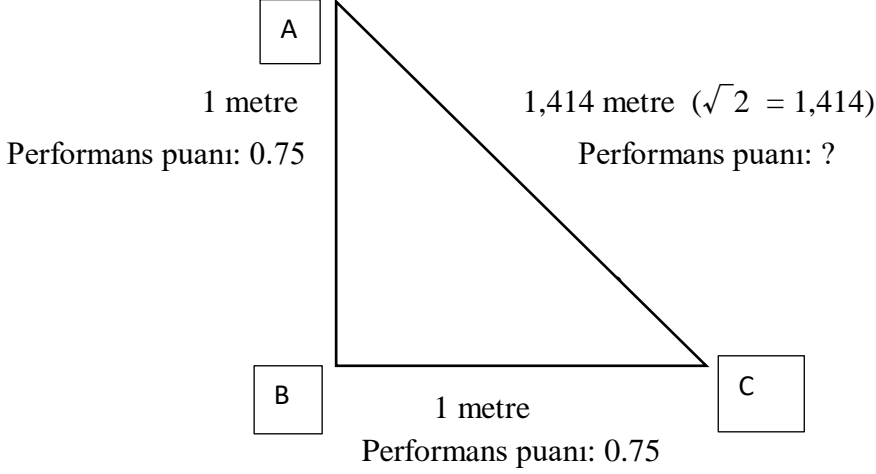
$$\alpha, \beta, t, \theta > 0 \quad (3.54)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.55)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ji} = \{0, 1\} \quad (3.56)$$

Matematiksel model farklılıklarını açıklayıcı örnek:

Aşağıda verilen örnek soru bazı durumlarda toplamın ve çarpımın en büyüklüğünde farklı sonuçlar ortaya çıkabileceğini göstermiştir.



**Şekil 3.5:** Örnek soru şekli.

Yukarıdaki Şekil 3.5'de A noktası ile B noktası arasında, B noktası ile C noktası arasında 1 metrelik bir mesafe vardır. İkiz kenar üçgen formundaki Şekil 3.5'de A noktası ile C noktasının mesafesini  $\sqrt{2}$  metre olarak belirlenmiştir. Bir metrelik mesafeler için pasın başarılı atılma puanı 0.75 olarak belirlenmiştir. Ancak aktarımın gerçekleşmediği arklar için alınacak performans puanı 1 olarak değerlendirilmiştir. Buna göre A bölgesindeki topu C bölgesine etkili olarak nasıl aktarılır?

3.25'deki amaç fonksiyonu için oluşturulan çarpma matematiksel modeli ve 3.15'deki amaç fonksiyonu için oluşturulan toplama matematiksel modeli Şekil 3.5'deki problemi en büyüklenmiştir. Her aktarılan top için belirli bir puan hesaplanırken, aralarında bir top aktarımı olmayan iki bölge için bu puan 1 olarak belirlenmiştir. Doğrusal yaklaşım ile pas başarı puanı hesaplamaları formül 3.7, 3.8 ve 3.9'e göre;  $\mu_{\lambda k} = 1$  m,  $d_{ix}=1,14$ m,  $P_{\lambda k}=0.75$  ve  $P_{\lambda k}'$  ise bilinmemektedir. A bölgesinden B bölgesine yapılacak pasın puanı 0,75 ise A bölgesinden C bölgesine yapılacak pasın puanı yani  $P_{\lambda k}'$  0,5303 olarak hesaplanmıştır. Buna göre A bölgesinden top C bölgesine iki rota ile ulaşır. İlk rota A-B-C iken ikinci rota A-C olarak belirlenmiştir. A-B-C ve A-C rotaları için her iki matematiksel model en büyüklüğünde Tablo 3.5'deki sonuçlara ulaşılmıştır.

**Tablo 3.5:** Örnek problem çözümü.

Rotalar	Çarpma Modeli	Toplama Modeli
A-C	$0.5303 * 1 = 0.5303$	$1 + 0.5303 = 1.5303$
A-B-C	$0.75 * 0.75 = 0.5625$	$0.75 + 0.75 = 1.5$
Seçilen Rota	A-B-C	A-C

Tablo 3.5’de gösterilen örnek soru çözümü 3.25’deki amaç fonksiyonun çarpma matematiksel modeli ve 3.15’deki amaç fonksiyonun toplama matematiksel modeli için en büyüklenme amaçlandığında farklı rotalar vermiştir. Veriler doğrusal yaklaşım ile pas başarı puanı oluşturma 3.7, 3.8 ve 3.9’daki formüller ile hesaplanmıştır. A-C rotası hesaplanırken A bölgesinden B bölgesine bir aktarımın olmadığı için A-B rotasının puanı 1 olarak hesaplanmıştır.

### 3.2.3 Maç İçerisindeki Atağın Başladığı Bölge ile Topun Akış Problemi

Aşağıdaki matematiksel model pas performanslarının toplamını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge bilinirken, sonlandığı bölge kesin olarak bilinmemektedir

$$\text{Amaç fonksiyonu :} \quad \text{Max} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijk} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijv} x_{ij} \quad (3.57)$$

Yukarıda 3.57’deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzk} \quad (3.58)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (3.59)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad (\forall i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } i \neq \gamma, F) \quad (3.60)$$

$$\sum_{j=1, j \neq \gamma}^m x_{\gamma j} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{j\gamma} = -1 \quad (3.61)$$



$$\left(\sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^m x_{1j}\right) - \left(\sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji}\right) = 1 \quad (3.62)$$

$$i = \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (3.63)$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3.64)$$

$$t, \theta > 0 \quad (3.65)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.66)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ji} = \{0, 1\} \quad (3.67)$$

Burada;

(3.61): Rakipten alınan top ile atağın başladığı bölgeden topun aktarımını sağlamıştır.

Aşağıdaki matematiksel model ise pas performanslarının çarpımını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge bilinirken, sonlandığı bölge kesin olarak bilinmemektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \quad \text{Max } \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n c_{ijk} x_{ij} * \prod_{i=j}^m \prod_{j=1}^n c_{ijv} x_{ij} \quad (3.68)$$

Yukarıda 3.68'deki amaç fonksiyonun en büyüklemek için aşağıdaki kısıtlar belirlenmiştir.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzk} \quad (3.69)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (3.70)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad (\forall i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } i \neq \gamma, F) \quad (3.71)$$

$$\sum_{j=1, j \neq \gamma}^m x_{\gamma j} - \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{j\gamma} = -1 \quad (3.72)$$

$$\left(\sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^m x_{1j}\right) - \left(\sum_{i=\theta}^t \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji}\right) = 1 \quad (3.73)$$

$$i=\{1,2,3,\dots,m\} \quad (3.74)$$

$$j=\{1,2,3,\dots,n\} \quad (3.75)$$

$$t, \theta > 0 \quad (3.76)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.77)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ij} = \{0, 1\} \quad (3.78)$$

## 4. UYGULAMA

Bu bölümde 3.Bölüm’de önerilen matematiksel model farklı problem tiplerine uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu uygulama için bir futbol kulübü seçilmiş ve o kulübün yıllık pas performansları matematiksel modelin uygulaması için kullanılmıştır.

### 4.1. İSTANBUL BAŞAKŞEHİR FUTBOL KULÜBÜ

İstanbul Başakşehir Futbol Kulübü 1990 yılında İstanbul Belediye’sine ait bir belediye takımı olarak kurulmuştur. Sportif yapısı 4 Haziran 2014 yılında İstanbul Büyükşehir Belediye olarak adlandırılmıştır. Kulüp kurumsal yapısı değişerek İstanbul Başakşehir Futbol Kulübü olarak adlandırılmıştır. Son dönemde artan performansı ile Türkiye Süper liginde üst sıralarda yer almayı başarmıştır. Takım 2016/2017 sezonun 2. sırada bitirerek Şampiyonlar Ligi’ne katılma hakkı yakalamıştır. Şu an maçlarını İstanbul’un Başakşehir semtinde 17.319 kişi kapasiteli Fatih Terim Stadyumu’nda oynamaktadır. Kulübün uzun zamandır kadrosunda ciddi değişiklik olmaması, aynı teknik direktör ile çalışmalarına devam etmesi, bu tez uygulaması için yapılan kulüp seçiminde etkili olmuştur . Türkiye Süper Lig 2016/17 sezonunda 34 maçlık sezonun puan sıralaması Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1:** 2016/17 sezonu puan durumu.

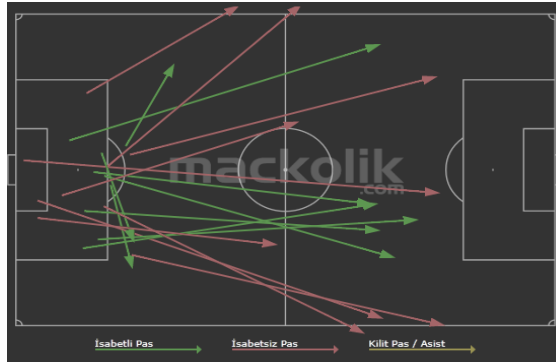
	Maç	Galibiyet	Beraberlik	Mağlubiyet	Attığı	Yediği	Averaj	Puan
1 Beşiktaş	34	23	8	3	73	30	43	77
2 Medipol Başakşehir	34	21	10	3	63	28	35	73
3 Fenerbahçe	34	18	10	6	60	32	28	64
4 Galatasaray	34	20	4	10	65	40	25	64
5 Antalyaspor	34	17	7	10	47	40	7	58
6 Trabzonspor	34	14	9	11	39	34	5	51
7 Akhisar Belediyespor	34	14	6	14	46	42	4	48
8 Gençlerbirliği	34	12	10	12	33	34	-1	46
9 Atiker Konyaspor	34	11	10	13	40	45	-5	43
10 Kasımpaşa	34	12	7	15	46	50	-4	43
11 Karabükspor	34	12	7	15	38	48	-10	43
12 Aytemiz Alanyaspor	34	12	4	18	54	65	-11	40
13 Osmanlıspor FK	34	9	11	14	37	45	-8	38
14 Bursaspor	34	11	5	18	34	58	-24	38
15 Kayserispor	34	10	8	16	47	58	-11	38

**Tablo 4.1(devam):** 2016/17 Sezonu puan durumu tablosu.

16	Çaykur Rizespor	34	10	6	18	44	53	-9	36
17	Gaziantepspor	34	7	5	22	30	65	-35	26
18	Adanaspor	34	6	7	21	33	62	-29	25

#### 4.1.VERİLERİN TOPLANMASI

Başakşehir F.K için kullanılan veriler Şekil 4.1’de görüldüğü gibi isabetli ve isabetsiz paslar referans alınarak üretilmiştir.



**Şekil 4.1:** İsbetli, isabetsiz ve kilit pasları.

Optasport kendi ölçüm verilerini Türkiye’de maçkolik şirketi vasıtası ile açık kaynak olarak maçkolik’in web adresinden paylaşmıştır. Şekil 4.1, Başakşehir F.K.’li 1 numaralı oyuncu Volkan’ın 1. hafta Fenerbahçe maçındaki paslarını göstermektedir. Şekil 4.1’de yer alan yeşil oklar olumlu pasları, kırmızı oklar başarısız pasları ve sarı oklar kilit pasları göstermektedir.

Çalışma için sarı ve yeşil oklar olumlu pas kategorisinde değerlendirilmiştir. Yukarıdaki Şekil 4.1’de yer alan her bir ok  $x_1, y_1, x_2, y_2$  olarak analitik yönlerine ayrıştırılmıştır. Bu yapılan her bir oyuncunun ileriye, geriye, sağa ve sola pas atma kabiliyetini göstermiştir. Bu veri 2016 /17 sezonunda Başakşehir F.K.’nün her bir oyuncusunun gerek ortalama pas mesafesini gerekse yön bazlı başarı yüzdesini ortaya çıkartmıştır. Pas mesafesi metre olarak belirlenmiştir.

1	hafta	sol	sağ	ileri	geri		kilit				hafta	sol	sağ	ileri	geri
2	1	161,4758	300,3366	189,4113	422,1675						1	52,92652	326,4052	547,7837	517,9298
3	1	183,8242	234,899	246,8786	113,6001						1	32,17444	258,8396	630,792	312,0409
4	1	151,898	284,9082	565,3432	416,8474						1	88,84357	317,893	422,4731	200,3182
5	1	142,3201	391,8428	598,8658	359,922						1	125,5588	146,0529	336,2722	8,7936
6	1	147,9072	246,0713	190,2095	378,5425						1	151,0998	335,9815	521,4446	540,8064
7	1	135,9348	278,5241	530,2243	329,5973						1	52,92652	355,6659	389,7487	398,227
8	1	119,9717	406,7392	539,004	334,9174						1	192,604	417,9114	638,7736	531,7622
9	1	122,3662	343,9617	542,1966	375,3504						1	190,2095	249,2634	627,5994	123,1764
10	1	100,0178	225,3228	543,7929	69,97507						1	156,6869	268,9479	431,2528	8,7936

Şekil 4.2: Oyuncu için pas verileri.

Pas uzunluklarını simgeleyen okların  $x_1, y_1, x_2, y_2$  koordinatlarına ayrıştırılmış hali Şekil 4.2’de verilmiştir. Daha sonra Şekil 4.1’deki ekran görüntüsündeki saha ölçüleri 550 X 838 iken yapılan çalışmada Türkiye’deki bir çok stadın gerçek saha ölçüsü olan 68 X 105’e dönüştürülmüştür. Buradaki dönüşüm için  $x$  koordinatları 0,12524 ile  $y$  koordinatları ise 0,12372 ile çarpılmıştır.

1		Pozitif	metre				Negatif				
2	Hafta	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$		Hafta	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$
3	1	3,498641	15,07292				1	61,97592	23,69542		
4	1	7,896931			15,0071		1	74,97087	6,582062		
5	1	51,77988	16,32351				1	41,78376			14,54636
6	1	57,17778			3,949237		1	26,38975			16,98172
7	1	5,297941	16,38934				1	46,38198	25,34094		
8	1	49,38081	6,31878				1	42,18361	5,26565		
9	1	52,47961			8,885784		1	55,87829	14,08561		
10	1	52,57957	3,883417				1	54,77871			15,59949
11	1	55,5784			19,21962		1	34,38664			32,18628

Şekil 4.3: Oyuncu için pas verileri metre olarak gösterimi.

Yukarıdaki Şekil 4.3, 1. hafta Volkan Babacan’ın yapmış olduğu pasların metre bazlı gösterimidir. Gösterilen  $x_2$  koordinatında veri yoktur. Bu durum Volkan Babacan’ın ilk hafta kendi kalesine doğru herhangi bir geri pas yapmadığını göstermiştir.

Şekil 4.3’de elde edilen mesafeler ile her bir oyuncunun 2016/17 sezonunda yaptığı pasların, 4 ana yön için başarı yüzdeleri ve her bir yön için ortalama mesafeleri belirlenmiştir. Bu belirleme için formül 3.5 kullanılmıştır.

**Tablo 4.2:** 2016/17 sezonu Başakşehir F.K. oyuncularının ortalama pas yüzdeleri.

Numarası	Oyuncu		Sol	Sağ	İleri	Geri
1	Volkan	yüzde	56,90	61,30	56,90	100,00
2	Yalçın	yüzde	80,10	77,20	73,80	97,50
3	Ferhat	yüzde	60,30	72,00	58,00	100,00
5	Emre	yüzde	85,30	85,54	79,77	97,24
6	Epureanu	yüzde	75,80	80,50	73,20	98,10
7	Visca	yüzde	73,80	84,30	64,90	90,70
8	Mussoro	yüzde	82,90	81,00	75,50	88,50
9	Mehmet	yüzde	71,60	66,50	52,10	79,30
10	Doka	yüzde	86,50	73,50	78,90	79,50
11	Eren	yüzde	53,50	87,40	64,40	95,70
14	Bekir	yüzde	83,30	83,50	79,90	95,40
15	Attamah	yüzde	84,50	86,80	79,00	96,10
17	Cengiz	yüzde	74,70	76,30	62,40	90,30
18	Napolioni	yüzde	85,40	87,00	77,20	95,40
19	Mustafa	yüzde	79,20	77,60	66,90	88,00
20	Hakan	yüzde	78,90	87,40	74,60	96,20
21	Mahmut	yüzde	83,00	84,14	76,71	95,52
23	Holmen	yüzde	80,30	81,50	72,02	96,00
26	Adebayor	yüzde	77,34	76,31	63,57	88,43
33	Uğur	yüzde	78,75	64,81	62,88	97,79
34	Cenk	yüzde	0,72	0,75	0,46	100,00
39	Alpaslan	yüzde	78,43	79,76	67,47	96,66
77	İrfan	yüzde	85,50	83,73	76,38	95,72
80	Caiçara	yüzde	83,19	76,92	73,47	96,21
99	Cikalleshi	yüzde	0,00	63,64	100,00	66,67

34 maçlık periyottaki her futbolcunun sağ, sol, ileri ve geri yönlü yüzdeleri formül 3.5’de yer alan formüldeki gibi olumlu pasın, toplam pasa bölümü ile hesaplanmıştır.

Öncesinde dört yöne ayrılan veriler her bir yön için ortalama mesafeyi de hesaplama olanağı sağlanmıştır. Böylelikle pas başarı yüzdesi ile birlikte, oyuncunun başarılı paslarının ortalama mesafeleri de elde edilmiştir. Tablo 4.2 oyuncunun 2016/17 sezonun içerisinde yapmış olduğu tüm pasların ortalama mesafesini göstermiştir. Tablo 4.2'yi oluşturmak için 3. Bölümde yer alan formül 3.6 kullanılmıştır.

**Tablo 4.3:** 2016/17 sezonu Başakşehir F.K. ortalama pas mesafesi.

	Numarası	Oyuncu	Sol	Sağ	İleri	Geri
1	Volkan	metre	15,08	13,09	24,12	0,70
2	Yaçın	metre	13,78	11,96	10,69	9,51
3	Ferhat	metre	7,44	8,73	10,64	8,99
5	Emre	metre	12,81	13,57	10,50	6,75
6	Epureanu	metre	10,65	14,43	10,59	8,16
7	Visca	metre	10,63	9,84	9,41	7,20
8	Mussoro	metre	9,24	10,06	9,01	7,38
9	Mehmet	metre	8,02	6,83	6,54	6,39
10	Doka	metre	7,77	8,57	13,40	43,45
11	Eren	metre	5,34	9,48	12,32	8,60
14	Bekir	metre	12,97	12,45	11,12	8,55
15	Attamah	metre	12,25	12,20	7,91	8,71
17	Cengiz	metre	9,78	9,75	9,03	8,07
18	Napolioni	metre	7,06	9,34	7,34	7,78
19	Mustafa	metre	7,60	8,26	5,80	6,49
20	Hakan	metre	12,40	10,09	8,55	7,98
21	Mahmut	metre	11,92	11,58	9,19	7,40
23	Holmen	metre	10,55	10,04	8,22	8,08
26	Adebayor	metre	6,97	8,61	7,60	7,21
33	Uğur	metre	11,56	6,53	11,58	8,48
34	Cenk	metre	8,14	8,88	15,42	8,94
39	Alpaslan	metre	5,26	9,77	11,02	8,65
77	İrfan	metre	10,12	9,09	8,52	7,45
80	Caiçara	metre	9,65	5,83	10,75	7,71
99	Cikalleshi	metre	0,00	8,69	4,43	1,85

Tablo 4.2'deki oyuncuların 4 temel yön için belirlenmiş ortalama pas uzunlukları verileri ile Tablo 4.3'deki oyuncuların 4 temel yön için belirlenmiş ortalama pas başarı verileri formül

3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12’de kullanılarak doğrusal ve üstel yaklaşım ile oyuncuların pas başarı puanları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu veriler, doğrusal yaklaşım pas başarı puanı ve üstel yaklaşım pas başarı puanı olan iki ayrı veri seti oluşturmuştur.

№		üstel mesafe tahmini	mesafe hesaplan	mesafeyi gir	yenilenmiş üstel	yenilenmiş lineer	sağ çapraz üstel	sol çapraz	sağ çapraz lineer	sol çapraz lineer
1	volkan sağ	105,0797579	80,25826537	10	100	80,25826537	70,71067812	30,76088	62,59224296	39,41683572
1	volkan sol	32,32838979	-42,88922218	20	32,32838979	42,88922218				
1	volkan ileri	331,0862872	137,2545436	10	100	100				
1	volkan geri									
6	epruano sağ	167,5311315	116,1303409	10	100	100	63,44950442	20,780782	61,26586718	35,79230008
6	epruano sol	21,48044419	-40,35117929	20	21,48044419	40,35117929				
6	epruano ileri	82,08991299	77,51762142	10	82,08991299	77,51762142				
6	epruano geri									
11	eren sağ	78,53730987	82,85023164	10	78,53730987	82,85023164	61,22068332	3,8131182	57,30110303	14,06212267
11	eren sol	3,81602351	-14,28836092	20	3,81602351	14,28836092				
11	eren ileri	97,7359234	79,33595318	10	97,7359234	79,33595318				
11	eren geri									
33	uğur sağ	27,60666947	42,29879725	10	27,60666947	42,29879725	16,74540209	10,224705	27,58726627	23,30734732
33	uğur sol	11,69515836	-30,34787836	30	11,69515836	30,34787836				
33	uğur ileri	21,0626198	36,39254777	20	21,0626198	36,39254777				
33	uğur geri									

**Şekil 4.4:** Doğrusal ve üstel yaklaşım ile veri üretimi.

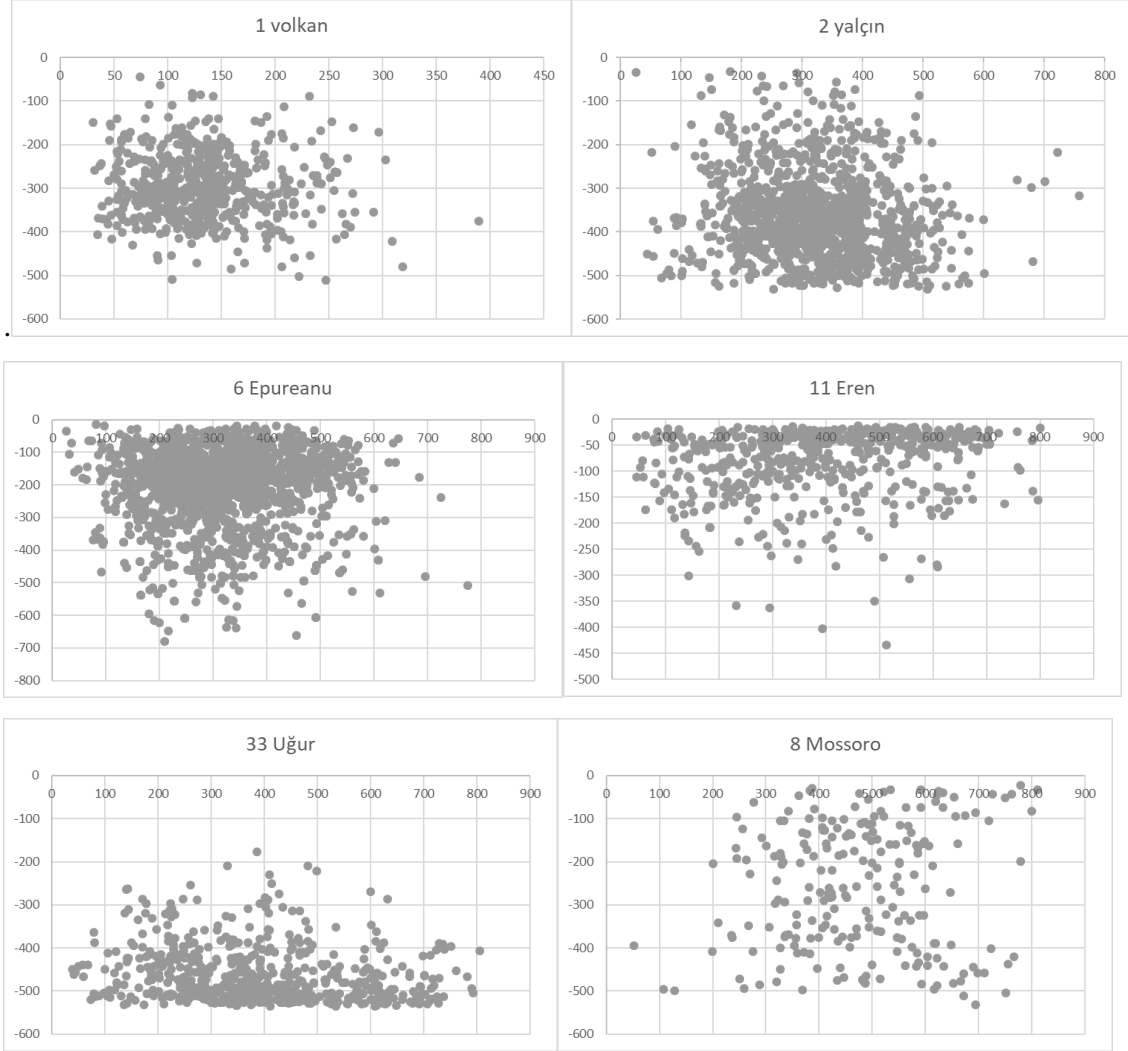
Her bir oyuncuya ait pas başarı puanı ve ortalama mesafe verileri formül 3.13 kullanılarak bir bilgisayar programına uygulanmış ve her mesafe için bir performans puanı oluşturulmuştur. Şekil 4.4’de üretilen bu verilerin ekran görüntüsü yer almaktadır. Şekil 4.4’deki ekranda topun ileri hareketini sağlayacak sağ, sol ve ileri olan 3 ana yön ve bunların dışında sağ ileri, sol ileri olarak adlandırılan 2 ara yön bulunmaktadır.

Oyuncuların 2016/17 sezonunda oynadıkları maçlarda pas için topa vuruş yaptıkları bölgeler her bir oyuncu için tespit edilmiş sonra ağırlıklı olarak buldukları bölgeler belirlenmiştir. Oyuncunun kadroda bulunacağı herhangi bir müsabaka için yer alacağı bölgeler bu noktalar ile sınırlandırılmıştır.

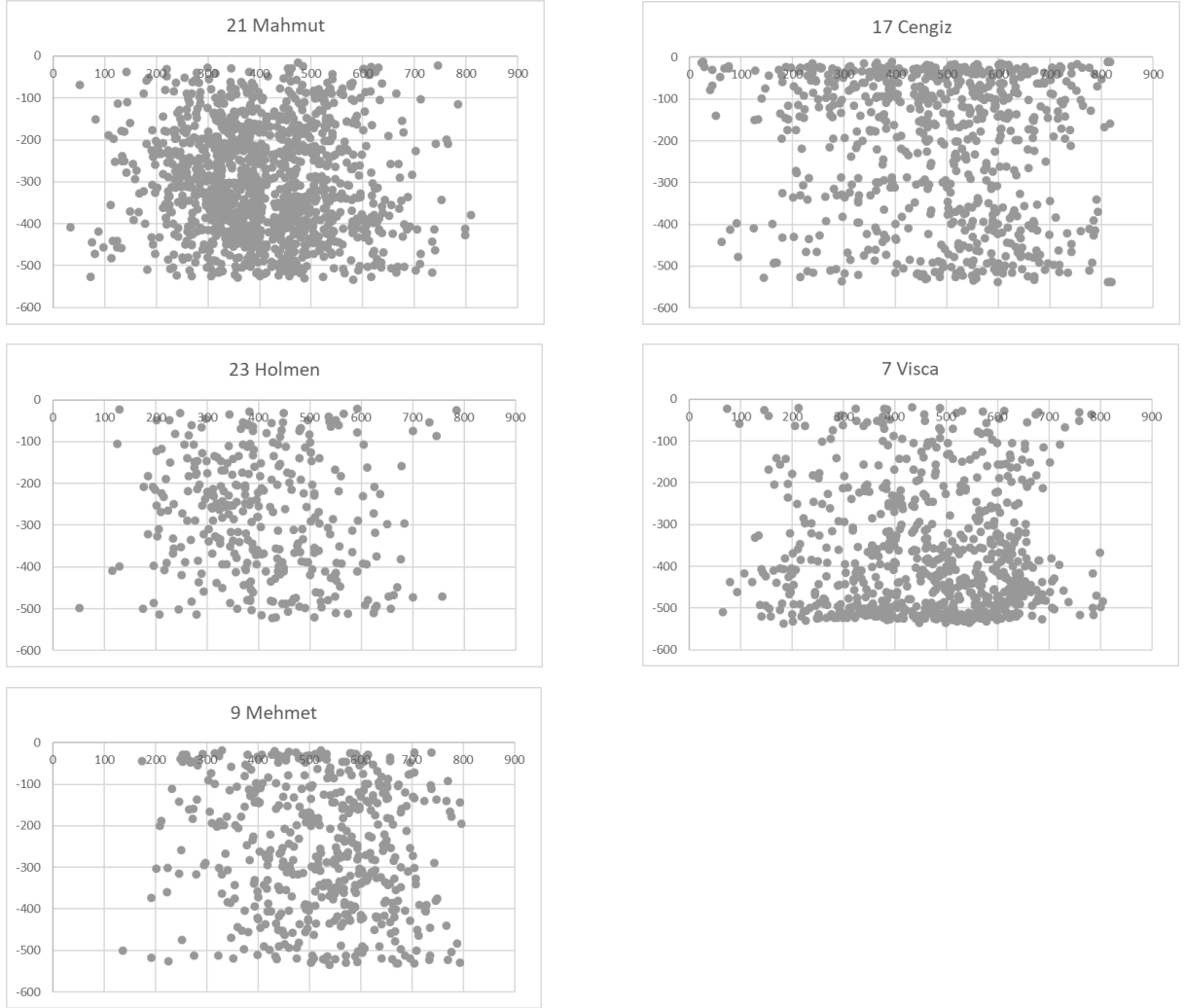
Futbol oyununda her oyuncunun muhafaza ettiği bir alan mevcuttur. Bu alan her yeni müsabaka için ufak tefek farklılıklar arz etmektedir. Tezin uygulama bölümü için Başakşehir F.K.’lı her oyuncunun 2016/17 sezonunda 34 maçlık pas için topa vuruş yaptıkları bölgeler belirlenmiştir. Böylelikle oyuncuların saha içindeki ortalama pozisyonları tespit edilmiştir. Tezin uygulama bölümü için Başakşehir F.K.’ün 2016/17 sezonunda oynadığı 34 müsabaka içerisinde rassal olarak seçilen bir müsabaka irdelenmiştir. Seçilen bu müsabaka Bursaspor ile Başakşehir F.K. arasında oynanmıştır. 2016/17 sezonun 2. haftası Başakşehir F.K ile Bursaspor karşılaşmış ve müsabaka Bursa’da Timsah Arena’da oynanmıştır. Başakşehir F.K’in bu müsabaka için seçilmiş olduğu 11 oyuncu ortalama pozisyonları 2016/17 sezondaki verilere göre



belirlenmiştir. Şekil 4.5’deki pozisyonlar Başakşehir F.K. ‘lü oyunculara ait olup tüm sezonluk veriler kullanılarak oluşturulmuştur.

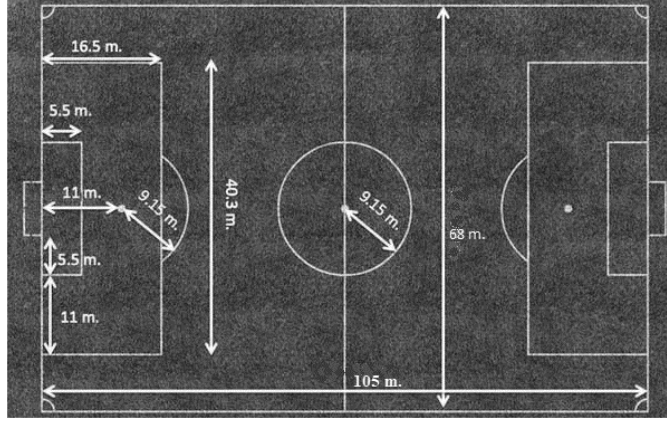


Şekil 4.5: 11 oyuncunun 2016/17 sezonu pas noktaları.



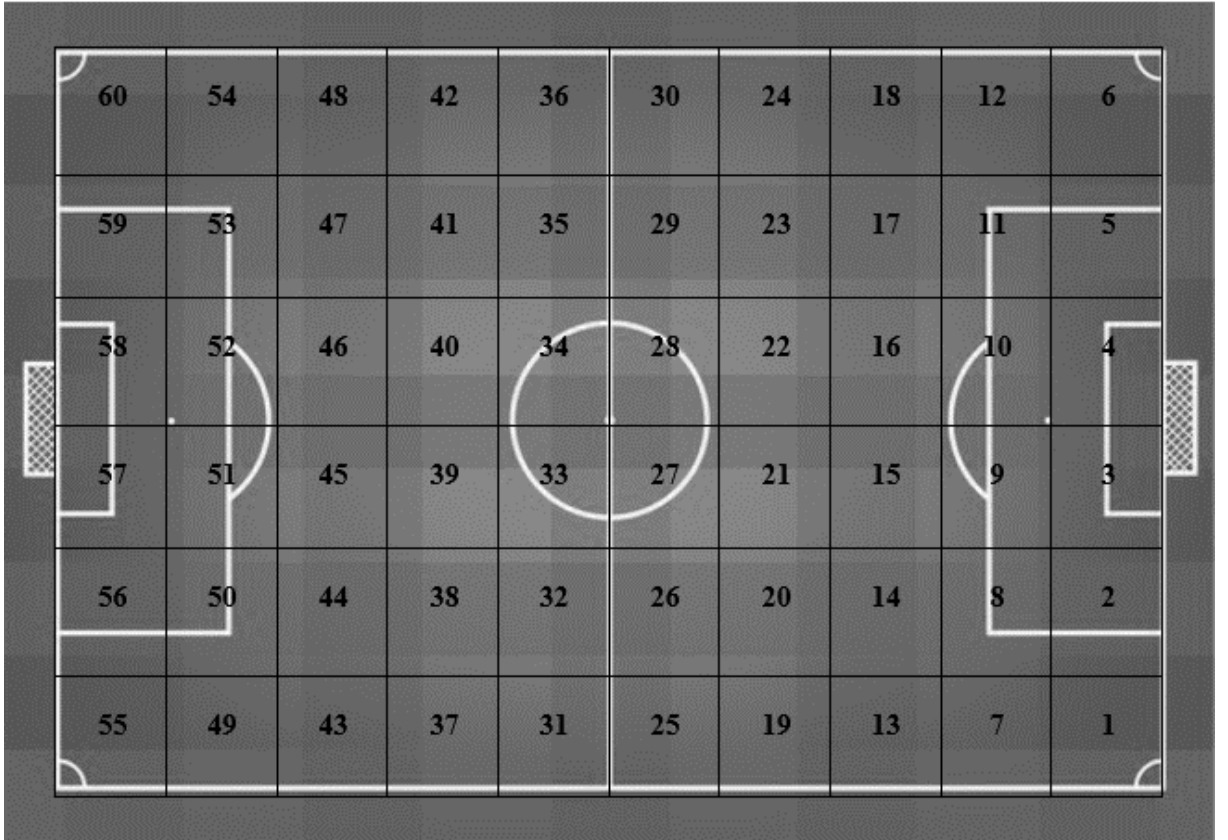
**Şekil 4.5 (Devam):** 11 oyuncunun 2016/17 sezonu pas noktaları.

Şekil 4.5’de yer alan grafiklerde uzunluk birimlerinin dönüşümü için sahanın tamamı  $x$  koordinatı 833,  $y$  koordinatı 550 birim olarak belirlenmiştir. Buna göre  $x$  koordinatındaki 416.4 noktası orta sahayı,  $y$  eksenindeki 130 noktası ise ceza alanı yatay çizgisini göstermiştir. Türkiye’de futbol maçlarının oynandığı saha ölçüleri çoğunlukla Şekil 4.6’daki standartlara sahiptir. Şekil 4.6’daki standartlara Bursaspor’un maçlarını oynadığı Timsah Arena’da dahildir. Bursaspor’un stadı Timsah Arena’nın saha ölçüleri 105 x 68 metredir.



Şekil 4.6: Futbol sahası ideal ölçüleri.

Bu çalışma için 105 x 68'lik saha 60 eşit parçaya bölünmüştür ve Şekil 4.7' de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak her bir bölge için 12 metrekarelik bir alan oluşmuştur. Sahanın 60 parçaya bölünmesi sonuçların daha hassas alınmasını hedeflemiştir.



Şekil 4.7: Bir futbol sahasının 60 ayrı bölgeye bölünmesi.

**Tablo 4.4:** 2016/17 sezonu sahadaki 22. bölgeye etki eden pas durumu.

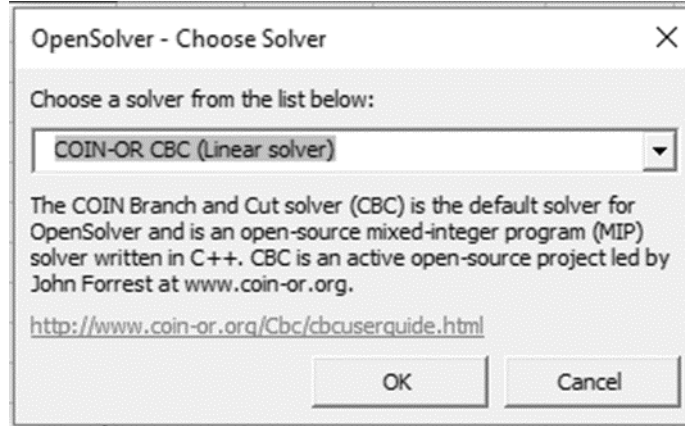
6. bölge	5. bölge *(1)	4. bölge *(1)	3. bölge *(1)	2. bölge *(1)	1. bölge *(11)
12. bölge *(33)	11. bölge *(1) *(33)	10. bölge *(1)	9. bölge *(1) *(6)	8. bölge *(1) *(6)	7. bölge *(6) *(11)
18. bölge *(33)	17. bölge *(2) *(11)*(33)	16. bölge *(2) *(11)	15. bölge *(6) *(11)	14. bölge *(6) *(11)	13. bölge *(6) *(11) *(17)
24. bölge *(2) *(7) *(8) *(33)	23. bölge *(2) *(8) *(11) *(33)	22. bölge *(2) *(8) *(23)	21. bölge *(6) *(23) *(8) *(11)	20. bölge *(6) *(23) *(8) *(11) *(21)	19. bölge *(6) *(23) *(11) *(8) *(17)
30. bölge *(2) *(33) *(7) *(8) *(17)	29. bölge *(2) *(8) *(21) *(33)	28. bölge *(2) *(8) *(21) *(23)	27. bölge *(6) *(8) *(21) *(23)	26. bölge *(6) *(9) *(11) *(23) *(21) *(8)	25. bölge *(6) *(9) *(11) *(17) *(23) *(8)
36. bölge *(7) *(8) *(17) *(33)	35. bölge *(7) *(21) *(8) *(23) *(17) *(33)	34. bölge *(8) *(21) *(23)	33. bölge *(8) *(21) *(23)	32. bölge *(8) *(9) *(11) *(23) *(21) *(17)	31. bölge *(8) *(9) *(11) *(17) *(23)
42. bölge *(7) *(9) *(8) *(17) *(33)	41. bölge *(8) *(7) *(9) *(17) *(21) *(23)	40. bölge *(8) *(17) *(9) *(21) *(23)	39. bölge *(8) *(9) *(21) *(23)	38. bölge *(8) *(9) *(23) *(21) *(17)	37. bölge *(8) *(9) *(11) *(17)
48. bölge *(7) *(9) *(8) *(17) *(33)	47. bölge *(8) *(7) *(9) *(17) *(21)	46. bölge *(9) *(21)	45. bölge *(9)	44. bölge *(8) *(9) *(17)	43. bölge *(8) *(9) *(11) *(17)
54. bölge *(7) *(9) *(17) *(33)	53. bölge *(7) *(9)	52. bölge *(9)	51. bölge *(9)	50. bölge *(9)	49. bölge *(17)
60. bölge *(7) *(9)	59. bölge	58. bölge	57. bölge	56. bölge *(9)	55. bölge

Tablo 4.4’de 60 ayrı bölge içerisindeki oyuncuların dağılımı gösterilirken ayrıca örnek olarak 22. bölgeye gelebilecek pas aktarımlarını ve 22. bölgeden yapılabilecek pas aktarımlarını görmektedir.

#### 4.2. ÖNERİLEN MODELİN GENEL PROBLEMİ

Bu tez çalışmasında geliştirilen matematiksel modelin çözümü için OpenSolver eklentisi kullanılmıştır. OpenSolver’ın gelişimi ve özellikleri, programın geliştiricisi Mason (2012) tarafından tanıtılmıştır. OpenSolver, doğrusal problemlerin çözümü için Coin-OR CBC optimizasyon motoru kullanırken doğrusal olmayan problemler için NOMAD optimizasyon motorunu kullanmaktadır. Önerilen problemin çözümü için açık kaynak şeklinde kullanımına izin verilen Coin-OR CBC optimizasyon motoru kullanılmıştır. Benzer uygulama daha önce Mason ve Dunning (2010) tarafından kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Coin-OR CBC çözüm motorunun içinde yer alan algoritma “Dal Sınır Algoritması”(DSA) dır. Bu algoritma Sırt Çantası Problemleri ve Gezgin Satıcı Problemleri için başarılı sonuçlar vermiştir.

Bu bölümde önerilen model için iki farklı problem çözülmüştür. Ayrıca problemin çözümü için Şekil 4.8’de görüldüğü gibi bir solver motoru seçilmiştir. Seçilen solver motorunun vermiş olduğu sonuç ekranı Şekil 4.9’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Opensolver solver seçimi.

```

OpenSolver - Optimisation Running
Cbc0038I Cleaned solution of 1.20229
Cbc0038I Before mini branch and bound, 420 integers at bound fixed and 0
continuous
Cbc0038I Mini branch and bound did not improve solution (0.01 seconds)
Cbc0038I After 0.01 seconds - Feasibility pump exiting with objective of 1.20229
- took 0.00 seconds
Cbc0012I Integer solution of 1.202293 found by feasibility pump after 0
iterations and 0 nodes (0.01 seconds)
Cbc0001I Search completed - best objective 1.202293037684114, took 0 iterations
and 0 nodes (0.01 seconds)
Cbc0035I Maximum depth 0, 0 variables fixed on reduced cost
Cuts at root node changed objective from 1.20229 to 1.20229
Probing was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding
rounds of cuts (0.000 seconds)
Gomory was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding
rounds of cuts (0.000 seconds)
Knapsack was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after
adding rounds of cuts (0.000 seconds)
Clique was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding
rounds of cuts (0.000 seconds)
MixedIntegerRounding2 was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were
active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)
FlowCover was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after
adding rounds of cuts (0.000 seconds)
TwoMirCuts was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after
adding rounds of cuts (0.000 seconds)

Result - Optimal solution found

Objective value:          1.20229304
Enumerated nodes:         0
Total iterations:         0
Time (CPU seconds):       0.02
Time (wallclock seconds): 0.02

Total time (CPU seconds): 0.03 (wallclock seconds): 0.03

Process completed successfully.

Elapsed Time: 0s
OK Cancel

```

Şekil 4.9: Opensolver uygulaması.

#### 4.2.1. Başlangıç ve Bitiş Bölgelerinin Belli Olduğu Top Akış Probleminin Çözümü

Futbol sahasındaki topun savunma bölgesinden hücum bölgesine aktarılmasını sağlayan model için topun aktarımına başlandığı ve aktarımın sonlandırıldığı bölgelerin önceden belirlendiği problem modellenmiştir. Başlangıç ve bitiş bölgelerinin belli olduğu top akış problemi için iki bölge belirlenmiştir. İlki, oyuncuların saha içerisinde savundukaları alan arasında yer alan bir bölgedir. Bu 3 numaralı bölge olup kaleye en yakın bölgelerden bir tanesidir ve kalecinin topu oyuna sokarken sıklıkla kullandığı bir bölgedir. İkincisi ise, hücum bölgesinin en uç noktaları arasında yer alan 56. bölgedir. 56. bölge rakip ceza sahası içerisinde yer alıp gol atmak için

etkili bir noktadır. Bu iki bölge etki durumlarına göre rassal seçilmiştir. Böylelikle rota, 3. bölgedeki oyuncunun topu oyuna sokması ile başlamış, 56. bölgedeki oyuncuya topun ulaşması ile tamamlanmıştır. Buradaki puanlama yapılırken kullanılan veri, sezon içerisindeki oyuncuların ortalama pas başarı yüzdeleri esas alınarak üretilmiştir. Bu puan aralığı 0 ile 1 arasındadır. Herhangi bir bölgeye atılmayan her pas 1 olarak değerlendirilmiştir. Bu sebepten dolayı ulaştırma problemi, en büyükleme problemi formuna dönüşmüştür. Ayrıca birçok bölgeye en iyi performansı gösteren iki oyuncunun atanması, oyuncuların “duvar pası” yapma durumunu ortaya çıkarmıştır. Başlangıç bölgesi olan 3. bölge için oluşturulmuş kısıt -1’e eşitlenmiştir. Çünkü bölgeye başka bir bölgeden aktarılan top yok kabul edilmiştir ve başlangıç noktası olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde son bölge olan 56. bölge için kısıt 1’e eşitlenmiştir. Çünkü 56. bölgeden başka bir bölgeye aktarım olmamıştır. 56. bölge topun son istasyonu olarak belirlenmiştir.

#### Matematiksel modelin toplam olduğu durum:

Aşağıdaki matematiksel model pas performansları toplamını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak bilinmektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu :} \quad \text{Max} \sum_{i=1}^{60} \sum_{j=1}^{60} c_{ijk} x_{ij} + \sum_{i=1}^{60} \sum_{j=1}^{60} c_{ijv} x_{ij} \quad (4.1)$$

4.1’deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzv} \quad (4.2)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=2, j \neq 1}^{60} x_{1j} - \sum_{j=2, j \neq 1}^{60} x_{j1} = 0 \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1, j \neq 2}^{60} x_{2j} - \sum_{j=1, j \neq 2}^{60} x_{j2} = 0 \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=2, j \neq 3}^{60} x_{3j} - \sum_{j=2, j \neq 3}^{60} x_{j3} = -1 \quad (4.6)$$

$$\left(\sum_{i=4}^{55} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ij} + \sum_{i=57}^{60} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ij}\right) - \left(\sum_{i=4}^{55} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji} + \sum_{i=57}^{60} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji}\right) = 0 \quad (4.7)$$

$$\sum_{j=56, j \neq i}^{56} x_{ij} - \sum_{j=56, j \neq i}^{56} x_{ji} = 1 \quad (i = 1, 2, 3 \dots 60) \quad (4.8)$$

$$x_{ij} > 0, x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4.9)$$

$$x_{ji} > 0, x_{ji} \in \{0, 1\} \quad (4.10)$$

Matematiksel modelin çarpım olduğu durum:

Aşağıdaki matematiksel model pas performansları çarpımını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının hem başladığı hem de sonlandığı bölge kesin olarak bilinmektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu:} \quad \text{Max} \prod_{i=1}^{60} \prod_{j=1}^{60} c_{ijk} x_{ij} * \prod_{i=j}^{60} \prod_{j=1}^{60} c_{ijv} x_{ij} \quad (4.11)$$

4.11'deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzv} \quad (4.12)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (4.13)$$

$$\sum_{j=2, j \neq i}^{60} x_{1j} - \sum_{j=2, j \neq i}^{60} x_{j1} = 0 \quad (4.14)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{2j} - \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{j2} = 0 \quad (4.15)$$

$$\sum_{j=2, j \neq 3}^{60} x_{3j} - \sum_{j=2, j \neq 3}^{60} x_{j3} = -1 \quad (4.16)$$

$$\left(\sum_{i=4}^{55} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ij} + \sum_{i=57}^{60} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ij}\right) - \left(\sum_{i=4}^{55} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji} + \sum_{i=57}^{60} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji}\right) = 0 \quad (4.17)$$

$$\sum_{j=56, j \neq i}^{56} x_{ij} - \sum_{j=56, j \neq i}^{56} x_{ji} = 1 \quad (i = 1, 2, 3 \dots 60) \quad (4.18)$$



$$x_{ij} > 0, x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4.19)$$

$$x_{ji} > 0, x_{ji} \in \{0, 1\} \quad (4.20)$$

Doğrusal Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları ile Çözüm:

Yukarıda toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 4.1 ve 4.11, doğrusal yaklaşım ile oluşturulan oyuncu pas başarı puanları kullanılarak çözümlenmiştir. Tablo 4.5’de bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.5:** Başlangıç ve bitiş noktalarının belli olduğu problemin doğrusal puanlamayla çözümü.

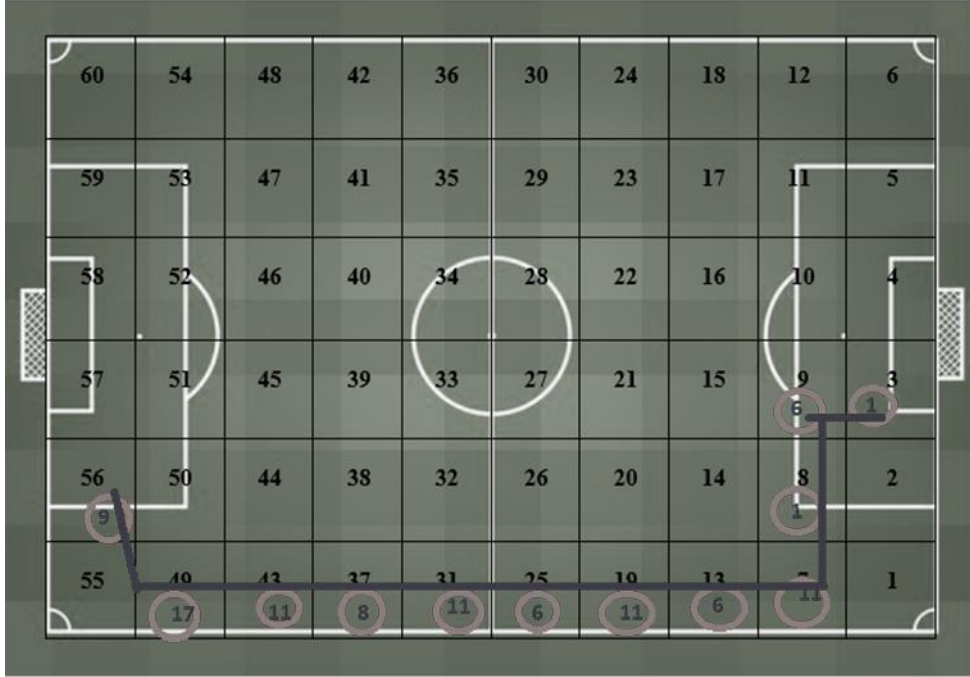
Bölge	3	9	8	7	13	19	25	31	37	43	49	56
Oyuncu	1	6	1	11	6	11	6	11	8	11	17	9

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri :0,15689

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri :451,580

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.10:** Önerilen modelin sonuç rotası.



Şekil 4.11: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

Sonuçlar hem çarpım hem de toplam olan amaç fonksiyonları için Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de görüldüğü üzere aynı rotayı vermiştir. Rota Bursaspor müsabakasında 3 numaralı bölgedeki 1 numaralı oyuncu ile oyunun başlamasını ve 56. bölgedeki 9 numaralı oyuncu ile paslaşmanın sonlandırılarak kaleye gol vuruşu denemesini önermiştir. Önerilen model Başakşehir F.K 'lü oyuncuların Bursaspor müsabakasında atak yönüne göre sahanın sol tarafından yapılacak bir atağın etkili olacağını göstermiştir.

#### Üstel Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları ile Çözüm:

Yukarıda toplamı en büyüleyen amaç fonksiyonları 4.1 ve 4.11, üstel yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile çözümlenmiştir. Tablo 4.6'de bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.6:** Başlangıç ve bitiş noktalarının belli olduğu problemin üstel puanlamayla çözümü.

Bölge	3	9	15	16	22	28	27	26	25	31	37	56
Oyuncu	1	1	6	11	21	2	23	21	11	8	11	9

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri 451,0599 dir ve amaç fonksiyonunun rotası Şekil 4.12'de ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir.





Başakşehir F.K.'nün 2016/17 senonun 2. haftası karşılaştıkları Bursaspor karşılaşmasında belirledikleri 11 için modelin belirlediği rota Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Şekil 4.15 37. bölgedeki 11 numaralı oyuncunun topu direkt olarak 56. bölgedeki 9 numaralı oyuncuya göndermesi gerektiği göstermiştir. Ayrıca toplam ve çarpım amaç fonksiyonları için aynı kısıtlar kullanılmış ancak farklı rotalar oluşturmamıştır.

#### 4.2.2. Başlama ve Bitiş Noktalarının Opsiyonel Olduğu Topun Akış Probleminin

##### Çözümü

Matematiksel modelin toplam olduğu durum:

Aşağıdaki matematiksel model pas performansları toplamını en büyükleyerek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak belirlenmemiştir.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \quad \text{Max } \sum_{i=1}^{60} \sum_{j=1}^{60} c_{ijk} x_{ij} + \sum_{i=1}^{60} \sum_{j=1}^{60} c_{ijv} x_{ij} \quad (4.21)$$

Yukarıdaki 4.21'deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar :

$$x_{ijk} \neq x_{jzv} \quad (4.22)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (4.23)$$

$$\sum_{j=2, j \neq 1}^{60} x_{1j} - \sum_{j=2, j \neq 1}^{60} x_{j1} = 0 \quad (4.24)$$

$$\left( \sum_{i=2}^5 \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{1j} + \sum_{i=8}^{11} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{1j} \right) - \left( \sum_{i=2}^5 \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{j1} + \sum_{i=8}^{11} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{j1} \right) = -1 \quad (4.25)$$

$$\sum_{j=1, j \neq 6}^{60} x_{6j} - \sum_{j=1, j \neq 6}^{60} x_{j6} = 0 \quad (4.26)$$

$$\sum_{j=1, j \neq 7}^{60} x_{7j} - \sum_{j=7, j \neq 7}^{60} x_{j7} = 0 \quad (4.27)$$

$$\sum_{j=12, j \neq i}^{44} x_{ij} - \sum_{j=12, j \neq i}^{44} x_{ji} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots 60) \quad (4.28)$$

$$\begin{aligned} & (\sum_{i=44}^{45} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{1j} + \sum_{i=50}^{53} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ij} + x_{56} \sum_{j=1, j \neq 56}^{60} x_{56j}) - \\ & (\sum_{i=44}^{45} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji} + \sum_{i=50}^{53} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji} + x_{56} \sum_{j=1, j \neq 56}^{60} x_{j56}) = 1 \end{aligned} \quad (4.29)$$

$$\sum_{j=46, j \neq i}^{49} x_{ij} - \sum_{j=46, j \neq i}^{49} x_{ji} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots 60) \quad (4.30)$$

$$\sum_{j=57, j \neq i}^{60} x_{ij} - \sum_{j=57, j \neq i}^{60} x_{ji} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots 60) \quad (4.31)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4.32)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ji} \in \{0, 1\} \quad (4.33)$$

Matematiksel modelin çarpım olduğu durum:

Aşağıdaki matematiksel model pas performansları çarpımını en büyükleterek uygun bir rota bulmayı hedeflemiştir. Bu rota için pas akışının başladığı bölge ve sonlandığı bölge kesin olarak bilinmemektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu:} \quad \text{Max} \prod_{i=1}^{60} \prod_{j=1}^{60} c_{ijk} x_{ij} * \prod_{i=j}^{60} \prod_{j=1}^{60} c_{ijv} x_{ij} \quad (4.34)$$

Yukarıdaki 4.34'deki amaç fonksiyonu için aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır.

Kısıtlar:

$$x_{ijk} \neq x_{jzv} \quad (4.35)$$

$$x_{ijk} + x_{ijv} = 1 \quad (4.36)$$

$$\sum_{j=2, j \neq 1}^{60} x_{1j} - \sum_{j=2, j \neq 1}^{60} x_{j1} = 0 \quad (4.37)$$

$$(\sum_{i=2}^5 \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{1j} + \sum_{i=8}^{11} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{1j}) - (\sum_{i=2}^5 \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{j1} + \sum_{i=8}^{11} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{j1}) = -1 \quad (4.38)$$

$$\sum_{j=1, j \neq 6}^{60} x_{6j} - \sum_{j=1, j \neq 6}^{60} x_{j6} = 0 \quad (4.39)$$

$$\sum_{j=1, j \neq 7}^{60} x_{7j} - \sum_{j=7, j \neq 7}^{60} x_{j7} = 0 \quad (4.40)$$

$$\sum_{j=12, j \neq i}^{44} x_{ij} - \sum_{j=12, j \neq i}^{44} x_{ji} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots .60) \quad (4.41)$$

$$\left( \sum_{i=44}^{45} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{1j} + \sum_{i=50}^{53} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ij} + x_{56} \sum_{j=1, j \neq 56}^{60} x_{56j} \right) - \left( \sum_{i=44}^{45} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji} + \sum_{i=50}^{53} \sum_{j=1, j \neq i}^{60} x_{ji} + x_{56} \sum_{j=1, j \neq 56}^{60} x_{j56} \right) = 1 \quad (4.42)$$

$$\sum_{j=46, j \neq i}^{49} x_{ij} - \sum_{j=46, j \neq i}^{49} x_{ji} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots .60) \quad (4.43)$$

$$\sum_{j=57, j \neq i}^{60} x_{ij} - \sum_{j=57, j \neq i}^{60} x_{ji} = 0 \quad (i = 1, 2, 3 \dots .60) \quad (4.44)$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4.45)$$

$$x_{ji} \geq 0, x_{ji} \in \{0, 1\} \quad (4.46)$$

#### Doğrusal Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları İle Çözüm:

Yukarıda toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 4.21 ve 4.34, doğrusal yaklaşım ile oluşturulan oyuncu pas başarı puanları kullanılarak çözümlenmiştir. Tablo 4.8'de bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.8:** Başlangıç ve bitiş opsiyonel olduğu problemin doğrusal puanlamayla çözümü.

Bölge	11	17	23	29	28	27	26	25	31	37	43	50
Oyuncu	1	2	11	21	2	23	21	6	11	8	11	9

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,12433

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri: 451,22930

Sonuçlar hem çarpım hem de toplam olan amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.16'da ve Şekil 4.17'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.





Üstel Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları ile Çözüm:

Yukarıda toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 4.21 ve 4.34, üstel yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanlarıyla çözümlenmiştir. Tablo 4.9'da bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.9:** Başlangıç ve bitiş opsiyonel olduğu problemin üstel puanlamayla çözümü.

Bölge	8	7	13	19	25	31	37	43	50
Oyuncu	1	11	6	11	6	11	8	11	9

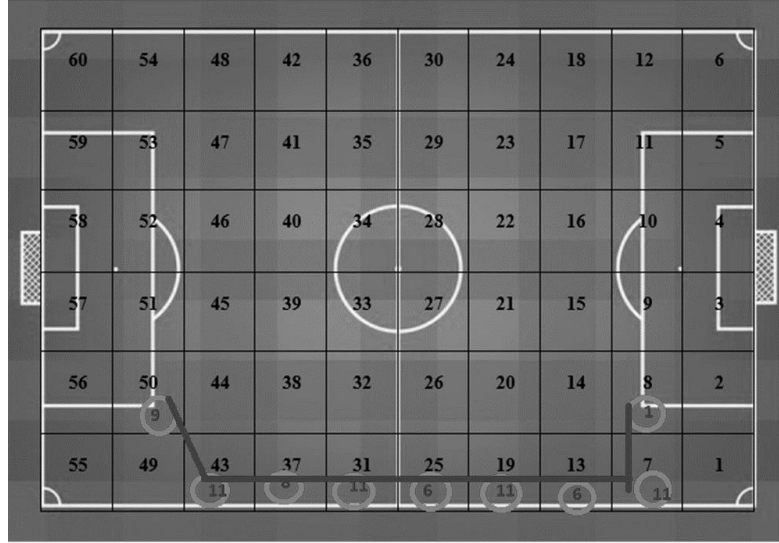
Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,23598

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri: 451,79878

Sonuçlar hem çarpım hem de toplam olan amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.18'de ve Şekil 4.19'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.18:** Önerilen modelin sonuç rotası.

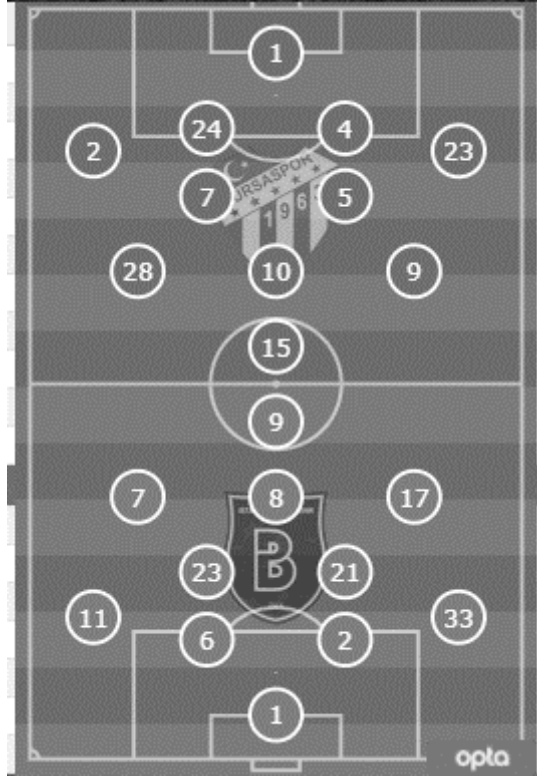


Şekil 4.19: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

Şekil 4.19'daki rota Başakşehir F.K.'lü oyuncuların Bursaspor müsabakası için atağı kendi ceza sahaları içerisinde yer alan 8 numaralı bölgeden kalecileriyle başlatmalarını göstermiştir. Atak 7. bölge ile sahanın sol tarafına yönelmiş ve 43. bölgeye kadar sol taraftan devam etmiştir. 43. bölgedeki 11 numaralı oyuncu, rakip caza sahası içerisinde yer alan 50. bölgedeki 9 numaralı oyuncuya topu aktararak rotayı sonlandırmıştır.

#### 4.3. ÖNERİLEN MODELİN GERÇEKLEŞMİŞ BİR ATAK İLE BENZETİMİ

Model, rassal olarak seçilen bir müsabaka içerisindeki atağın rotası ile modelin oluşturduğu rotalar arasındaki benzerlikleri irdelemiştir. Model için bir sezonluk oyuncu performans verileri toplanmış ve bu genel veri rassal olarak seçilen müsabaka için kullanılmıştır. 2016/17 sezonunda ligin ilk yarısında Başakşehir F.K.'nün deplasmanda Bursaspor ile oynadığı maç sırasında gollerin dışında kayda değer pozisyonlar da olmuştur. Yapılan çalışmanın ne kadar gerçeklik taşıdığını test edebilmek için bu pozisyonların rotalarıyla model ile üretilen rotalar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.20: Bursaspor Başakşehir F.K. maç kadrosu.

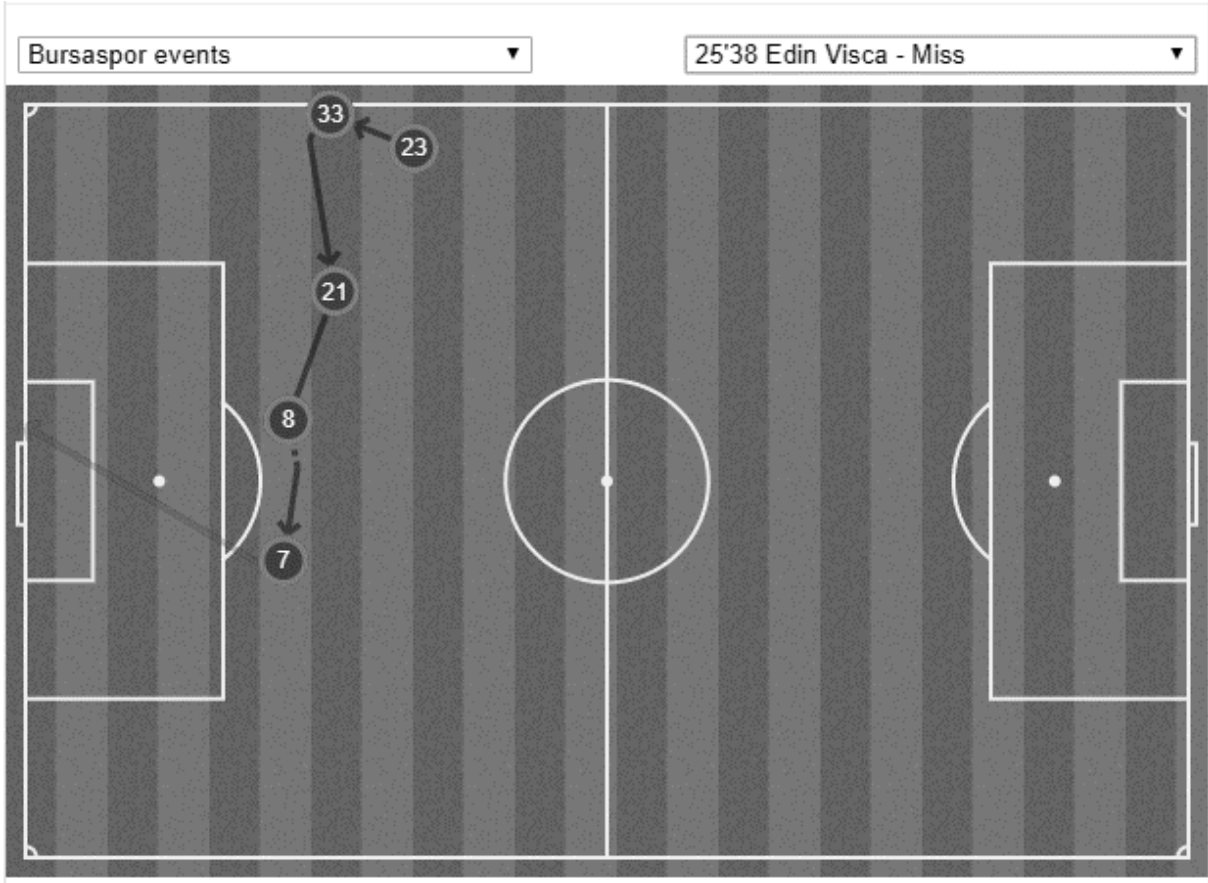
2016/17 sezonunun 2. haftası oynan Bursaspor maçındaki Başakşehirli oyuncuların ortalama pozisyonları Şekil 4.20’de gösterilmiştir ancak bu dizilim Şekil 4.21’de görüldüğü gibi oyun içerisinde farklılıklar arz etmiştir. Bu durum oyuncuların örneklem alınan maç için ortalama pozisyonlarının dışında yer aldıklarını göstermektedir.



Şekil 4.21: 2016/17 sezonu 2.hafta'nın ortalama oyuncu pozisyonları.

#### 4.3.1. 25. Dakikadaki Pozisyon

Maçın 25. dakikasında 23 numaralı Holmen ile 36. bölgeden başlayan atak, sırası ile topun 33 numaralı, 21 numaralı, 8 numaralı oyunculara aktarılarak 7 numaralı Visca'nın kaleye şut çekmesi ile sonuçlanmıştır. Bu atak Şekil 4.22'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.22: 25. dk. daki pozisyon.

25 dk. Pozisyon için oyuncuların kimler olduğu Tablo 4.10'da ve topun paslaşmayla izlediği rota Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.10:** Önerilen model için gerçekleşmiş bir atağın rotası.

Bölge	36	42	41	47	46
Oyuncu	23	33	21	8	7

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.23:** Oyunun atak rotası.

Doğrusal Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları İle Çözüm:

Müsabakanın 25. dakikasındaki atak problemi, toplamı en büyükleyen amaç fonksiyonu 3.57'e göre doğrusal yaklaşımla oluşturulan oyuncu pas başarı puanları kullanılarak çözümlenmiştir. Tablo 4.11'de bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.11:** Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü.

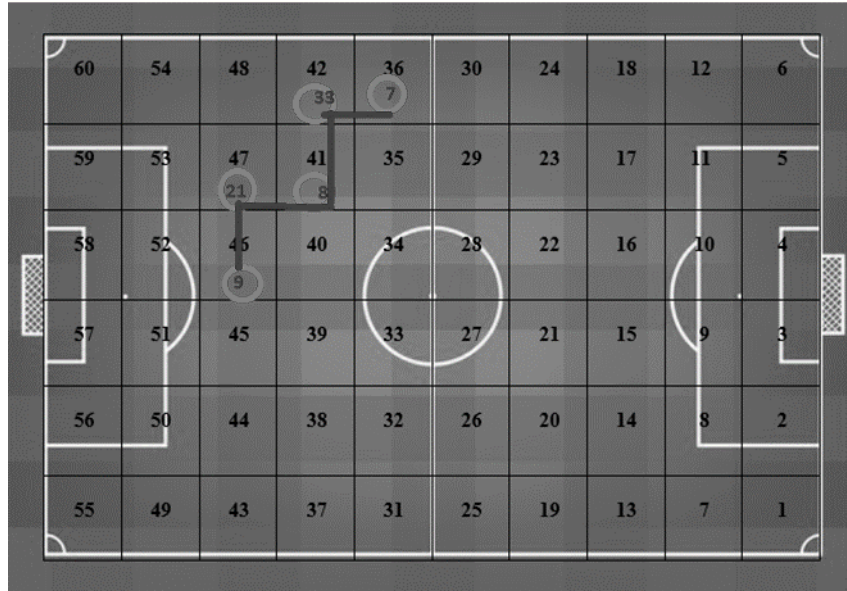
	36	42	41	47	46
Oyuncu	8	33	8	21	9

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri: 452,2597

Oyuncu performanslarının toplamının en büyüklendiği ve doğrusal yaklaşım performans puanı üretilerek ulaşılan rota Şekil 4.24'da ve Şekil 25'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

Şekil 4.24: Önerilen modelin sonuç rotası.



Şekil 4.25: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

Müsabakanın 25. dakikasındaki atak problemi, çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonu 3.68'e göre doğrusal yaklaşım ile oluşturulan oyuncu pas başarı puanları kullanılarak çözümlenmiştir. Tablo 4.12'de bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.12:** Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü.

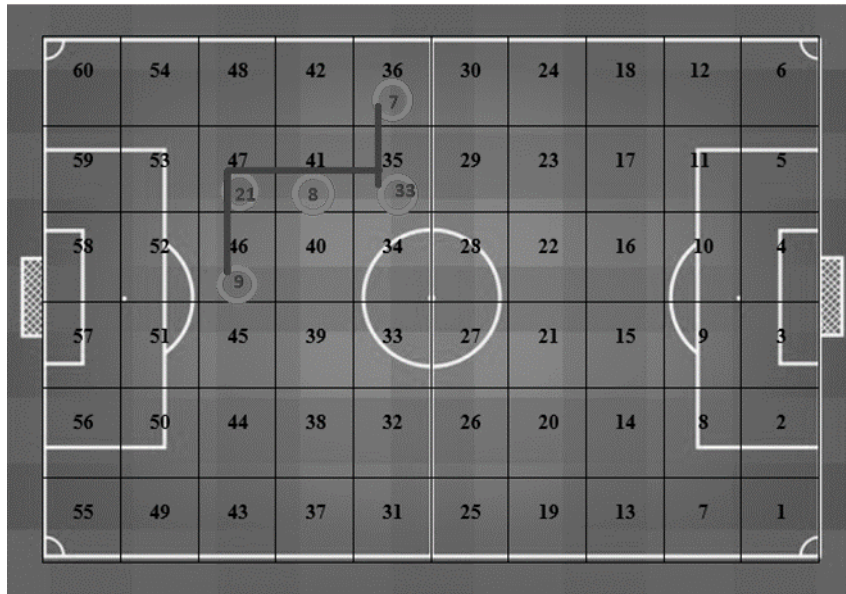
Bölge	36	35	41	47	46
Oyuncu	7	33	8	21	9

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,38419

Oyuncu performanslarının çarpımının en büyükleendiği ve doğrusal yaklaşım performans puanı kullanılarak ulaşılan rota Şekil 4.26’da ve Şekil 27’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

Şekil 4.26: Önerilen modelin sonuç rotası.



Şekil 4.27: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

#### Üstel Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları ile Çözüm:

Müsabakanın 25. dakikasındaki atak problemi, toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 3.57 ve 3.68’e göre üstel yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile çözümlenmiştir. Tablo 4.13’de bu çözüm gösterilmiştir.

**Tablo 4.13:** Gerçek bir atağın önerilen model de üstel puanlamayla çözümü.

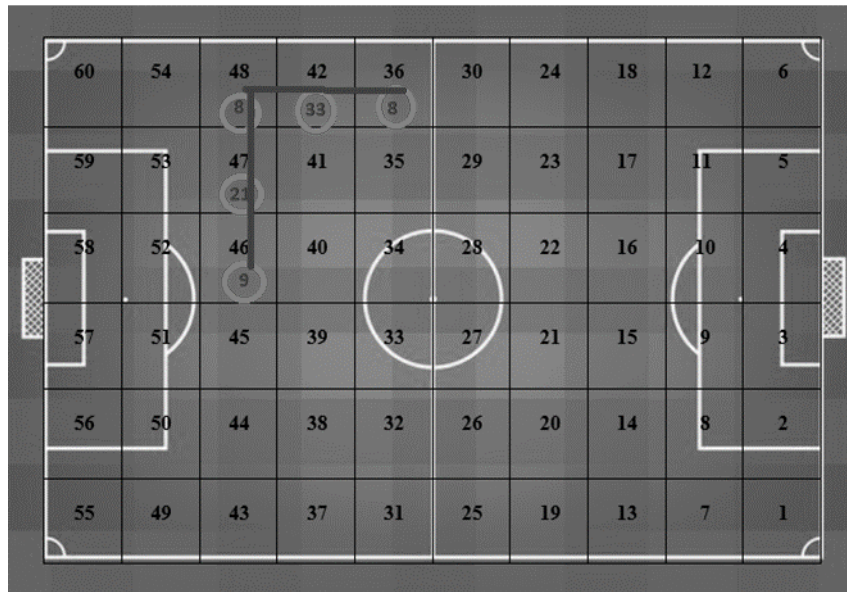
Bölge	36	42	48	47	46
Oyuncu	8	33	8	21	9

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,42341

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri: 452,27546

Sonuçlar hem çarpım hem de toplam olan amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.28'de ve Şekil 4.29'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

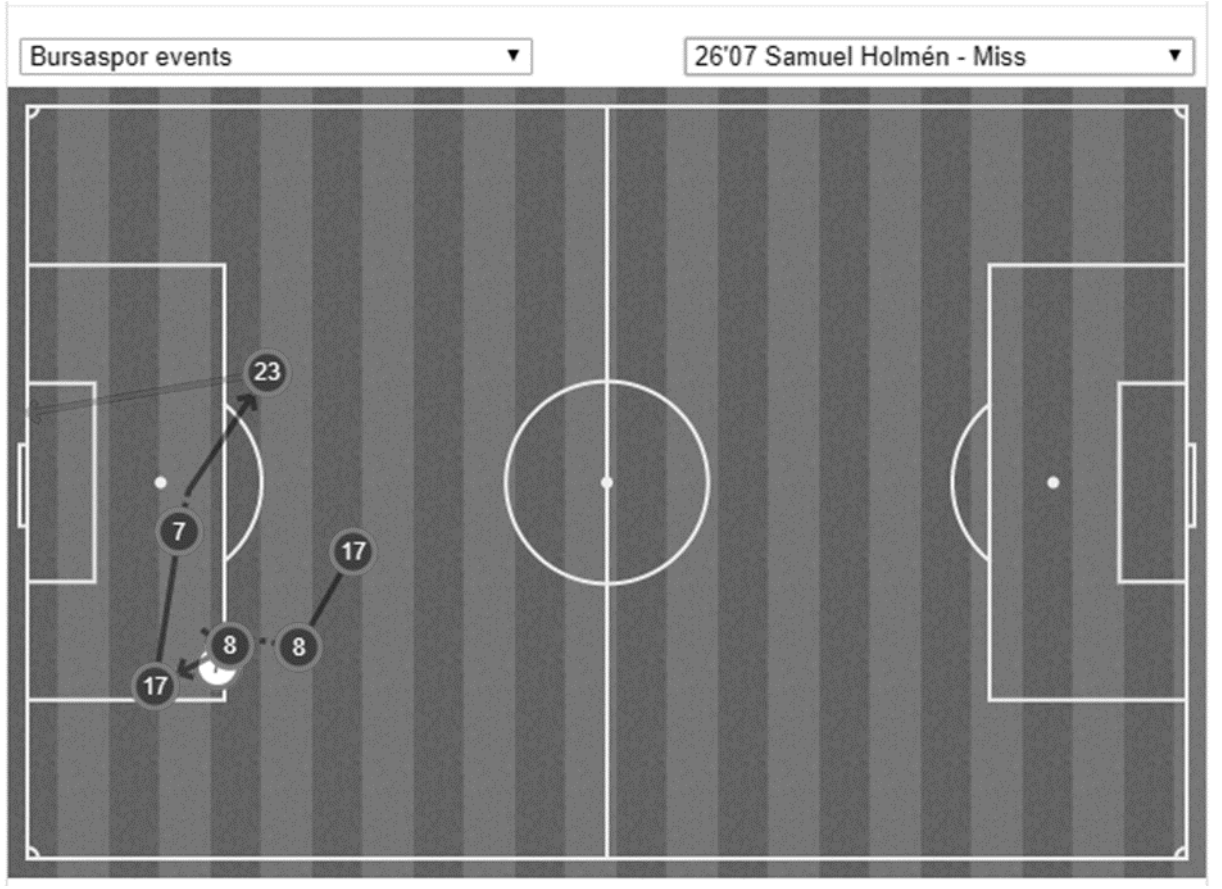
**Şekil 4.28:** Önerilen modelin sonuç rotası.**Şekil 4.29:** Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.



Yukarıdaki sonuçları değerlendirirsek doğrusal yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanlarıyla toplamı en büyükleme yapılan problemin sonucu oyun içerisinde gerçekleşen atak organizasyonu ile rotanın tam olarak benzediğini gösterdi. Farklılık oyuncu sıralamasında göze çarpmakta bunun en büyük sebebi, her oyuncunun oyun içerisinde pozisyon gereği alışılmış alanın dışında bulunabilmesi hatta bazen kalecinin bile rakip kalede gol aradığı pozisyonlar olmaktadır. Klasik diziliş için oyuncuları buldukları bölgelere atama yapılırken ileri uç oyuncuyu tek oyuncu olarak belirlenmişti. Bu yüzden rota her defasında topu ilerideki tek oyuncuya (mehmet) ulaştırılmasıyla sonuçlanmıştır.

#### 4.3.2. 26. Dakikadaki Pozisyon

Maçın 26. dakikasında sahanın 32 . bölgesindeki takımın 17 numaralı oyuncusu olan Cengiz ile başlayan atak sırası ile 8 numaralı Mussoro, 17 numaralı Cengiz, 7 numaralı Visca, ve 23 numaralı Homen vasıtasıyla atak aut ile sonuçlanmıştır. Bu pozisyon Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30: 26. dk. daki pozisyon.

26 dk. pozisyon için oyuncuların kimler olduğu Tablo 4.14’de ve topun pas ile izlediği rota Şekil 4.31’da gösterilmiştir.

**Tablo 4.14:** Önerilen model ile gerçek bir atağın rotası.

Bölge	33	38	44	50	51	46
Oyuncu	17	8	8	17	7	23

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.31 :** Oyunun atak rotası.

Doğrusal Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları İle Çözüm:

Müsabakanın 26. dakikasındaki atak problemi, toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 3.57 ve 3.68’e göre doğrusal yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile çözümlenmiştir. Tablo 4.15’de bu çözüm gösterilmiştir.

Amaç fonksiyonun toplam olduğu sonuç: 452,2281

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,406595

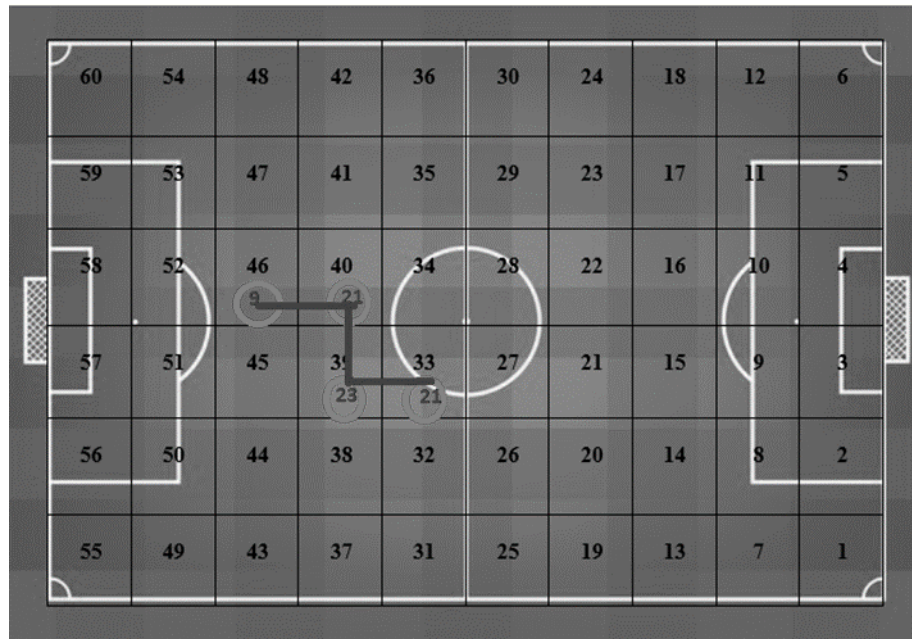
**Tablo 4.15:** Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü.

Bölge	33	39	40	46
Oyuncu	21	23	21	9

Sonuçlar hem çarpım olan hem toplam olan amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.32’de ve Şekil 4.33’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

Şekil 4.32: Önerilen modelin sonuç rotası.



Şekil 4.33: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

#### Üstel Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları ile Çözüm:

Müsabakanın 26. dakikasındaki atak problem, toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 3.57 ve 3.68'e göre üstel yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile çözümlenmiştir. Tablo 4.16'da bu çözüm gösterilmiştir.

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,3476

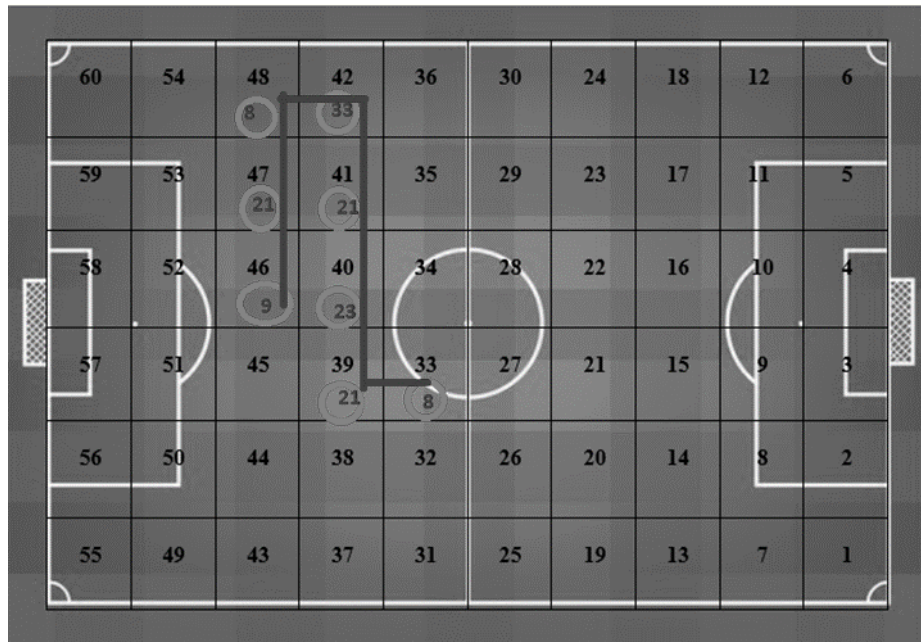
Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri : 452,09660

**Tablo 4.16:** Gerçek bir atağın önerilen model de üstel puanlamayla çözümü.

Bölge	33	39	40	41	42	48	47	46
Oyuncu	8	21	23	21	33	8	21	9

Sonuçlar hem çarpım hem de toplam olan amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.34'de ve Şekil 4.35'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

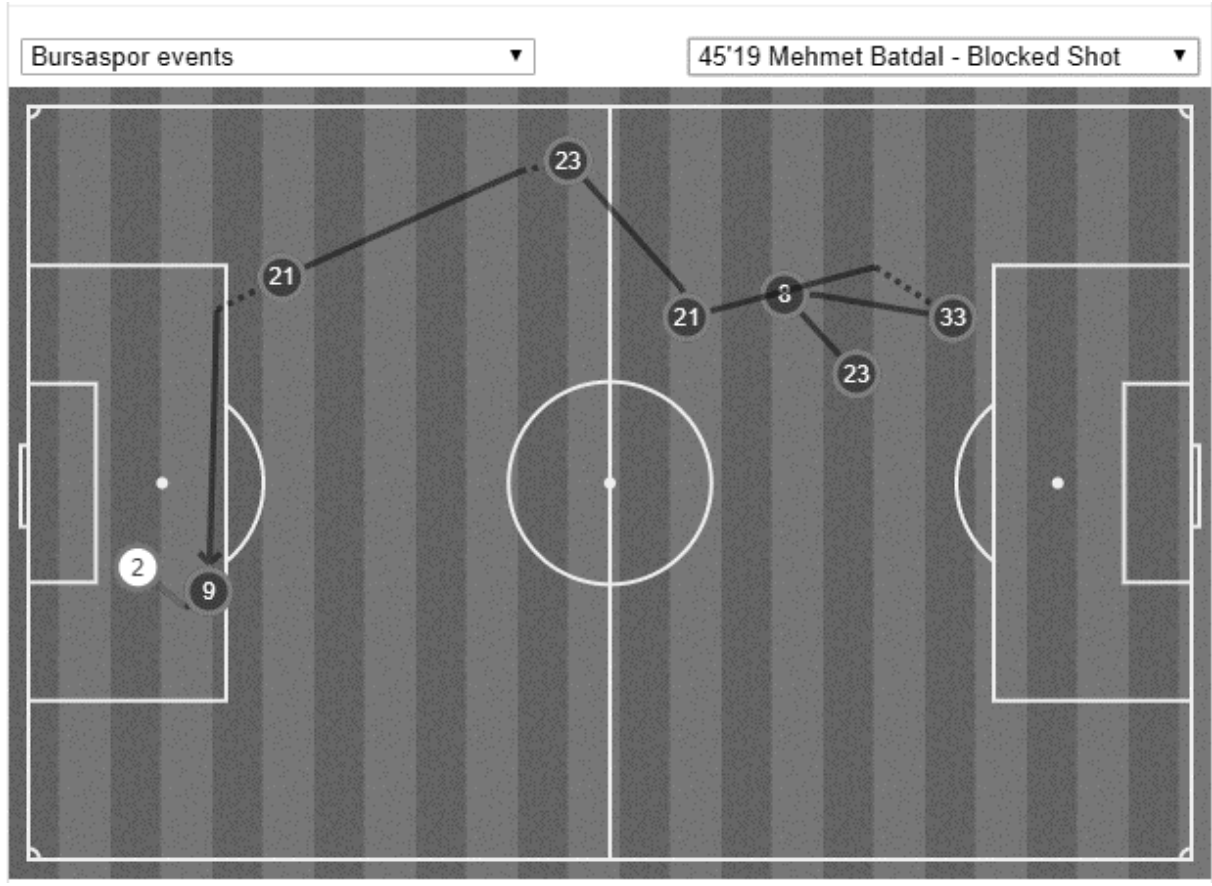
6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.34:** Önerilen modelin sonuç rotası.**Şekil 4.35:** Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

Doğrusal yaklaşımla oluşturulan pas başarı puanları kullanılarak bulunan rota, başlangıç ve bitiş noktaları olarak benzerlikler arz etse de rotanın tamamında farklılık arz etmektedir. Üstel yaklaşımla oluşturulan pas başarı puanları ile üretilen verilerin kullanımında ise ilk top tercihinin sağ kanat olarak göstermektedir. Bu durum oyun içerisindeki ilk top tercihinin sol kanat olması ile örtüşmemektedir. Ancak topun son rotası müsabakada gerçekleşmiş rota ile tutarlık göstermektedir.

#### 4.3.3. 45. Dakikadaki Pozisyon

Maçın 45. dakikasındaki pozisyon 23 numaralı oyuncunun 8 numaralı oyuncuya sonrasında 8 numaralı oyuncunun geriye 33 numaralı oyuncuya, 33 numaralı oyuncunun 21 numaralı oyuncuya akabinde 23 numaralı oyuncu, 21 numaralı oyuncuya tekrar topu aktararak en son 9 numaralı oyuncu ile atak son bulmuştur. Şekil 4.36'da gösterilen geri pas durumundan dolayı bu atağı 33 numaralı oyuncunun 17 bölgede yaptığı pas ile başlatılmıştır.



Şekil 4.36: 45. dk. daki pozisyon.

45 dk. pozisyonun rotası pozisyon hızlı bir atak olduğu için paslar daha büyük boylar da olmuş bu sebepten topun izlediği yol 17., 23., 29., 36., 41., 47., 46., 45. ve 50. bölgeler olarak belirlenmiştir. Bu rota lineer çözüm rotası ile büyük benzerlikler taşımaktadır. 45 dk. pozisyon için oyuncuların kimler olduğu Tablo 4.25’de ve topun hangi pas yolu izlediği rota ise Şekil 4.37’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.17:** Önerilen model ile gerçek bir atağın rotası.

Bölge	17	29	36	47	50
Oyuncu	33	21	23	21	9

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.37:** Oyunun atak rotası.

#### Doğrusal Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları İle Çözüm:

Müsabakanın 45. dakikasındaki atak problem, toplamı ve çarpımı en büyükleyen amaç fonksiyonları 3.57 ve 3.68’e göre doğrusal yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile çözümlenmiştir. Tablo 4.18’de bu çözüm gösterilmiştir.

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,241896

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri: 451,7686

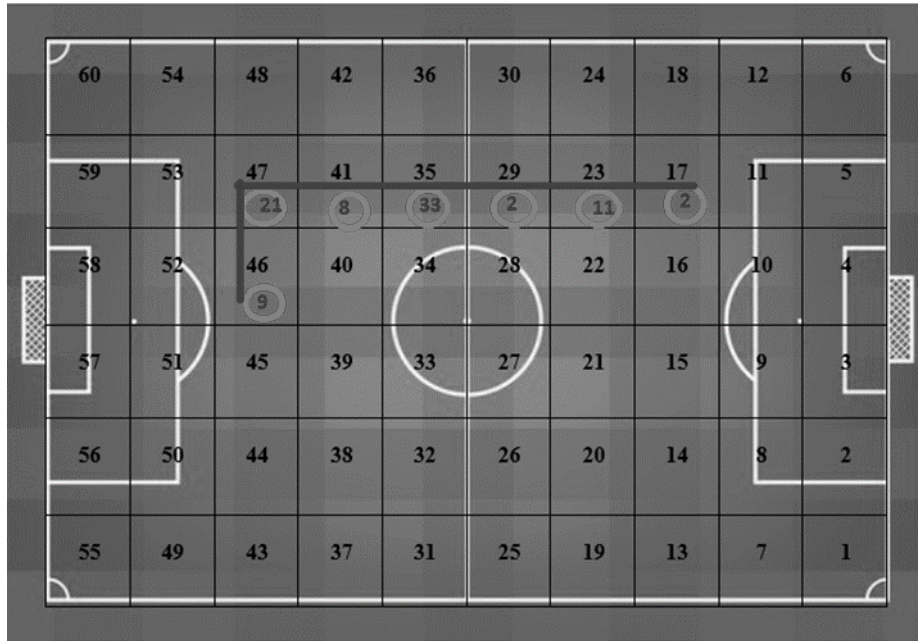
**Tablo 4.18:** Gerçek bir atağın önerilen model de doğrusal puanlamayla çözümü.

Bölge	17	23	29	35	41	47	46
Oyuncu	2	11	2	33	8	21	9

Sonuçlar 4.90 ve 4.101'deki hem çarpım hem de toplam olan amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.38'de ve Şekil 4.39'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

Şekil 4.38: Önerilen modelin sonuç rotası.



Şekil 4.39: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

#### Üstel Yaklaşımla Oluşturulan Pas Başarı Puanları ile Çözüm:

Müsabakanın 26. dakikasındaki atak problem, toplamı ve çarpımı en büyükleen amaç fonksiyonları 3.57 ve 3.68'e göre üstel yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile çözümlenmiştir. Tablo 4.19'da bu çözüm gösterilmiştir.

Çarpım olarak amaç fonksiyonunun değeri: 0,25689

Toplam olarak amaç fonksiyonunun değeri: 451,87152

**Tablo 4.19:** Gerçek bir atağın önerilen model de üstel puanlamayla çözümü.

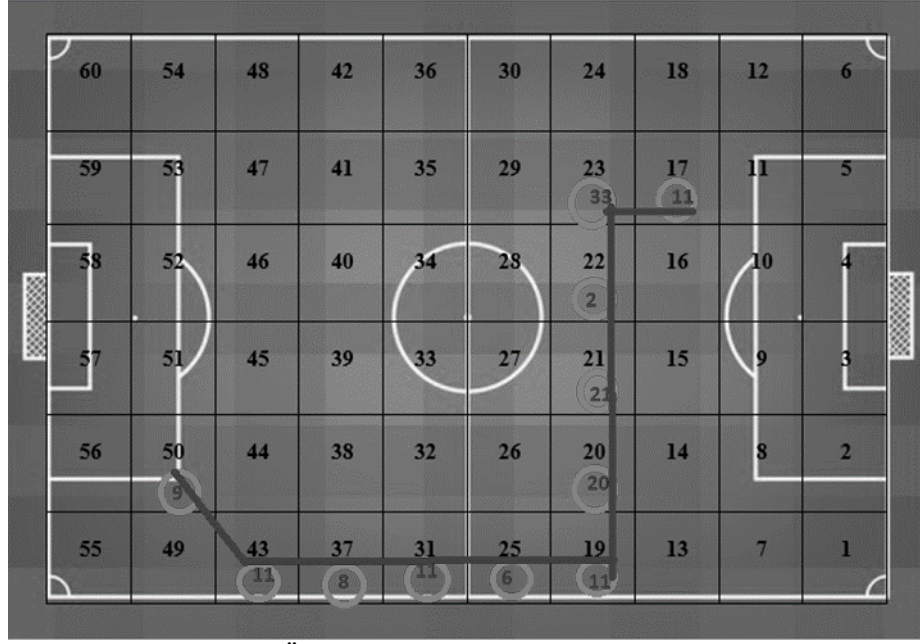
Bölge	17	23	22	21	20	19	25	31	37	43	50
Oyuncu	11	33	2	21	23	11	6	11	8	11	9

Sonuçlar hem çarpım hem de toplam olan 3.57 ve 3.68'deki amaç fonksiyonları için aynı rotayı vermiştir. Rota Şekil 4.40'da ve Şekil 4.41'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

6	5	4	3	2	1
12	11	10	9	8	7
18	17	16	15	14	13
24	23	22	21	20	19
30	29	28	27	26	25
36	35	34	33	32	31
42	41	40	39	38	37
48	47	46	45	44	43
54	53	52	51	50	49
60	59	58	57	56	55

**Şekil 4.40:** Önerilen modelin sonuç rotası.





Şekil 4.41: Önerilen modelin futbol sahasındaki rotası.

Doğrusal yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile varılan sonuç rotası topun sağ kanattan taşındığını göstermektedir ancak topun ulaştığı bölge ile aynı sonucu vermemektedir. Üstel yaklaşım kullanılarak oluşturulan pas başarı puanları ile varılan rota ise topun sol kanattan taşındığı görülürken ataktaki topun taşınma rotası ile büyük benzerlikler içermez. Topun ulaştığı son bölge olan 50. bölge oyununun atak rotasının son istasyonu ile büyük benzerlik taşımaktadır.

## 5. SONUÇ

Futbol sahası içindeki aksiyonlar, futbolun geniş kitleler tarafından izlenmesini sağlamaktadır. Bu aksiyonlar topun rakip kale ile buluşmasını hedeflemektedir. Bu çalışmada, futbol oyun kurgusu incelenerek topun rakip kale ile buluşması için etkili matematiksel modeller geliştirilmiş ve paslaşma için etkin rotaların bulunması sağlanmıştır. Bu rotalar için doğrusal ve üstel yaklaşım ile iki çeşit veri oluşturulmuştur. Oyuncunun performans puanlarının çarpımını ve toplamını en büyükleyen farklı iki model kullanılmıştır. Rotaların etkinliği rassal olarak seçilen bir müsabakadaki başarılı atak rotalarıyla kıyaslanmış ve bazı rotaların benzerlikler taşıdığı tespit edilmiştir. Çalışmada başlangıç ve bitiş noktalarının belli olduğu, başlangıç noktasının opsiyonel olduğu ve bir örneklem müsabaka içerisindeki 3 adet atak rotası problemi olan 5 farklı pas akış problemi çözülmüştür. Bunların her biri için iki matematiksel model geliştirilmiş ve her model için iki tip veri kullanılmıştır. Böylece beş farklı problem için toplam 20 adet sonuç bulunmuştur.

### 5.1. DEĞERLENDİRME

İlk olarak edinilen mesafe verileri oyuncuya pas opsiyonu tanıyacak dört ana yöne ayrıştırılmıştır. Ardından bu dört yön arasındaki her bir akış için bir puanlama geliştirilmiştir. Bu puanlama için iki referans fonksiyon kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar, doğrusal tek boyutlu ve üstel iki boyutlu fonksiyonlardır. Bu iki fonksiyonun mesafe bazlı oluşturduğu verilerden yararlanılarak birçok ara yön aktarımını puanlayabilecek bir formül oluşturulmuştur. Bu formülle oluşturulan puanlar çalışmanın modelleme kısmında kullanılmıştır. Modellemede iki farklı çıkış noktası belirlenmiştir. Bunlardan birincisi oyunculara ait pas başarı puanının toplamını, ikincisi ise yine oyunculara ait pas başarı puanlarının çarpımını en büyük yapan denklemlerdir. Klasik aktarım problemleri aslında en küçükleme problemi olarak tanımlanmıştır. En büyükleme problemine dönüştürülürken verilmeyen her pas 1, verilen her pas ise güven derecesine göre 0 ile 1 arasında bir değerle sınırlandırılmıştır. Bu durum problemin hem çarpım hem de toplam olarak modellenmesini sağlamıştır. Bir aktarım problemi için iki farklı amaç fonksiyonu belirlense de kısıtlar her iki fonksiyon için aynı olarak kabul edilmiştir. Bu durum bazen aynı rotayı yani aynı çözümü verirken bazen farklı çözümlerle de sonuçlanmıştır.

Etkili bir atak rotası belirlemek için oluşturulan bu iki model, iki ayrı problem için uygulanmıştır. Birincisi, atağın belirli bir bölgeden başlayıp belirli bir bölgede sonlandığı

problemdir. İkincisi ise, atağın matematiksel modelin seçtiği bir bölgeden başlayıp matematiksel modelin seçtiği başka bir bölgede sonlandığı problemdir. Bu iki problem futbol oyun kurgusu düşünülerek belirlenen kısıtlarla çözülmüştür. Futbol sahasında etkili atak rotası bulma problemleri iki farklı model tipi için doğrusal ve üstel olan iki yaklaşım verileriyle çözümlenmesine rağmen, oluşan rotalar için sayısal bir kıyas yapılamamıştır. Bunun sebebi futbol oyununun yapısıdır.

Bunun yanısıra rassal olarak seçilen ve 2016/17 sezonunun ikinci haftası Bursa'da oynanan Bursaspor-Başakşehir maçı için bir benzetim yapılmıştır. Sezon içerisindeki 34 maçlık veri analizi sonucu elde edilen veriler ile o maç içerisinde etkili olan 3 atak rotası tahmin edilmeye çalışılmıştır. Atağın başladığı bölge ilk istasyon olarak belirlenirken atağın sonlandırılacağı bölge açık bırakılmıştır. Her bir atak rotası için farklı iki model ve iki ayrı yaklaşım kullanılarak 4 kez sonuç alınmıştır. Alınan sonuçlar doğrusal yaklaşım ile oluşturulan verilerin, üstel yaklaşım ile oluşturulan verilere göre gerçekte karşılaşılan rotaları oluşturmakta daha başarılı olduğunu göstermiştir. 2016/17 sezonun tamamından elde edilen veriler ile üretilen doğrusal yaklaşım rotalarının, aynı sezon rassal olarak seçilen bir müsabakanın 25. dakikadaki atak rotasıyla tam olarak örtüştüğü görülmüştür.

## 5.2. GELİŞTİRME ÖNERİSİ

Bu tez çalışmasında elde edilen rotaların güvenilirliğini arttırmak için tezde önerilen modele oyuncuların farklı özelliklerini belirten parametreler eklenebilir. Oyuncunun depar özelliği, çalım atma yeteneği gibi özellikler eklenerek daha iyi rotalar oluşturulabilir. Ayrıca oyun içerisinde pasların sahanın hangi bölgesinde yapıldığı önem arz etmektedir. Bu nedenle defans, orta saha ve hücum bölgesindeki pasların ayrıştırılarak bir veri elde edilmesi sonuçları etkileyebilir. Ayrıca rakibin savunma özellikleride modele eklenerek iki takım için daha kapsamlı bir model oluşturulabilir.

Futbolcuların gün geçtikçe daha profesyonel yaşamları onların aktif futbol hayatlarını daha da ileri yaşlara çekmiştir. Günümüzde, üst düzey liglerde oynayan 35 yaş üzeri birçok oyuncu görülmektedir. Bu tez çalışması transfer döneminde transfer edilecek oyuncunun takım performansına etkisinin ne olacağını gösteren sayısal bir sonuç verebilir. Bu sebeple oyuncu futbol yaşam çizelgesi hazırlamak bu çalışmayı daha gerçekçi kılabilir. Bu çizelge ortalama olarak oyuncuların hangi yaş diliminde daha hızlı koştuklarını yada hangi yaş diliminde daha

sık sakatlandıklarını gösterebilir. Futbolda istenilen bir durum olan teknik bilgi ve tecrübe özellikleri yaş ile artar. İstenilmeyen bir durum olan sakatlanma durumu ise aynı paralellikte artış gösterir. Tüm artan ve azalan özellikleri gösterebilecek bir çizelge, oyuncunun transferlerinden sonraki sezonda bu oyuncunun atak rotalarının verimliliğinin nasıl değiştireceğini belirlemeye yardımcı olabilir.

### 5.3. YENİLİKÇİ YÖNÜ

Bu tez futbol alanında optimizasyon uygulamalarını kapsayan ender çalışmalardandır. Sporda optimizasyon, futbol endüstrisindeki artan rekabet ortamında önemi artacak bir alan olarak görülmektedir. Problem çözümünde kullanılan aktarım modeli futboldaki paslaşmalar analiz edilerek modellenmiştir. Model, futbol sahasındaki bölgeler için iki oyuncu atayarak oyun içerisindeki “duvar pası” kurgusunu elde etmeyi amaçlamıştır. Bu yapı aktarım problemlerinde sıkça karşılaşılan bir durum değildir. Örneğin gezgin satıcı problemlerinde satıcı ayrıldığı bir istasyona tekrar geri dönmez.

Tez için incelenen futbol ağları diğer takım sporlarındaki pas ağları ile benzerlikler içerir. Basketbol, voleybol gibi takım sporları farklı oyuncu sayılarına ya da dizilişlerine sahip olsa da bu tip takım sporları için de benzer bir model geliştirilebilir.

Bu çalışma birçok branşı içine alan kapsamlı bir takım sporları uygulaması ile spor akademileri için etkili bir lisans dersi geliştirilmesi için bir adım niteliğinde olabilir. Spor alanında çalışan teknik sorumlular için etkili bir avantaj sağlayabilir. Çalışmanın bir bilgisayar programına dönüştürülmesiyle verilerin interaktif olduğu bir durumda oynanan bir oyuna teknik ekip tarafından anlık müdahale etme şansı ortaya çıkabilir.

## KAYNAKLAR

- Abdollahi, E., Wang, H. and Lahdelma, R. (2016). An optimization method for multi-area combined heat and power production with power transmission network. *Applied Energy*, 168, 248-256.
- Akşar, T., Merih, K., Futbol Ekonomisi, Literatür Yayınları, İstanbul, 2006, s. 30.
- Balas, E. and Toth, P. 1983, Branch and bound methods for the traveling salesman problem (No. MSRR-488). Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Management Sciences Research Group.
- Bardaro, C, 2017, 'Mazzola e Rivera chi? Io sono qui per Gramsci, <http://www.calciomercato.com/news/quando-socrates-disse-mazzola-e-rivera-chi-io-sono-qui-per-grams-83296>, [Ziyaret tarihi: 4 kasım 2017].
- Baymur, F. (1969). Genel Psikoloji, İnkılap ve Aka Kitapevleri Koll.
- Bialkowski, A., Lucey, P., Carr, P., Yue, Y., Sridharan, S. and Matthews, I. (2014, December). Large-scale analysis of soccer matches using spatiotemporal tracking data. In Data Mining (ICDM), 2014 IEEE International Conference ,725-730.
- Bozdemir, M.,1998, *Futbol Fanatizminin Sosyolojik Açından Tahlili*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- Carling C (2010) “Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team”, *Journal of Sports Sciences*, 28:319-326.
- Cintia, P., Giannotti, F., Pappalardo, L., Pedreschi, D. and Malvaldi, M. 2015, The harsh rule of the goals: Data-driven performance indicators for football teams. In Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2015. 36678 2015. *IEEE International Conference* , 1-10.
- Clausen, J. (1999). *Branch and bound algorithms-principles and examples*. Department of Computer Science, University of Copenhagen, 1-30.
- Çakmak, İ. (2014), *Profesyonel Spor Kulüplerinin Marka İmajını Belirleyen Faktörler*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi
- Gama, J., Couceiro, M., Dias, G. and Vaz, V. (2015). Small-world networks in professional football: *conceptual model and data*. *European Journal of Human Movement*, 35, 85-113.
- Gashi, J.,2015, *Popüler Bir Kültür Örneği Olarak Futbol*,yüksek lisans tezi ,Marmara Üniversitesi Akşar, T., Merih, K., Futbol Ekonomisi, Literatür Yayınları, İstanbul, 2006, 30.
- Grund, T. U. 2012. Network structure and team performance: The case of English Premier League soccer teams. *Social Networks*, 34(4), 682-690.

- Gudmundsson, J. and Horton, M. 2017, Spatio-temporal analysis of team sports. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(2), 22.
- Guthrie, E. R. 1934, Discussion: Pavlov's theory of conditioning.
- H. and E.A. Silver. 1987, Analysis of a two echelon inventory control system with complete redistribution. *Management Science* 33, 215-227.
- Herer, Y.T. and A. Rashit. 1999, Lateral stock transshipments in a two-location inventory system with fixed and joint replenishment costs. *Naval Research Logistics* 46: 525-547.
- Hirano, S. and Tsumoto, S. 2005, A clustering method for spatio-temporal data and its application to soccer game records. In *International Workshop on Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular-Soft Computing* (pp. 612-621). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jönsson, H. and Silver, E. A. 1987, Analysis of a two-echelon inventory control system with complete redistribution. *Management Science*, 33(2), 215-227.
- Karoonsoontawong, A. and Taptana, A. 2017, Branch-and-bound-based local search heuristics for train timetabling on single-track railway network. *Networks and Spatial Economics*, 17(1), 1-39.
- Krishnan, K.S. and V. R. K. Rao. 1965, Inventory control in N warehouses. *Journal of Industrial Engineering* 16: 212-215.
- Kim, S., 2004, Voronoi analysis of a soccer game. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 9(3), 233-240.
- Land, A. H. and Doig, A. G. 1960, An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 497-520.
- Lin, C. C. and Lin, S. W. 2016, Two-stage approach to the intermodal terminal location problem. *Computers & Operations Research*, 67, 113-119. *nd data mining*, 1366-1374.
- Little, J. D., Murty, K. G., Sweeney, D. W. and Karel, C. 1963, An algorithm for the traveling salesman problem. *Operations research*, 11(6), 972-989.
- Liu, H., Hopkins, W., Gómez, A. M. and Molinuevo, S. J. 2013, Inter-operator reliability of live football match statistics from opta Sportsdata. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(3), 803-821.
- Lucey, P., Oliver, D., Carr, P., Roth, J. and Matthews, I. 2013, Assessing team strategy using spatiotemporal data, *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD International conference on Knowledge discovery and data mining*, 1366-1374.
- Malqui, J. L. S. 2017, A visual analytics approach for passing strategies analysis in soccer using geometric features.
- Mason, A. J. 2012, OpenSolver-An open source add-in to solve linear and integer programmes

in Excel. *In Operations research proceedings*, 401-406.

- Mason, A. J. and Dunning, I. 2010, Opensolver: open source optimisation for excel. *In Proceedings of the 45th Annual Conference of the ORSNZ*, 181-190.
- Narizuka, T., Yamamoto, K. and Yamazaki, Y. 2014, Statistical properties of position-dependent ball-passing networks in football games. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 412, 157-168.
- Ongan T.H., Demiröz D.M, 2010, Akademik Futbol, Futbolda Rekabet-Başarı İlişkisi, y.y.
- Özdemir, D., Yücesan, E. and Herer, Y. T. 2006, Multi-location transshipment problem with capacitated production and lost sales. *In Proceedings of the 38th conference on Winter simulation*, 1470-1476.
- Pavlov, I. P. and Gantt, W. H. 1941, Conditioned reflexes and psychiatry (Vol. 2). New York: International publishers.
- Pena, J. L. and Touchette, H. 2012, A network theory analysis of football strategies. arXiv preprint arXiv:1206.6904.
- Rahnamai Barghi, A. 2015, Analyzing Dynamic Football Passing Network (Doctoral dissertation, Université d'Ottawa/University of Ottawa).
- Razykov, S., 2006, *Optimal offensive player positioning and collaboration in a digital soccer game* (Doctoral dissertation, School of Interactive Arts and Technology-Simon Fraser University).
- Reyes, P. M. 2005, Logistics networks: A game theory application for solving the transshipment problem. *Applied mathematics and computation*, 168(2), 1419-1431.
- Sacha, D., Stein, M., Schreck, T., Keim, D. A. and Deussen, O. 2014, Feature-driven visual analytics of soccer data. *In Visual Analytics Science and Technology (VAST), 2014 IEEE Conference on*, 13-22.
- Stein, M., Janetzko, H., Seebacher, D., Jäger, A., Nagel, M., Hölsch, J. and Grossniklaus, M. 2017, How to make sense of team sport data: *From acquisition to data modeling and research aspects*. *Data*, 2(1), 2.
- Stemmler, Theo 2000, Futbolun Kısa Tarihi. N.Aça(Çev.), *Dost Yayınları*, Ankara.
- Straszak, D. and Vishnoi, N. K. 2016, Natural algorithms for flow problems. *In Proceedings of the Twenty-Seventh Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 1868-1883.
- Tagaras, G. 1989., Tagaras, G. and M. Cohen. 1992 “Effects of pooling on the optimization and service levels of two-location inventory systems. *IIE Transactions* 21, 250-257.
- Tagaras, G. and M. Cohen. 1992. Pooling in two-location inventory systems with non-negligible replenishment lead times. *Management Science* 38, 1067-1083.

- Takeuchi, J., Ramadan, R. and Lida, H. 2014, Game refinement theory and its application to Volleyball. Research Report 2014-GI-31 (3), *Information Processing Society of Japan*, 1-6.
- Tavana, M., Azizi, F., Azizi, F. and Behzadian, M. 2013, A fuzzy inference system with application to player selection and team formation in multi-player sports. *Sport Management Review*, 16(1), 97-110.
- Yücel, R.; 2010, *Neo-liberal Çağda Futbolun Yaşadığı Yapısal Dönüşüm*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara,
- Zhao, F., Wu, D., Liang, L. and Dolgui, A. 2016, Lateral inventory transshipment problem in online-to-offline supply chain. *International Journal of Production Research*, 54(7), 1951-1963.
- Watson, J. B. and Rayner, R. 1920, Conditioned emotional reactions. *Journal of experimental, psychology*, 3(1), 1.
- Wright, M. B. 2009, 50 years of OR in sport. *Journal of the Operational Research Society*, 60(1), 161-168.



## EKLER

### EK 1. Son Dönem Dal Sınır Algoritma Çalışmaları

Son dönem Dal Sınır Algoritmasının, Karma Tamsayı Problemleri ile sıklıkla kullanıldığını gösteren çalışma. (bkz. Karoonsoontawong ve Taptana, 2017).

Yayın	Çizelgeleme Stratejisi	Formüle Edilmesi	Tekli/ Çoklu Amaç	Çözüm Algoritması
<b>Sevkiyat Gönderimi Literatürü</b>				
Adenso-Diaz et al. (1999)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Sezgisel
Tornquist and Persson (2007)	Ardışık, Eşzamanlı	Karma tamsayı	Tekli	Sezgisel
D'Ariano et al. (2007)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Dal Sınır, Sezgisel
D'Ariano et al. (2008)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Dal Sınır, Alternatif Grafik, Yerel Arama, Pratik Kurallar
Corman et al. (2010)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Dal Sınır, Sezgisel
Corman et al. (2011)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli, çoklu	Dal Sınır, Sezgisel
Caimi et al. (2012)	Ardışık	Tamsayı	Tekli	Ticari Çözücü
Meng and Zhou (2014)	Eş zamanlı	Tamsayı	Tekli	Yerel Arama, Sezgisel
<b>Sevkiyat Çizelgeleme Literatürü</b>				
Higgins et al. (1996a)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Dal Sınır
Higgins et al. (1997)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Yerel Arama
Brannlund et al. (1998)	Ardışık	Tamsayı	Tekli	Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi, Sezgisel
Caprara et al. (2002)	Ardışık	Tamsayı	Tekli	Gevşetilmiş Lagrange Yöntemi, Sezgisel
Dorfman and Medanic (2004)	Ardışık	Eş zamanlı	Çoklu	Sezgisel
Carey and Crawford (2007)	Ardışık	-	Tekli	Sezgisel
Cacchiani et al. (2008)	Ardışık	Tamsayı	Tekli	Sütün Jenerasyonu, Sezgisel, Dal Budama ve Fiyat Algoritması
Lee and Chen (2009)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Sezgisel

**EK 1(devam) : Son Dönem Dal Sınır Algoritma Çalışmaları.**

Cacchiani et al. (2010a)	Ardışık	Tamsayı	Tekli	Dinamik Programlama, Sezgisel
Cacchiani et al. (2010b)	Eş zamanlı	Tamsayı	Tekli	Dinamik Programlama, Sezgisel, Yerel Arama
Castillo et al. (2011)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	İkiye Bölme Yöntemi
Mu and Dessouky (2011)	Ardışık, Eş zamanlı	Karma tamsayı	Tekli	Sezgisel
Harrod (2011)	Eş zamanlı	Tamsayı	Tekli	Ticari Çözücü
Karoonsoontawong and Taptana (mevcut çalışma)	Ardışık	Karma tamsayı	Tekli	Yerel Arama, Dal Sınır

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kenan Menküç
Doğum Yeri	Erzincan /Kemah
Doğum Tarihi	12.11.1982
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05352271982
E-Posta Adresi	<a href="mailto:kenanmenkuc@gmail.com">kenanmenkuc@gmail.com</a>
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Doğuş Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı