Kişisel Tercihlere Göre Çok Amaçlı Yürüme Yolları Belirlemeye Yönelik Karar Destek Sistemi

Gizem Erşen

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2023

A Decision Support System For Determining Multi-Objective Walking Paths Based On Personal Preferences

Gizem Erşen

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

January 2023

Kişisel Tercihlere Göre Çok Amaçlı Yürüme Yolları Belirlemeye Yönelik Karar Destek Sistemi

Gizem Erşen

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Ocak 2023

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum "Kişisel Tercihlere Göre Çok Amaçlı Yürüme Yolları Belirlemeye Yönelik Karar Destek Sistemi" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 06/01/2023

Gizem Erşen

ÖZET

İnsanlar, yürüyüş yaparken keyif alacakları bir yürüme yolunu seçmek, güvenli bir yürüme yolu kullanmak, varacakları konuma en kısa sürede varmak gibi farklı tercihlerde bulunabilirler. Güvenlik sorunu yaşayacakları bir yoldan yürümek yerine gerekirse gidilen mesafeyi artırarak daha güvenli olan yürüme yolu tercihleri ile ulaşım sağlamak ya da amaçları doğrultusunda farklı rotalar keşfetmek isteyebilirler.

Bu çalışmada yayaların kısa yol, güvenli yol ve yeşil yol amaçlarını bir arada değerlendiren çok amaçlı doğrusal tamsayılı bir hedef programlama modeli geliştirilmiş, yayaların tercihlerine göre çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu seçimlerinde yardımcı olacak bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Excel VBA ortamında geliştirilen karar destek sistemi kullanıcıya türetilen yol ve amaç erişim düzeylerini sunmaktadır. Sistem kullanıcı tercihleri ile uyumlu çalışıp, karşılıklı etkileşimli olarak değişen tercihler doğrultusunda yeni yollar türetilebilmektedir.

Geliştirilen karar destek sisteminin Eskişehir ilinden seçilen bazı noktaları kapsayan bir çizge üzerinde, farklı kullanıcı tercihleri ile uygulaması yapılmıştır. Önerilen yaklaşım bir mobil uygulama ile desteklenirse hem kente dışardan gelen ziyaretçiler için hem de kent içinde yürüme eylemindeki kentliler için önemli bir karar aracı olma potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Karar Destek Sistemleri, Çok Amaçlı Kişiselleştirilmiş Yürüme Yolu Belirleme Problemi, Hedef Programlama

SUMMARY

People may take different choices, such as choosing a walking path that they will enjoy, using a safe walking path and reaching their destination as soon as possible while walking. Instead of walking on a road where they will have security problems, they may want to increase the distance traveled, provide transportation with safer walking path preferences or explore different routes in line with their purposes.

In this study, a multi-objective linear integer goal programming model that evaluates pedestrian shortest-way, safer-way, and green-way purposes was developed. A decision support system has been designed to assist pedestrians in choosing a multi-objective personalized walkway. The decision support system developed in the Excel VBA environment provides the pedestrian with derived paths and goal reach levels. The system works in accordance with decision-maker preferences and new walkways can be derived in line with changing preferences.

A case study of the developed decision support system with different pedestrian preferences has been made on a graph covering some selected points from Eskişehir. The proposed approach has the potential to be an important decision tool for both visitors from outside the city and the citizens who walk in the city if it is supported by a mobile application.

Keywords: Decision Support Systems, Multi-Objective Personalized Walking Path Determination Problem, Goal Programming.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**
SUMMARY ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **viii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam) ..... **xi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiii**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. FİZİKSEL AKTİVİTE: YÜRÜME **3**
2.1 Yürümenin Sağlığa Faydaları 5
2.2 Yürümenin Çevresel Faydaları 7
2.3 Kentlerin Yürünebilirlik İndeksi 8
2.3.1. Yürünebilirlik İndeksi 10
2.3.2. Yürüme Puanı 12
2.4 Yürüme Yolu Seçiminde Etkili Faktörler 12
3. YÜRÜME YOLU BELİRLEME PROBLEMİ **14**
3.1. Kişiselleştirilmiş Yürüme Yolu Belirleme Problemi 14
3.2. Çizge Teorisi 14
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **16**
5. MATERYAL VE YÖNTEM **24**
5.1. Matematiksel Model 24
5.1.1. En Kısa Yol Amacı İçin Matematiksel Model 24
5.1.2. En Güvenli Yol Amacı İçin Matematiksel Model 25
5.1.3. En Yeşil Yol Amacı İçin Matematiksel Model 27
5.2. Ağırlıklandırılmış Hedef Programlama Modeli 28
5.3. Normalleştirme 32
5.4. Karar Destek Sistemleri 32
5.4.1. Karar Destek Sistemi Özellikleri 33
5.4.2. Karar Destek Sistemi Bileşenleri 34

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

6. BULGULAR VE TARTIŞMA 36
6.1. Çok Amaçlı Kişiselleştirilmiş Yürüme Yolu Belirleme Problemi 36
6.1.1. Harita Oluşturma 36
6.1.2. Harita Değerlendirme 38
6.1.3. Yürüme Yolu Belirleme 41
6.2. Geliştirilen Karar Destek Sistemi 41
6.3. Örnek Çalışmalar 50
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR DİZİNİ 57
EK AÇIKLAMALAR 62
Ek Açıklama-A: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Uzaklıklar 62
Ek Açıklama-B: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Kamera Sayıları 63
Ek Açıklama-C: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Ağaç Sayıları 64
Ek Açıklama-D: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Yürüme Süreleri 65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Günlük aktivite yapılmadan, oturarak ya da uzanarak harcanan zaman 4
2.2. Öğrencilerin dersleri dışındaki zamanlarda televizyon/bilgisayar başında geçirdikleri süre 4
2.3. Argus uygulamasından alınan, araştırmaya dahil ülkelerin günlük ortalama adım sayısı 8
2.4. Veri alınan ülkelerin günlük ortalama adım sayıları grafiği 9
3.1. Yönlü çizge 15
3.2. Yönsüz çizge 15
3.3. Çizge üzerinde yol örneği 15
5.1. Karar destek sistemi bileşenleri 34
6.1. Eskişehir ili için kullanılan çizge 37
6.2. Google Earth üzerinde düğümler arası uzaklık hesaplama aracı 38
6.3. Google Earth Sokak Görünümü aracında KGYS ve PTS kamera görüntüleri 39
6.4. Google Earth Sokak Görünümü aracında balık gözü kamera görüntüleri 39
6.5. Kamera noktaları yerleştirilmiş Eskişehir çizge görünümü 40
6.6. Google Earth Sokak Görünümü aracında ağaç sayılarının elde edildiği görüntü 40
6.7. Çok amaçlı yürüme yolu belirlemeye yönelik karar destek sistemi bileşenleri 41
6.8. Geliştirilen yöntem akış şeması 43
6.9. Geliştirilen karar destek sistemi ana sayfası 43
6.10. Karar destek sistemi diyalog yönetim modülü veri giriş ekranı 44
6.11. Kamera sayısı ve yol uzunluğu amaçlarının pareto sınır grafiği 45
6.12. Kamera sayısı ve ağaç sayısı amaçlarının pareto sınır grafiği 45
6.13. Yol uzunluğu ve ağaç sayısı amaçlarının pareto sınır grafiği 46
6.14. Üç amacın ödünleşme noktaları 47
6.15. Karar destek sistemi diyalog yönetim modülü yol bilgileri ve amaç erişim düzeyleri 48
6.16. Türetilen yürüme yolunun harita üzerinde gösterimi 49
6.17. Karar destek sisteminin tercih değişimi için yönlendirmesi 49
6.18. Tercih-1'e göre türetilen yol bilgileri verileri 51
6.19. Tercih-2'ye göre türetilen yol bilgileri verileri 51
6.20. Tercih-3'e göre türetilen yol bilgileri verileri 52
6.21. Üç farklı tercihe göre türetilen yolların haritada görünümü 52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

6.22. Güvenli yol tercihi için türetilen yürüme yolu harita görünümü..... 54
6.23. Kısa yol tercihi için türetilen yürüme yolu harita görünümü 54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Global yürünebilirlik indeksi ve bileşenleri 11
4.1. Literatür araştırması özet tablosu 22
5.1. Matematiksel modelde kullanılan amaçlar ve ölçü birimleri 32
6.1. Eskişehir'de seçilen 30 ziyaret noktası 37
6.2. Önerilen model için kullanılan parametre ve hesaplama yöntemleri 38
6.3. Pareto optimal çözümler için normalleştirilmiş tekli amaç fonksiyon değerleri 44
6.4. Ödünleşme noktalarına karşılık gelen gerçek problem verileri 47
6.5. Üç farklı kullanıcı tercihine göre amaç ağırlıkları 50
6.6. Üç farklı tercihe göre elde edilen yollar ve amaç erişim düzeyleri 51
6.7. İki farklı kullanıcı tercihine göre amaç ağırlıkları 53
6.8. İki farklı tercihe göre elde edilen yollar ve amaç erişim düzeyleri 53

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklamalar
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
TBSA	Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması
COSI-TUR	Turkey Childhood Obesity Surveillance Initiative
HSGM	Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü
NHTS	National Household Travel Survey
VBA	Visual Basic for Applications
KDS	Karar Destek Sistemi
KGYS	Kent Güvenlik Yönetim Sistemi
PTS	Plaka Takip Sistemi
GSP	Gezgin Satıcı Problemi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünya Sağlık Örgütünün (DSÖ) tanımlamasına göre fiziksel aktivite iskelet ve kaslar tarafından üretilen ve enerji harcanmasını gerektiren herhangi bir bedensel harekettir. DSÖ, çocuk ve gençlere her gün en az 1 saat orta ila şiddetli yoğunlukta fiziksel aktivite yapmalarını tavsiye etmektedir. Yetişkinler içinse haftada en az 150 dakika orta yoğunlukta veya 75 dakika yüksek yoğunlukta fiziksel aktivite yapmalarını önermektedir (Oja ve Titze, 2011).

Yürüme, tüm yaştaki bireyler için en yaygın ve kolay uygulanabilen bir fiziksel aktivitedir. Kolay ulaşılabilirliği dışında insan sağlığı ve çevresel etkileri açısından olumlu etkileri vardır. Beyin aktiviteleri, kanser riskleri, diyabet, kolesterol, kalp krizi, anksiyete gibi birçok hastalık açısından olumlu katkılar yarattığı yapılan araştırmalar ile desteklenmektedir (WalkBoston, 2022). Çevresel katkıları ise diğer ulaşım araçları gibi zararlı gazlar üretmemesi, gürültü kirliliği yaratmaması, yürüme yolu vb. yapılarak kamusal alanların daha verimli kullanılmasına yarar sağlaması, ulaşım modlarını birbirine bağlayarak toplu taşıma sistemlerinin bağlanabilirliğini sağlaması olarak örneklenebilir (Greater Manchester Walking, 2022) .

Yürüme eylemi giderek artan öneme kavuşmuştur ve kentlerdeki yürünebilirlik ölçümleri, kentlerdeki yaşanabilirlik ile ilişkilendirilmektedir. Yapılan çalışmalardaki yürünebilirlik indeksi, yürüme puanı gibi parametreleri dikkate alarak insanlar yaşam alanı, ev seçimi yapmaktadır ve kentlerin yürüme alışkanlıkları analiz edilmektedir (Althoff vd., 2017).

Yayalar yürüme eyleminde bulunacağında bir yolu diğerine tercih ederken yolun çekiciliği, konforu, güvenliği ve erişilebilirliği faktörlerini dikkate almaktadırlar (Talavera vd., 2015).

Çalışma kapsamında, çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemine yönelik, yürüme eylemi yapacak bir yayanın yol seçim tercihlerine fayda

sağlayacak bir karar destek sistemi tasarlanmış ve Excel VBA ortamında geliştirilmiştir. Literatür çalışmalarından farklı olarak yayaların en kısa yol, en güvenli yol ve en yeşil yol olarak çok amaçlı yol beklentileri ele alınmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi yayaların tercihleri ile tam uyumlu olarak çalışmaktadır. Değişen tercihlere göre uygun bir yürüme yolu türetip, amaç erişimlerini karar vericiye sunmaktadır. Yapılan çalışma bir kentlinin çok amaçlı yürüme yolu problemine çözüm sunulmasının yanı sıra o kente gelen ziyaretçiler için de yürümeye yönelik gezi planı çıkarabilmesine yardımcı olabilmektedir.

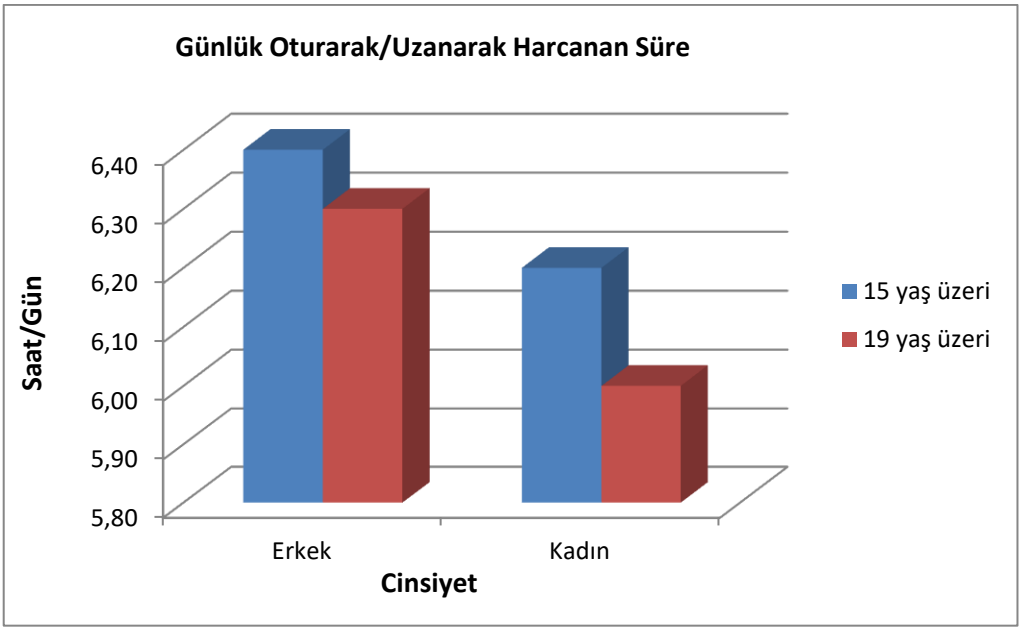
Çalışmanın izleyen bölümünde, fiziksel aktivite olarak yürüme faaliyetinin önemi ele alınmıştır. Üçüncü bölümde kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde literatür taramasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde önerilen hedef programlama modeli ve karar destek sistemi ele alınmıştır. Altıncı bölümde ise geliştirilen karar destek sistemi modülleri anlatılmış ve örnek uygulama çalışmasına yer verilmiştir. Son olarak yedinci bölümde çalışmanın sonuçlarından ve önerilerden bahsedilmiştir.

2. FİZİKSEL AKTİVİTE: YÜRÜME

Dünya Sağlık Örgütünün (DSÖ) tanımlamasına göre "Fiziksel aktivite, iskelet ve kaslar tarafından üretilen ve enerji harcanmasını gerektiren herhangi bir bedensel harekettir". Düzenli olarak uygulandığında, başta kardiyovasküler hastalıklar olmak üzere bir dizi kronik hastalık, belirli kanser türleri, insüline bağımlı olmayan diyabet ve osteoporoz geliştirme riskini azaltan, vücut için temel işlevsel uyaranlardan biridir. Düzenli fiziksel aktivite glikoz metabolizmasını uyarır, vücut yağını azaltır, vücut ağırlığının düzenlenmesine yarar sağlar, kan basıncını düşürür ve kemik kaybını azaltır (Benjak, 2012).

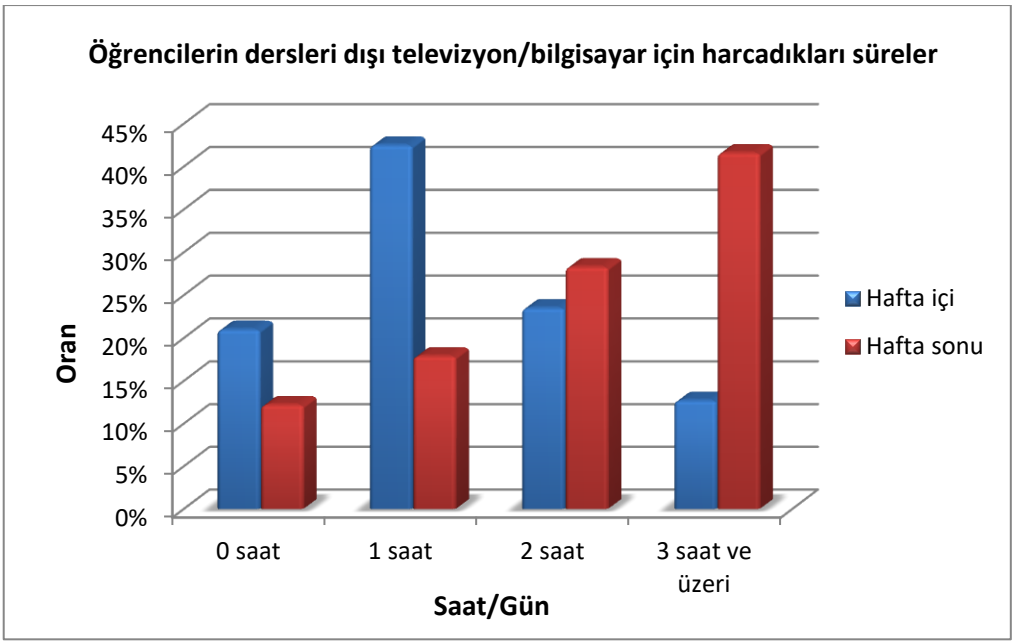
DSÖ çocuk ve gençlere ise her gün en az 1 saat orta ila şiddetli yoğunlukta fiziksel aktivite yapmalarını tavsiye etmektedir. Yetişkinler içinse haftada en az 150 dakika orta yoğunlukta veya 75 dakika yüksek yoğunlukta aerobik aktivite veya bunların eşdeğer kombinasyonunda güçlendirici aktivite yapmalarını önermektedir (Oja ve Titze, 2011).

Günümüzde fiziksel aktivitenin sağlık için öneminin yeterince anlaşılamaması ve teknolojideki gelişmeler ile yaşam koşullarının kolaylaşması giderek daha hareketsiz bir yaşam tarzının benimsenmesi ile toplumda obezite, kalp-damar hastalıkları, hipertansiyon, diyabet, osteoporoz gibi kronik hastalıkların görülme sıklığını artırmıştır. Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA) 2019 sonuçlarına göre ülkemizde 15 ve üzeri yaş her 10 kişiden 4'ü yetersiz düzeyde fiziksel aktivite yapmaktadır. TBSA 2019 verilerine göre günlük aktivite yapılmadan, oturarak veya uzanarak harcanan zaman Şekil 2.1'de verilmiştir (TBSA, 2022).



Şekil 2.1. Günlük aktivite yapılmadan, oturarak ya da uzanarak harcanan zaman

Çocukluk Çağı Şişmanlık Araştırması İlkokul 2. sınıflarda (Turkey Childhood Obesity Surveillance Initiative COSI-TUR 2016) Sonuçlarına göre öğrencilerin dersleri dışındaki zamanlarda televizyon ya da bilgisayar başında harcadıkları süre (internet cafe, oyun salonları, bilgisayar, akıllı telefon, elektronik eşyalar) Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Öğrencilerin dersleri dışındaki zamanlarda televizyon/bilgisayar başında geçirdikleri süre

Dünya Sağlık Örgütü çalışması dört yetişkinden birinin ve ergenlerin %81'inin yeterince fiziksel aktivite yapmadığını göstermektedir. Ayrıca, ülkeler ekonomik olarak geliştikçe, değişen ulaşım modelleri, iş ve eğlence için artan teknoloji kullanımı nedeniyle hareketsizlik seviyeleri artmakta ve %70'e kadar çıkabilmektedir (WHO, 2022).

Artan fiziksel hareketsizlik seviyeleri sağlık sistemleri, çevre, ekonomik kalkınma, toplum refahı ve yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Fiziksel aktiviteyi yaşam biçimi haline getirmemizde yürüyüş önemlidir. Yürüyüş yapmak tüm yaştaki bireyler için en yaygın, kolay ulaşılabilen ve kolay uygulanabilen bir aktivitedir.

Uluslararası Herkes İçin Spor Federasyonu tarafından gündelik hayatın içine fiziksel aktiviteyi entegre etmeyi teşvik için 1991 yılında başlatılan Dünya Yürüyüş Günü, fiziksel olarak aktif olmanın ve fiziksel hareketsizliğin küresel krizine karşı basit ve eğlenceli bir kutlama yöntemi sağlamaktadır. Türkiye'de ekim ayının ilk pazar günü "Dünya Yürüyüş Günü" olarak kutlanarak farkındalık sağlanmıştır. Yürüyüş günlük fiziksel aktivite için hem sağlığı normal insanlar hem de kronik tansiyon, kalp ve astım hastaları için uygundur. Diğer fiziksel aktivitelerle kıyaslandığında minimum yaralanma riski sunar. Ayrıca yoğun ve uzun süreli olması da gerekmemektedir (HSGM, 2022).

2.1 Yürümenin Sağlığa Faydaları

Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde, yürüme yaygınlığının, sonraki en sık bildirilen faaliyetlerden iki ila üç kat daha yüksek olduğunu doğrudan gösteren bazı araştırmalar bulunmaktadır. Muhammed (2017), yürüme faaliyetinin insan sağlığına katkıları ile ilgili yaptığı çalışmada yürümenin sağlıklı kiloya ulaşma ve koruma, tansiyonu ve kolesterolü düzenleme, diyabet riskini yönetme ve azaltma, kemikleri güçlendirme, sindirimi iyileştirme, stresi azaltma ve depresyonu önleme, anksiyete semptomlarını hafifletme, uyku kalitesini artırabilme, kalp krizi ve inme riskini azaltabilme gibi faydaları olduğunu belirtmiştir.

Walk Boston topluluğu yürümenin sağlık üzerine olumlu etkileri üzerine yapılmış çalışmalara yer vermiştir (WalkBoston, 2022):

- Harvard Üniversitesi ve Brigham Kadın Hastanesi'nin çalışmasına 72.000'den fazla kadın katılmış ve haftada üç saat veya daha fazla yürüyenlerin, yürümeyen kadınlara kıyasla koroner arter riskinin %35 daha az olduğu saptanmıştır.
- Circulation tıp dergisindeki bir çalışma yürüme mesafesi arttıkça kalp hastalığı riskinin azaldığını, her gün 1,5 milden (30 dakika) fazla yürüyen yaşlı erkeklerin daha az yürüyen erkeklere göre kalp hastalığı riskinin daha düşük olduğu belirtilmiştir.
- Avrupa Uygulamalı Fizyoloji Dergisi çalışmasına göre yemekten sonra yürüyüşe çıkmak, yağlı yiyeceklerin neden olduğu arteriyel disfonksiyonu tersine çevirirken Amerikan Kardiyoloji Koleji Dergisi çalışmasına göre ise yemekten önce egzersiz yapmak, yüksek yağlı yiyeceklerin kan damarı işlevi üzerindeki etkilerini ortadan kaldırmaya yardımcı olabilir.
- Annals of Internal Medicine dergisindeki çalışmaya göre 8 haftalık bir yürüyüş programına katıldıktan sonra diz iltihabı olan hastalar yürüyebildikleri mesafeyi %18 artırmış, %39'luk bir iyileşme elde edilmiş ve %27 daha az ağrı yaşamışlardır.
- Amerika Tabipler Birliği Dergisindeki çalışmada her gün bir saat yürüyen kadınların daha az yürüyen kadınlara göre vücut kitle indekslerini daha uygun düzeylerde kolayca koruyabildikleri belirtilmiştir.
- Amerika Ulusal Bilimler Akademisinde yapılan araştırmada, yürümenin beynin hafızadan sorumlu kısmı olan hipokampüsün büyümesini desteklediği çalışılmıştır. Normal yaşlanmayla ilişkili hacimdeki %1'lik azalmaya rağmen düzenli olarak yürüyen kişilerde hipokampüs hacmi %2 artar.
- Amerika Nöroloji Dergisinde yapılan araştırmada, haftada beş mil yürümenin beyin atrofisini ve bilişsel gerilemeyi azaltarak Alzheimer hastalığı oluşma riskini %50 azalttığı belirtilmiştir.
- Harvard Üniversitesi araştırmasında haftada 1-3 saat yürüyen kadınlarda meme ve rahim kanserinden ölüm riski %19, haftada 3-5 saat yürüyenlerde ise %54 oranında azalmaktadır.
- Washington üniversitesi araştırmacıları, 1982 ile 2005 yılları arasında 150.000'den fazla kişinin verilerini inceleyip en az 10 yıl boyunca sürekli olarak egzersiz yapan yetişkinlerin, kolon kanseri ölüm riskinin en düşük olduğunu göstermişlerdir.

- Amerikan Jinekoloji ve Obstetrik Derneğinin yaptığı çalışmada günde 30 dakika yürümenin hamile kadınların sırt ağrılarını, kabızlığı, şişkinliği, gebelik diyabetini önlemeye yardımcı olduğu belirtilmiştir.
- İngiltere Tıp Dergisinde 3.200'den fazla kilolu yetişkin üzerinde yapılan bir araştırma, sağlıklı beslenmenin ve haftada 2,5 saat yürümenin diyabet oluşma riskini %58 oranında; 60 yaş ve üstü katılımcıların risklerini ise %71 oranında azalttığı belirtilmiştir.

National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion'da yapılan inceleme sonuçlarına göre (CDC, 2022):

- 145 milyondan fazla yetişkin artık fiziksel olarak aktif bir yaşam tarzının parçası olarak yürümeyi tercih ediyor.
- 10 kişiden 6'sından fazlası ulaşım, eğlence, rahatlama veya egzersiz ya da köpeği gezdirmek gibi aktiviteler için yürüyor.
- Ağustos 2012' de yapılan çalışmada ulaşım, hobi, egzersiz gibi sebeplerle yürümeyi tercih eden kişi sayısının 5 yılda %6 arttığı belirtilmiştir.
- Önceki hafta en az bir kez 10 dakika veya daha fazla yürüdüğünü bildiren kişilerin yüzdesi %56'dan (2005) %62'ye (2010) yükselmiştir.

2.2 Yürümenin Çevresel Faydaları

Yürümenin çevresel etkileri Greater Manchester Walking tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır (GM Walking, 2022) .

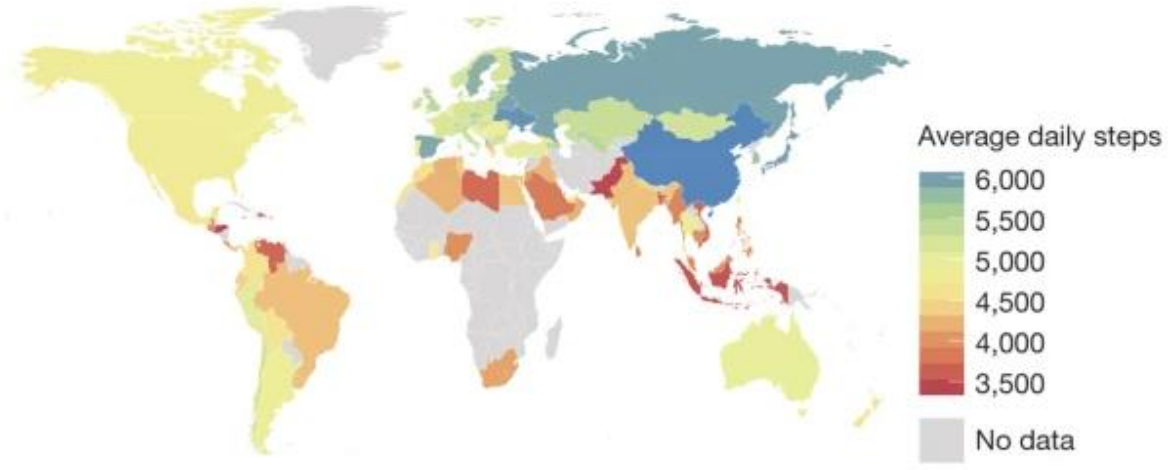
- Yürümek en sürdürülebilir ve doğal ulaşım şeklidir.
- Ulaşım araçları gibi zararlı gazlar üretmez.
- Gürültü kirliliğine sebep olmaz.
- Herhangi bir araç ya da makine gerektirmez.
- Kamusal alanların daha verimli kullanılmasına yarar sağlar(yürüme yolu vb. yapılması).

- Yürüme, ulaşım modlarını birbirine bağlar ve böylece toplu taşıma sistemlerinin bağlanabilirliğini geliştirir.

ABD Ulusal Ev Taşımacılığı Anketine göre, tüm araba yolculuklarının %13'ü bir mil veya daha az mesafeler için yapılmaktadır. Yakın mesafeler için daha az araba sürerek ve bunun yerine daha çok yürüyerek motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlilik azaltılabilir, emisyonlar azaltılabilir, çevre korunabilir ve tüm bunlara katkı sağlarken genel sağlığımızı da iyileştirebiliriz (NHTS, 2022).

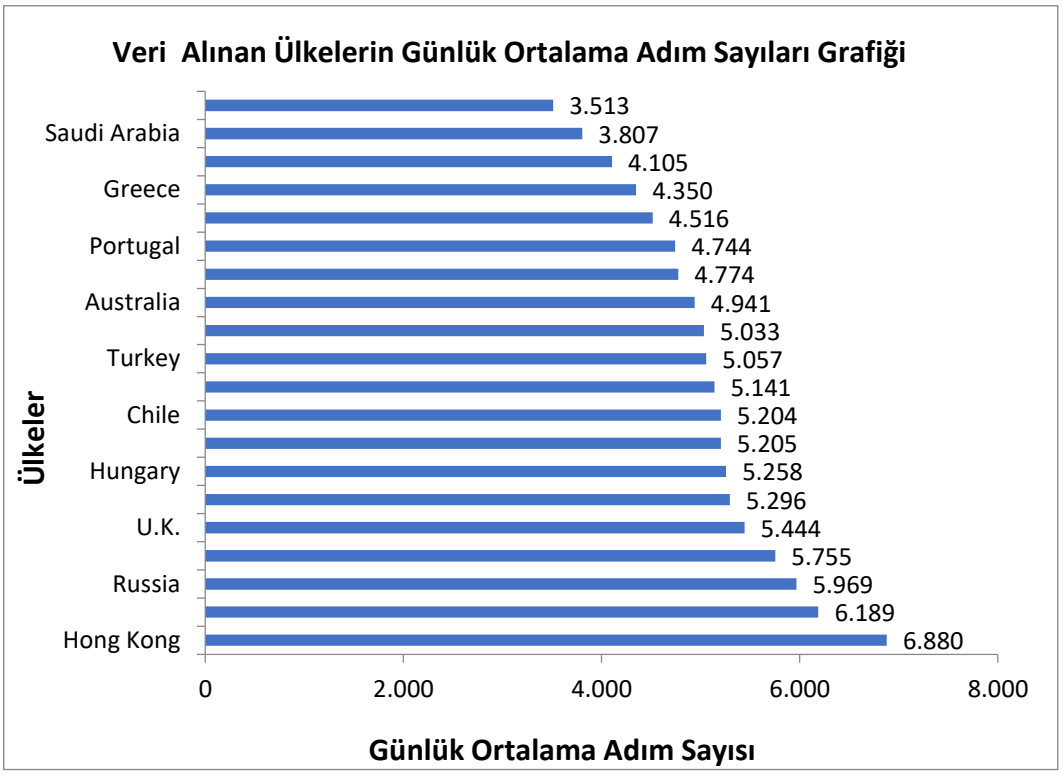
2.3 Kentlerin Yürünebilirlik İndeksi

Althoff vd. (2017) çalışmalarında fiziksel aktivitelerin dünya çapında eşit bir dağılımda olmadığı konusunu ele almışlardır. 717.527 kişi için 68 milyon günlük fiziksel aktiviteden oluşan bir veri setinden Temmuz 2013 – Aralık 2014 periyodu için ve en az 10 günlük adım verisi olan kullanıcılar için incelemişlerdir. Bu verileri sağlık üzerine mobil uygulamalar geliştiren Azumio firmasının Argus mobil uygulamasından elde ettiklerini belirtmişlerdir. Günlük ortalama adım sayıları Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Argus uygulamasından alınan, araştırmaya dahil ülkelerin günlük ortalama adım sayısı (Statista, 2022).

Bu araştırmaya göre veri alınan ülkelerin günlük ortalama adım sayısı Şekil 2.4'te verilmiştir. Veri alınan ülkelerin günlük ortalama adım sayısına göre, en aktif hareket eden ülke Hong Kong'tur.



Şekil 2.4. Veri alınan ülkelerin günlük ortalama adım sayıları grafiği (Althoff vd. (2017))

Tudor-Locke(2014) günde 5000'den daha az adım atmanın "hareketsiz yaşam tarzı endeksi" olarak kabul edilmesini savunmuştur. Ayrıca, günde 10.000 adımdan daha fazla adım atan yetişkinlere kıyasla 5000 adımdan az adım atanların günde ortalama 2,75 saatten fazla hareketsiz davranış sergilediğini belirtmiştir.

Tudor-Locke ve Myers (2001) yaptıkları çalışmada yaşlara ve sağlığa göre adım sayılarını 8-10 yaş arası çocuklar için 12.000-16.000 adım/gün (kızlarda erkeklerden daha düşük); sağlıklı genç yetişkinler için 7.000-13.000 adım/gün (kadınlar için erkeklerden daha düşük); sağlıklı yaşlılar için 6.000-8.500 adım/gün, yaşlı, engelli veya kronik hastalığı olan örnekler için 3.500-5.500 adım/gün olarak belirtmişlerdir.

Yürünebilir çevreler, her türlü yaya için güvenli ve rahat ortam sağladığı gibi (Krambeck ve Shah, 2006); kentsel mekânda araç-yaya kullanım dengesi oluşturabildiği sürece, herkes için adil, eşitlikçi ve farklı toplumsal kesimleri kapsayıcı ortamlar oluşturur. Bu durum, engelliler, yaşlılar, küçük çocuklu ebeveynler gibi dezavantajlı gruplar söz konusu olduğunda özellikle önem taşır (Ercan ve Belge, 2017).

Yaya ulaşımı, ulaşım türleri içinde vazgeçilmez bir yere sahiptir çünkü her yolculuk bir yürüyüşle başlar ve biter. Varılmak istenen noktaya yaya olarak gidilmeyecek olsa da özel otomobil, toplu taşıma veya farklı bir ulaşım türünü kullanabilmek için insanlar yürümek zorundadırlar (Krambeck ve Shah,2006).

2.3.1. Yürünebilirlik İndeksi

Akıllı, sürdürülebilir ve yaşanabilir kentlerin bir bileşeni olan yürünebilirlik, kentlinin kent yaşamına erişim ve dahil olabilme talep ve haklarını hayata geçirebilmesinin en pratik aracıdır. Yürünebilirlik, aynı zamanda, birçok kentsel dönüşüm projesinde çekiciliği ve canlılığı yüksek, çeşitlilik ve farklılıkları barındıran kamusal mekânların üretilmesinde etkin bir planlama ve tasarım stratejisi olarak kullanılmaktadır (Ercan ve Belge, 2017).

Krambeck ve Shah (2006) yaptıkları çalışmalarında gelişmekte olan şehirlerin yürünebilirliğini iyileştirmek için Global Yürünebilirlik İndeksini Çizelge 2.1'deki bileşenler ile belirtmişlerdir. Bu indeksi oluştururken, yürümenin önemiyle ilgili farkındalık yaratmak, bir kentin yaya koşullarını iyileştirerek yürünebilir olması için hangi sorunların giderilmesi gerektiği ve yürüme koşullarının kentler arasında kıyaslanarak yürünebilirlik seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 2.1 Global yürünebilirlik indeksi ve bileşenleri

Bileşenler	**Ölçümler**
Güvenlik ve Emniyet	1 Yaya ölümleriyle sonuçlanan trafik kazalarının oranı
	2 Yürüme yolu karmaşıklığı
	3 Geçiş güvenliği
	4 Suç ile ilgili güvenlik algısı
	5 Sürücü davranışının kalitesi
Uygunluk ve Çekicilik	6 Yürüyüş yollarının bakımı ve temizliği
	7 Kör ve engelli kişiler için tesislerin varlığı ve kalitesi
	8 Olanaklar (örn. kapsama alanı, banklar, umumi tuvaletler)
	9 Yürüme yollarında kalıcı ve geçici engeller
	10 Ana yollar boyunca geçişlerin mevcudiyeti
Kamusal Destek	11 Yaya planlamasına ayrılan finansman ve kaynaklar
	12 İlgili kentsel tasarım kılavuzlarının varlığı
	13 İlgili yaya güvenliği yasa ve yönetmeliklerinin varlığı ve uygulanması
	14 Yaya ve sürüş güvenliği görgü kuralları için halka erişim derecesi

Global Yürünebilirlik İndeksinin 3 ana bileşeni vardır (Özgün ve Öğüt, 2017). Bileşenlere ait 14 alt başlıktaki maddelere göre anket soruları hazırlanıp yayalara uygulanır. Ana bileşenler:

1) Güvenlik: Yayaların yürürken can güvenliğinin olup olmadığını ve yürürken kazaya uğrama olasılıklarını ölçer. Güvenli sokaklar, insanları yürümeye teşvik eder. ‘Fiili güvenlik’, sokak genişliğinin göz önüne alınması, araç trafiği hızına sınırlama getirilmesi vb. fiziki mekânın doğrudan güvenliği ile ilgilidir. ‘Algılanan güvenlik’, yayanın bulunduğu ortamda kendisini ne kadar güvende hissettiğiyle ilgilidir. Kentlerin araç trafiğinin yoğun, gürültü düzeyinin ve suçluluk oranlarının yüksek olduğu bölgeler genelde yayaların kendilerini güvende hissetmediği alanlardır, bu tür alanlarda yürüme oranlarının düşük olduğu gözlemlenmektedir (Ercan ve Belge, 2017).

2) Uygunluk ve çekicilik: Yayaları yürürken hava koşullarından koruyacak unsurlar var mı, yol geçici veya kalıcı engeller tarafından kesiliyor mu, taşıt trafiğiyle kesişmeden sürüyor mu gibi sorularla yaya yollarının uygunluk ve çekiciliğini ölçer.

3) Kamusal destek: Yaya ulaşımının devlet tarafından desteklenip desteklenmediğini, bütçede yer alıp almadığını ve yaya yolu ağının kent ana ulaşım planında yer alıp almadığını ölçer.

2.3.2. Yürüme Puanı

Yürüme puanı(walk score), bir bölgenin yürüme kabiliyetini, ikamet eden kişinin evinden yakındaki olanaklara olan mesafeye göre hesaplar. İnsanların yaşamak için yürünebilecek yerler bulmasına yardımcı olur. Yürüme Puanı, yakındaki mağazaları, restoranları, okulları, parkları vb. konumlandırarak bir adresin yürüme yeteneğini hesaplar (Minhas, P., Poddar, A., 2017).

Yürüme puanı arabasız bir yaşam tarzı yaşamanın ne kadar kolay olduğunu ölçmesine rağmen, yürüyüş yolu genişliği, sokak lambaları, trafik ve suç güvenliği yürüyüş yolu eğimi gibi yaya tesislerinin niteliksel bir değerlendirmesini içermez. Genellikle halk bu puanı ev satın alma kararlarında kullanabilirken; araştırmacılar ayrıca ulaşım ve sağlık araştırmalarında bir ölçüt olarak kullanmaktadır.

Kentlerdeki yürünebilirlik ölçümleri, kentlerdeki yaşanabilirlik ile ilişkilendirilmektedir. Yapılan çalışmalardaki yürünebilirlik indeksi, yürüme puanı gibi parametreleri dikkate alarak insanlar yaşam alanı, ev seçimi yapmaktadır.

2.4 Yürüme Yolu Seçiminde Etkili Faktörler

Talavera ve Soria (2015) yaptıkları çalışmaya göre, yayaların bir yolu diğerine tercih ederken dikkate aldıkları faktörler literatür incelemelerinde 4 kategoride gruplanmıştır. En çok çalışılan faktörler belirtilmiştir:

- **Çekicilik:** olanaklar (market, mağaza vb.), turistik yerler, kamusal alanlar, banklar,
- **Konfor:** gölgelik alanlar, sakinlik, ağaçlar ve sokak genişliği,
- **Güvenlik:** çitler, trafik yoğunluğu, ışıklandırma, araç park etme ve trafik yönetimi,
- **Erişilebilirlik:** eğim, engeller, kaldırım genişliği ve hedef noktaya uzaklık.

Borst vd. (2009) Hollanda'da yaşlı sakinlerin yürüyüş rotası seçimleri üzerinde etkili olan faktörleri incelemişlerdir. Belli rotalar üzerinde yayaların tercihleri sorulması ve

rotaları kullanan yaya sayıları ile analiz yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kaldırımların, bahçelerin, konutların ve dükkanların varlığı bir yolun tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Eğimlerin, merdivenlerin olması ya da çöplerin varlığı ise yolun tercih edilebilirliğini azaltmaktadır. Algılanan yüksek suç riski de belirli bir yoldan geçme isteğini azaltmaktadır. Daha kısa rotada yürümek yerine daha yoğun trafikli ana yollarda yürümek tercih edebilir. Daha dar yollara kıyasla ana yollar boyunca daha iyi yön bulunabilir. Yaşlı insanlar, yönlendirmeyi zorlaştırabilecek veya daha uzun bir rota olarak algılanabilecek çok sayıda yol bölümü içeren rotalar yerine yalnızca birkaç yol bölümü olan rotalarda yürümeyi tercih edebilir. Yapılan çalışma mesafe dışındaki faktörlerin de yol seçiminde etkisi olduğunu göstermektedir.

3. YÜRÜME YOLU BELİRLEME PROBLEMİ

Bu bölümde kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi ve çizge teorisinden bahsedilmektedir.

3.1. Kişiselleştirilmiş Yürüme Yolu Belirleme Problemi

Kişiselleştirilmiş yürüme yolu bulma problemi, düğümlerin kavşak ve ziyaret noktalarını; ayrıtların ise yolları ifade ettiği bir çizge (serim) ile modellenebilir. Bu problemde amaç, kullanıcı tercihlerine göre başlangıç ve hedef noktaları arasındaki en uygun yürüme yolunu bulmaktır. Kişiselleştirilmiş yürüme yolu bulma problemi, bir çizge olarak modellendiğinde her ayrıtının seçilen kriterlere göre uygun olarak ağırlıklandırıldığı çok amaçlı bir karar problemidir.

Problemi çözmek için üç alt problem ele alınır (Torres vd., 2017).

a) Harita Oluşturma: Harita havuzlarından bilgi toplanması ile çizge teorisine göre sokak haritaları çıkarılır. Çizge teorisinde problem, ayrıt ve düğümler ile modellenir ve çizge şeklinde gösterilir.

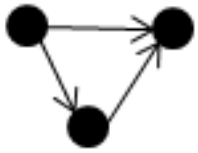
b) Harita Değerlendirme: Çizgedeki her bir ayrıtın belirlenen tüm kriterler için ayrı ayrı değeri (maliyeti) hesaplanır.

c) Yol Belirleme: Her ayrıtın maliyetlendirilmesinden sonra elde edilen çizge üzerinden başlangıç ve hedef noktalar arası yollar türetilir.

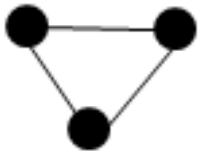
3.2. Çizge Teorisi

Çizge teorisi bir problemin ayrıt ve düğümler ile modellenip bir çizge şeklinde gösterilmesi ilkesine dayanmaktadır. Bir çizge G=(V, E) şeklinde ifade edilir. Düğümlerin (V, vertices) ve ayrıtların (E, edges) oluşturduğu küme G ile gösterilir. Çizgelerdeki

ayrıtlardan Şekil 3.1'deki gibi belirli yönde geçiş mümkünse yönlü çizgeler (directed graphs); Şekil 3.2'deki gibi düğümlerden geçişler her yöne olabiliyorsa da yönsüz çizgeler (undirected graph) olarak adlandırılır (Seker, 2015).

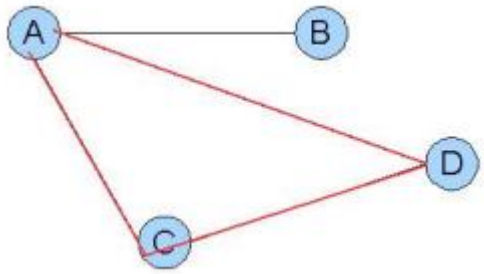


Şekil 3.1. Yönlü çizge



Şekil 3.2. Yönsüz çizge

Bir çizge üzerinde bir veya daha fazla düğümden ve kenardan geçen rotaya yol denir (Gibbons, 1985). Örneğin Şekil 3.3'te çizge üzerinde bir yol gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çizge üzerinde yol örneği

Yolların yazılışı ise geçtikleri düğümlerin sırasıyla yazılması ile elde edilir. Örneğin yukarıdaki yolu {A,C,D} olarak göstermek mümkündür (Seker, 2015).

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde literatürde en kısa yol problemi ve yol bulma problemi üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Mevcut çalışma incelemelerinden sonra bu tezin literatüre katkısına değinilmiştir.

Maruyama vd. (2004) çalışmalarında turistler için bir kentin turistik noktalarını tercih edilen bir zaman diliminde ziyaret edebilmeleri için bir gezi rotası oluşturma konusunu ele almışlardır. Ziyaret edilebilir noktaları uzaklık ölçütüne göre sıralamaktadır. Bu çalışma araç navigasyon sistemleri için yapılmıştır. A* algoritması ve genetik algoritma kullanılmıştır.

Gandibleux vd. (2006), çok amaçlı en kısa yol problemini araçlar için Martin etiket algoritması kullanarak ele almışlardır. Etiketler her düğümün özelliklerini taşımaktadır ve baskınlıklarına göre kalıcı, geçici etiketler ile düğümler arası seçim yapılmaktadır. Martin algoritmasını hem enküçükleme hem enbüyükleme amaçlarına uygun olabilecek şekilde geliştirip gerçek problemlere uyarlandığını bildirmişlerdir. Maliyeti ve gecikme süresini enküçüklemek veya kalite ve yol genişliğini enbüyüklemek için uygulanabilir. Çalışmada önerilen revizyon algoritmada, Martin algoritması ile karşılaştırıldığında daha fazla etiket işlenir. Bu versiyon, iki tür hedefi birleştirerek, hedeflerin yapılandırmasının dış etkenlere bağlı olduğu gerçek problemlerle başa çıkmak için esnek bir algoritmik çözüm sağladığını belirtmişlerdir.

Raith ve Ehrgott (2009), toplam mesafe ve harcanan zamanı enküçükleyecek iki amaçlı en kısa yol problemini çözmek için farklı stratejileri karşılaştırmışlardır: etiket düzeltme, etiket ayarlama, NSP(en kısa yola yakın sıralama), iki evreli yöntem. Sonuç olarak; etiket ayarlama algoritması, her yinelemede, tüm düğümlerde bulunan tüm geçici etiketler arasında baskın olmayan en az bir etiketi çıkartmayı gerektirir. En yakın yol algoritması, çizge sorunlarını çözmek için çok uygun değildir. İki evreli yöntemin BSP problemini çözmek için yaygın olarak uygulanan diğer yaklaşımlarla rekabet edebilir olduğunu göstermişlerdir. İki evreli yöntem, 2.evrede hem bir sıralama, bir etiket düzeltme

hem de bir etiket ayarlama yaklaşımı ile iyi çalışmaktadır. Ancak etiket düzeltme ve ayarlama yaklaşımları daha kararlı oldukları için tercih edilebilir görünmektedir.

Ghoseiri ve Nadjari (2010), karınca kolonisi algoritması ile iki amaçlı en kısa yol problemi için etiket düzeltme yöntemine kıyasla oldukça hızlı bir şekilde yüksek kaliteli çözümler bulunabildiğini elde etmişlerdir. Amaç fonksiyonu maliyet ve toplam mesafeyi en küçüklemektir. Performans ölçümleri, karınca kolonisi algoritması tarafından üretilen çözümlerin etiket düzeltme algoritmasına göre yaklaşık on kat daha kısa süre alan çözümler ürettiğini gösterirken, CPU süresini yoğun bir şekilde azalttığını da göstermiştir.

Siddiqi vd. (2014), amaçlarından biri toplam yol uzunluğunu enküçüklemek, bir diğeri ise harcanan toplam zamanı en küçüklemek olan çok amaçlı en kısa yol problemini çözmek için yinelemeli stokastik bir evrim (StocE) algoritması sunmaktadır. Önerilen algoritmanın mevcut tek çözüm ve popülasyon tabanlı evrimsel algoritmalardan daha üstün olduğu test sonuçları elde etmişlerdir.

Kaist vd. (2014) yaptıkları çalışmalarında Chicago için City of Chicago Data Portal'den indirilen suç verileri ile beraber Twitter'dan gerçek zamanlı, coğrafi etiketli mesajlardaki duygulardan elde edilen verilere dayalı olarak rota bulmayı amaçlamışlardır. SocRoutes ismini verdikleri sistemden elde ettikleri rotalarda suç noktalarından uzaklaşıp böylece daha güvenli, daha dostça ve daha keyifli bir rota bulmak hedeflenmiştir. Routeboxer algoritmasından yararlanılmıştır. Bu algoritma önceden belirli olan bir rota boyunca alanları belirlemek için kullanılır. Algoritmaya girdi olarak rotalar hazır olarak verilir ve rotayı kapsayan kutucuk alanlar elde edilir. Bu sebeple rota bulma konusunda daha karmaşık ve rotayı kendi çıkarabilen algoritmalar kullanılırsa çalışmanın daha uygulanabilir olacağını belirtmişlerdir.

Ornelas vd. (2014) Meksika' nın bazı bölgelerinde insanların güvenlik sorunu yaşadıklarını ve bir noktadan bir noktaya giderken yürümek istemediklerini belirtmişlerdir. Bunun sebepleri arasında kaldırımların kayıt dışı ticaret tarafından işgal edilmesi, bakım ve yaya altyapısının olmaması olduğu söylenmiştir. İnsanların altyapı sorunları nedeniyle en az sorunla sokaklarda güvenli bir şekilde yürümelerine yardımcı olmak için bir uygulama önerisi sunmuşlardır. Bu öneriye göre bir yaya yürüme eylemindeyken herhangi bir

olumsuzluk yaşanan nokta gördüğünde uygulamaya bu durumu kaydedecek ve böylece diğer kullanıcılar da bu olumsuzluktan bilgi sahibi olacaklardır. Bu unsurlar bir alanın ne kadar güvenli olduğunu, mevcut bir altyapının durumunu (aydınlatma, köprüler, sokaklar) gösterir, ayrıca kullanıcı bazı cazibe merkezlerini (parklar, müze vb.) seçip önerebilir. Uygulama, bir yerden başka bir yere gitmek için 3 farklı rota döndürür: 1) en hızlı ulaşım sağlanacak yol, 2) kontrolü doğrulayan ve diğer kullanıcılar tarafından belirlenen olumsuz önerileri önleyen en güvenli yol, ve 3) rotayı belirlemek için olumlu ve olumsuz önerileri dikkate alan en keyifli yol. Kullanıcının önerilen üç rotadan ihtiyaçlarına göre kendi kararını vermesi beklenir.

Galbrun vd. (2016) çalışmalarında suç yoğunluk haritalarını kullanarak şehir güvenliğini sağlayan, yayalar için mevcut ve hedef konum arasında en kısa ve düşük riskli yolu bulmayı amaçlayan bir uygulama önermişlerdir. Open Street Map'ten Chicago ve Philadelphia sokak ağlarını elde etmişlerdir. Erişilebilir suç veri setleri de her bir düğüm için risk puanı atanmasında kullanılmıştır. Amaç yol uzunluğu ve güvenliği arasında bir ödünleşme sağlayan baskın olmayan yolların küçük bir kümesini sağlamaktır. Dijkstra algoritmasından yararlanmışlardır. Belirlenmiş olan iki nokta arasındaki tüm yollar önceden çıkarılmıştır. Güvenlik değerleri hesaplanmıştır. Her yol bölümünün güvenlik ve uzaklık değeri bilinmektedir. Dijkstra algoritmasında elde edilen rotaya göre toplam uzaklık ve toplam güvenlik değerleri grafikte çizilerek baskın yolları aramışlardır.

Mata vd. (2016) literatürde yer alan yol bulma ile ilgili çalışmalardan farklı olarak suç oranlarını dikkate almışlardır. Önerilen mobil uygulamada suç oranlarından tahminlerle güvenli rotalar çıkarmayı amaçlamışlardır. Suç oranları için hem resmi verileri hem de Mexico City' deki suç olayları ile ilgili tweetleri dikkate almışlardır. Tweetlerin bir suç olayını mı yoksa hırsızlığı mı tanımladığını belirlemek için sınıflandırmışlardır ve suç olarak tanımlanamayan tweetler ise Bayes algoritması ile değerlendirilmiştir. Toplam 5441 tane resmi ve tweet yoluyla elde edilmiş olay elde etmişlerdir. Belirli bir yerde ve saatte bir suçun meydana gelme olasılığına ilişkin tahminlerde bulunmak için kullanmışlardır. Güvenli rota ise çizgedeki düğümlerin belirli bir nokta veya coğrafi alan için suç sayısından elde edilen ortalama ağırlık olarak atandığı Dijkstra algoritmasının uyarlanmasıyla elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın Meksika kent kamera sistemleri ile desteklenip mobil akıllı şehir uygulamalarına dönüştürülebileceğini belirtmişlerdir.

Keler vd. (2016) şehir içinde suç noktalarından kaçınan tek amaçlı yol bulma problemi üzerine çalışmışlardır. Tehlikeli alanlar; gönüllü coğrafi bilgiler(VGI) , şehirlerin ulaşılabilir açık kaynakları ve polis departmanından alınan suç verileri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın literatüre katkısı soyut duyguları sayısallaştıracak nitelikler kullanmaktır. Çalışma Los Angeles verileri ile çalışılmıştır ve gece kullanımı olacağı varsayılmıştır. Çalışmadaki güvensizlik durumu polis karakollarına, sokak ışıklarına ve otoyollara olan mesafelerin kombinasyonu olarak ele alınmıştır. Belirlenen suç alanları engelleme noktaları olarak tanımlanır bu noktalardan kaçınılır. Belirlenen güvenlik endeksi ile başlangıç ve varış noktaları arası en az tehlikeli yol çıkartılıp sonrasında en kısa yol ile kıyaslaması yapılmaktadır. Fakat kullanılan suç kümelerinin zamana bağlı değişken olması ama çalışmanın ise sadece gece şartlarını içeren bir güvenlik indeksi kullanmasından dolayı her senaryoyu karşılayacak bir çözüm sunmayacağını belirtmektedir.

Ikea ve Inoue (2016) çalışmalarında bir doğal afet meydana geldiğinde kapanan yollar olduğunda kullanmak üzere tahliye yolu planlamasını ele almışlardır. Çok amaçlı genetik algoritma kullanılarak önerilen sistem, tahliye mesafesi, tahliye süresi ve tahliye yolunun güvenliği olmak üzere üç amaç fonksiyonuna sahiptir. Üç amacı aynı anda çözen bir yöntem değil her bir amacı tek tek çözen ve kullanıcıya sunan bir çalışma yapmışladır.

Keser vd. (2016) çalışmalarında araçlar için çok kriterli rota planlama problemlerinde A* algoritmasına arama verimliliğini artırmak için sezgisel bir maliyet fonksiyonu önermişlerdir. Seçilen kriterler seyahat mesafesi, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimidir. AHP kullanılarak her bir kriterin ağırlığı belirlenebilmektedir. Çalışma kapsamında Eskişehir ilinden 5 nokta üzerinde uygulama yapılmış, tüm kriterler eşit ağırlıkta kabul edilmiştir. Önerilen algoritmanın daha az bellek ve zaman kullandığı belirtilmiştir.

Breugem vd. (2017) bu çalışmada negatif olmayan maliyetlerle en kısa yol problemi için yeni bir FPTAS(fully polynomial-time approximation scheme) önermişlerdir. Tek kaynaklı kısa yol problemine odaklanılmıştır. Algoritma, hem bir etiketleme algoritmasından hem de Tsaggouris ve Zaroliagis (2007) tarafından önerilen bir FPTAS'tan işlevler kullanır. Kesin yöntem olarak Dijkstra algoritması incelenmiştir. İkinci

yöntem Tsaggouris ve Zaroliagis (2007) tarafından belirlenen TZ-FPTAS tır. İki yöntemin entegresi ile hibrit-FPTAS önerilmektedir. Hibrit FPTAS'ın, TZ-FPTAS ve Dijkstra'dan daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Tores vd. (2018) yaptıkları çalışmada yol eğimi enküçüklemek, mesafeyi enküçüklemek, yeşil alanları en büyüklemek amaçlarına ağırlıklar vererek yol bulma için A* arama algoritmasını uygulamışlardır. İspanya Granada şehri için bir mobil uygulama üzerinden (PROA) yöntemlerini kullanıcılarına sunmaktadırlar.

Levy vd. (2018) güvenliği enbüyükleyecek toplam mesafeyi enküçükleyecek çok amaçlı yol bulma problemi için derin pekiştirmeli öğrenme (Deep reinforcement learning) yöntemini kullanarak literatürdeki diğer çalışmalardan farklı bir yöntem ile çözüm sunmuşlardır. Yöntemde kullanılan ajan, amaçlar doğrultusunda uygun sokakları seçmeyi öğrenmektedir. Suç oranlarına erişim izni verildiği belirtilen Boston, New York, San Francisco verilerinde ajan eğitilmiş ve önerilen SafeRoute isimli çalışma test edilmiştir. Yol uzunluğu %7 ye kadar azaltılmıştır. Coğrafi koordinatları kullanmak yerine ajan için daha iyi bir öğrenme ortamı yaratmak amacıyla haritaları temsil etmek üzere yerel sokak bağlantısına dayalı grafik yerleştirmeleri kullanmışlardır. SafeRoute için kullanılan suç puanlarının eşit olması modelin gerçek hayatta kullanılabilirliği azalmaktadır. Bu sebeple suç şiddet seviyesi eklenerek modelin kullanışlı hale getirilebileceği ayrıca Google Street View özelliği ile de modelin güçlendirilebileceği belirtilmiştir.

Zero vd. (2019), tehlikeli madde taşımacılığının kara yolu ile nakliyatı için yol seçimi problemini ele almıştır. Karar vericilerin minimum maliyetle yollar ile minimum riskli yollar arasındaki ödünleşmeyi değerlendireceği Pareto optimal çözüm kümesini oluşturmak amaçlanmıştır. Bu çalışma, bulanık amaç göz önünde bulundurularak, iki amaçlı en kısa yol problemine iki algoritma önermektedir. Birincisi Martin algoritmasının değiştirilmiş bir Gandibleux revizyonuna ve ikincisi A * algoritması hızlandırma tekniğine dayanmaktadır. Önerilen yöntemler iki ana yöntem için önceki klasik yaklaşımlardan farklıdır: iki yöntem en kısa yol problemlerini doğrusal bir amaç fonksiyonu ve bir enk/enb bulanık amaç fonksiyonu ile çözer. Gerçek hayattaki vaka çalışması ile incelemişlerdir.

Zhu (2020) yapmış olduğu çalışmada, bir kentte bulunan turistler için bisiklet ile gezmek istedikleri noktalara bir rota oluşturma problemini ele almıştır. Probleme çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Problemde amaçlar, ziyaret noktalarından turistlerin geçişini enbüyüklemek, toplam seyahat süresini enküçüklemek, bisiklet hizmet düzeyini en büyüklemek, rota üzerinde geçilecek kavşak sayısını enküçüklemektir. Çok amaçlı probleme epsilon kısıt yöntemini uygulamış ve rotalar türetmiştir.

Lambas vd. (2021) Madrid'te yürüttükleri çalışmalarında, yayaların yürüyüş rotası seçimlerini etkileyen mesafe dışındaki faktörleri analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda yayaların rotaları seçerken çekicilik ve erişilebilirlik faktörlerinin çok önemli olduğunu belirlemişlerdir. Başlangıç noktasından varış noktasına en kısa rotaların her zaman tercih edilen seçenek olmadığını göstermektedir

Lutero vd. (2022), Marinduque'deki günübirlik ada turları için seçilmiş turistik noktaların güzergahını belirlemektedir. Önerdikleri tek amaçlı tamsayılı model ile ziyaret edilen turistik noktaların toplam sayısını maksimize eden yaklaşık 8 saatlik bir günlük tur oluşturmayı amaçlamışlardır. Başlanan yerde tur bitirilmektedir. Tarih temalı, kilise temalı, doğa temalı şeklinde farklı temalarda yol türetilmektedir.

Yan (2022) ilgi alanına göre seyahat rota planlama modeli üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmayı tek amaç olan yol uzunluğu için yapmışlardır. Önerilen model, açgözlü algoritmayı iyileştirmek için yerel yakınsama probleminden daha iyi kurtulmak için iki yönlü arama algoritması ile karınca kolonisi algoritmasının avantajlarını birleştirir. Bir ilgi noktasından bir sonraki ilgi noktasına giden en kısa yol, geliştirilmiş açgözlü arama fikri kullanılarak belirlenir. Deneysel sonuçlarla, rotayı farklı şekilde oluşturarak geleneksel modele göre önerilen modelin daha kısa yol türettiğini belirtmişlerdir.

Literatür araştırması özet tablosuna Çizelge 4.1' de çalışmalardaki yöntem ve amaçlar bakımından yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. Literatür araştırması özet tablosu

Numara	Yazarlar	Yıl	Yöntem	Amaçlar	
1	Maruyama vd.	2004	A* Algoritması Genetik algoritma	Mesafe	Enküçükleme
2	Gandibleux ve Randriamasy	2006	Martin Etiket Algortiması	Maliyet/gecikme kalite/yol genişliği	Enküçükleme Enbüyükleme
3	Raith ve Ehrgott	2009	Etiket Düzeltme, iki evreli, NSP	Zaman Mesafe	Enküçükleme Enküçükleme
4	Ghoseiri ve Nadjari	2010	Karınca kolonisi ve etiket düzeltme	Maliyet Mesafe	Enküçükleme Enbüyükleme
5	Siddiqi vd.	2014	StocE	Toplam mesafe Toplam zaman	Enküçükleme Enküçükleme
6	Kaist vd.	2014	RouteBoxer	Güvenlik	Enbüyükleme
7	Ornelas vd.	2014	Fikir önerilmesi	Mesafe Güvenlik Önerilere uygun yol	Enküçükleme Enbüyükleme Enbüyükleme
8	Galbrun vd.	2016	SafePaths	Suç riski Mesafe	Enküçükleme Enküçükleme
9	Mata vd.	2016	Dijkstra Algoritması	Güvenlik	Enbüyükleme
10	Keler ve Mazimpaka	2016	IDW nokta entarpolasyonu	Suç riski	Enküçükleme
11	Ikea ve Inoue	2016	Genetik algoritma	Tahliye mesafesi, Tahliye süresi Tahliye yolunun güvenliği	Enküçükleme Enküçükleme Enbüyükleme
12	Keser vd.	2016	A*, Dijkstra Algoritması	Maliyet	Enküçükleme
13	Breugem vd.	2017	FPTAS, Dijkstra	Maliyet Mesafe	Enküçükleme Enküçükleme
14	Torres vd.	2018	A* Algoritması	Eğim Mesafe Yeşil alanlar	Enküçükleme Enküçükleme Enbüyükleme
15	Levy vd.	2018	Deep reinforcement learning	Güvenlik Mesafe	Enbüyükleme Enküçükleme
16	Zerovd.	2019	Martin etiket, A* algoritmaları	Maliyet Risk	Enküçükleme Enküçükleme
17	Zhu	2020	Karma tamsayılı model	Ziyaret edilen düğüm Seyahat süresi Bisiklet hizmet düzeyi Kavşak sayısı	Enbüyükleme Enküçükleme Enbüyükleme Enküçükleme
18	Lambas vd.	2021	TransCAD yazılımı	Mesafe	Enküçükleme
19	Lutero vd.	2022	Tamsayılı model	Ziyaret edilen düğüm	Enbüyükleme
20	Yan	2022	Arama ve karınca kolonisi algoritması	Mesafe	Enküçükleme

Yapılan literatür çalışmalarında yol bulma problemlerinin çoğunlukla taşıtları kapsadığını, yayalar için çok amaçlı yürüme yolu belirleme konusunda daha sınırlı bir çalışmanın olduğu görülmüştür. Ayrıca, güvenlik parametresi olarak kent güvenlik sistemlerine ait kameraların kullanıldığı çok amaçlı yürüme yolu belirleme problem çözümü ile karşılaşılmamıştır. Fakat yapılan çalışmalar bir yolda kamera bulunmasının işlenen suçlarda %13 lük azaltma sağladığı yönündedir (Ratcliffe vd., 2009). Dolayısı ile bir yolda kamera olması yayanın kendini daha güvende hissetmesine destek olur.

Bu çalışmada literatür çalışmalarından farklı olarak yayaların en kısa yol, en güvenli yol ve en yeşil manzaralı yol tercihlerini bir arada değerlendirmek için doğrusal tamsayılı bir hedef programlama modeli önerilmiş ve kullanıcılara yönelik karar destek sistemi geliştirilmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışma kapsamında ele alınan matematiksel modellerden, hedef programlama modelinden ve karar destek sisteminden bahsedilmektedir.

5.1. Matematiksel Model

Çalışma kapsamında çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi için en kısa yol, en güvenli yol, en yeşil yol olarak üç amaç belirlenmiştir. Bu bölümde her bir amacın matematiksel modeli izleyen alt başlıklarda açıklanmıştır. Çalışma kapsamında önerilen hedef programlama modeli ise Bölüm 5.2'de açıklanmıştır.

5.1.1. En Kısa Yol Amacı İçin Matematiksel Model

En kısa yol amacı için Wang vd.(1998)'nin çalışmasındaki doğrusal tamsayılı en kısa yol matematiksel modeli kullanılmıştır.

Kümeler:
M = {1,2,..,n} düğümler kümesi

İndisler:
i, j, k, l ∈ M bir yoldaki düğümleri ifade eden indislerdir.

Parametreler:
c_{ij} i düğümünden j düğüme olan ayrıtın uzunluğu

Karar değişkeni:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i düğümünden j düğümüne olan ayrıt kullanılmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$EnkZ = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1, j\neq i}^{n} c_{ij} X_{ij} \tag{5.1}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{n} X_{ik} - \sum_{l=1,l\neq i}^{n} X_{li} = \begin{cases} 1 & eğer\ \ i = 1, \\ 0 & eğer\ \ i = 2,3,..,n-1 \\ -1 & eğer\ \ i = n \end{cases} \tag{5.2}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}\,,\ \ i \neq j\,, \qquad i,j = 1,2,..,n \tag{5.3}$$

Denklem (5.1) amaç fonksiyonu olan alınan toplam yol uzunluğunu en küçüklemektir. Denklem (5.2) yolun bir başlangıç düğümünden başlayıp belirli bir bitiş düğümünde sonlanmasını, ayrıtlar arasındaki dengenin oluşmasını sağlar. Denklem (5.3) işaret kısıtını ifade eder. Karar değişkeni 0, 1 tamsayılıdır ve i indisi ile j indisi birbirine eşit olamaz.

5.1.2. En Güvenli Yol Amacı İçin Matematiksel Model

En güvenli yol amacı için geliştirilen model ayrıntıları aşağıdaki açıklamalarda verilmiştir. En güvenli yol amacı bir güzergah üzerindeki yollardan en az kamera donanımına sahip olan yoldaki kamera sayısının enbüyüklenmesidir.

Kümeler:

M = {1,2,..,n} düğümler kümesi

İndisler:

i, j, k, l ∈ M bir yoldaki düğümleri ifade eden indislerdir.

Parametreler:

d_{ij}: i. düğümden j. düğüme olan yoldaki kamera sayısı i ≠ j

M= Yeterince büyük bir sayı

Karar değişkenleri:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i düğümünden j düğümüne olan ayrıt kullanılmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

T: Bir güzergahın üzerindeki yollardan en az kamera donanımına sahip olan yoldaki kamera sayısı

Amaç fonksiyonu:

$$Enb\ Z = \ enk\{d_{ij}x_{ij}\} \tag{5.4}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{n} X_{ik} - \sum_{l=1,l\neq i}^{n} X_{li} = \begin{cases} 1 & eğer\ \ i = 1, \\ 0 & eğer\ \ i = 2,3,..,n-1 \\ -1 & eğer\ \ i = n \end{cases} \tag{5.5}$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \qquad i = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \qquad j = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.7}$$

$$M * \left(1 - X_{ij}\right) + d_{ij} \geq T \ \ \forall i \qquad , \qquad \forall j \tag{5.8}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \ \ i \neq j \quad i,j = 1,2,..,n \tag{5.9}$$

$$T \geq 0\ ve\ tamsayı \tag{5.10}$$

Denklem (5,4) bir güzergahın üzerindeki yollardan en az kamera donanımına sahip olan yoldaki kamera sayısını enbüyükleyen amaç fonksiyonudur. Wang vd.(1998)'nin geliştirdiği bir başlangıç düğümünden başlayarak belirli bir bitiş düğümünde sonlanan böylece bir rota çıkartan, ayrıtlar arasında denge kuran denklem (5.5) kullanılmıştır. Denklem (5.6) ve (5.7) aynı düğüme tekrar gelişlerin veya aynı düğümden tekrar çıkışların birden çok olmamasını sağlayan Bektaş'ın (2006) GSP problemi için kullandığı kısıtlardır. GSP için bu kısıtlarda her düğüme uğramak zorunlu olacak şekilde eşitlik kullanılırken, yapılan tez kapsamında her düğüme uğramak zorunlu olmadığından kısıtlar revize edilmiştir. Denklem (5.8) Bir güzergah üzerindeki en düşük kamera sayısına sahip yoldaki kamera sayısını takip eden T değişkeninin bir yolun tercih edilmesine göre minimum kamera sayısını almasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.9) ve (5.10) işaret kısıtını ifade eder.

5.1.3. En Yeşil Yol Amacı İçin Matematiksel Model

En yeşil yol amacında ağaç sayısının enbüyükleme olduğu amaç fonksiyonu için model oluşturulmuştur.

Kümeler:

M = {1,2,..,n} düğümler kümesi

İndisler:

i, j, k, l ∈ M bir yoldaki düğümleri ifade eden indislerdir.

Parametreler:

b_{ij}: i. düğümden j. düğüme olan ayrıttaki ağaç sayısı $i \neq j$

f_{ij}: i. düğümden j. düğüme yürüme süresi $i \neq j$

S: Tur için kullanılacak maksimum süre

D: Ziyaret edilen düğüm sayısı

M: Yeterince büyük bir sayı

Karar değişkenleri:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i düğümünden j düğümüne olan ayrıt kullanılmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

u_i: i. düğüm için alt tur engelleme değişkeni

u_j: j. düğüm için alt tur engelleme değişkeni

Amaç Fonksiyonu:

$$EnbZ = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} b_{ij} x_{ij} \quad i \neq j \tag{5.11}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1,k\neq i}^{n} X_{ik} - \sum_{l=1,l\neq i}^{n} X_{li} = \begin{cases} 1 & eğer \ \ i = 1, \\ 0 \ \ eğer & i = 2,3,..,n-1 \\ -1 & eğer \ \ i = n \end{cases} \tag{5.12}$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \qquad i = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.13}$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \qquad j = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.14}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} f_{ij}X_{ij} \leq S \quad \forall j \qquad j = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.15}$$

$$D = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \qquad i,j = 1,2,..,n\,, \qquad i \neq j \tag{5.16}$$

$$(D-2) + M * \sum_{j=1}^{n}(1 - X_{ij}) = \; u_i - u_j + (D-1), \quad \forall i \quad i \neq j \tag{5.17}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \;\; i \neq j \quad i,j = 1,2,..,n \tag{5.18}$$

$$u_i, u_j \geq 0 \; ve \; tamsayı \tag{5.19}$$

Denklem (5.11) yürüme yolundaki toplam ağaç sayısını enbüyükleyen amaç fonksiyonudur. Wang vd.(1998)'nin geliştirdiği bir başlangıç düğümünden başlayarak belirli bir bitiş düğümünde sonlanan böylece bir rota çıkartan, ayrıtlar arasında denge kuran denklem (5.12) kullanılmıştır. Denklem (5.13) ve (5.14) aynı düğüme tekrar gelişlerin veya aynı düğümden tekrar çıkışların birden çok olmamasını sağlayan Bektaş'ın (2006) GSP problemi için kullandığı kısıtlardır. Denklem (5.15) başlangıç düğümünden bitiş düğümüne hedeflenen süre içerisinde varmayı sağlar. (5.16) ve (5.17) denklemlerinde alt tur önleme ile ilgili Miller vd.(1960)'nin kısıtı revize edilmiştir. Normalde alt tur önleme uygulanırken gidilecek düğüm sayısını bilinmektedir fakat bu çalışma kapsamında ziyaret edilecek düğüm sayısı bilinmediğinden D ziyaret edilen düğüm sayısı için formül oluşturulmuştur. (5.18) ve (5.19) denklemleri işaret kısıtını ifade eder.

5.2. Ağırlıklandırılmış Hedef Programlama Modeli

Hedef programlama, birden fazla amaç fonksiyonu olan problemler için kullanılabilecek çözüm yöntemlerinden birisidir. Yöntemin klasik eniyileme çözüm yöntemlerinden farkı, amaç fonksiyonlarını eniyilemeye çalışmaması bunun yerine

amaçlardan istenmeyen yöndeki sapmaların toplamını enküçüklemesidir. Hedef, amaç fonksiyonunun ulaşması istenilen değerdir. Eğer gerçekleştirilmesi istenen hedeflerin farklı önem dereceleri var ise, 'ağırlıklı hedef programlama' yaklaşımı söz konusudur. Amaç fonksiyonu oluşturulurken, hedeflerden istenmeyen yöndeki sapmalar hedeflerin önem derecelerini temsil edecek ağırlık değerleri (w_i) ile çarpılır.

Hedef programlamada, kırılgan kısıtlar ve esnek kısıtlar olmak üzere iki tür kısıt yapısı bulunmaktadır. Kırılgan kısıtlar, kesin olarak sağlanması gereken kısıtlardır. Hedeflerle ilgili olmayan tüm kısıtlar bu gruba dahildir. Esnek kısıtlar ise, amaç fonksiyonlarının alacağı değeri – ve + yönde sapmalara izin verebilecek şekilde hedefe eşitlenmesi ile oluşturulan kısıtlardır. Hedef değerinden – ve + yöndeki sapma miktarları sapma değişkenleri ile temsil edilir. Her bir i hedefi için bir negatif sapma değişkeni s_i^- ve bir pozitif sapma değişkeni s_i^+ tanımlanır. Sapma değişkenleri negatif değer alamazlar. Negatif sapma değişkeni, hedefin ne kadar altında kalındığını gösteren değişkendir. Hedef programlama yaklaşımında amaç fonksiyonu hedeflerin istenmeyen yöndeki sapmaları toplamının enküçüklenmesidir (Kapanoğlu vd. 2019).

Çalışma kapsamında ele alınan problem 3 amaç içermektedir. Bir yayanın, amaçlara verdiği ağırlıklara göre uygun bir yol elde edebilmesi için çok amaçlı ağırlıklandırılmış hedef programlama modeli önerilmiştir.

Amaçlar:

P_1: Yol uzunluğu = Enküçükle{Toplam uzunluk}

P_2: Kamera sayısı = Enbüyükle{Enküçükle{(i,j) ayrıtındaki kamera sayısı}}

P_3: Ağaç sayısı = Enbüyükle{Toplam başlangıç düğümden bitiş düğüme tüm ayrıtlardaki ağaç sayısı}

Kümeler:

V : Ziyaret edilecek düğüm sayısı veya kritik kavşak sayısı V = {1,2,..,n}

P : Amaç sayısı P = {1,..,p}

İndisler:

i, j, k, l ∈ V bir yoldaki düğümleri ifade eden indislerdir.

Parametreler:

b_{ij}: i. düğümden j. düğüme olan ayrıttaki ağaç sayısı $i \neq j$

c_{ij}: i. düğümden j. düğüme olan ayrıtın uzunluğu $i \neq j$

d_{ij}: i. düğümden j. düğüme olan ayrıttaki kamera sayısı $i \neq j$

f_{ij}: i. düğümden j. düğüme yürüyüş süresi $i \neq j$

w'_p: p. amacın artık sapma değerleri için ağırlığı

w''_p: p. amacın eksik sapma değerleri için ağırlığı

S: Kullanıcının ayırmak istediği enbüyük süre

D: Ziyaret edilen düğüm sayısı

M: Yeterince büyük bir sayı

Karar değişkeleri:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. düğümden j. düğüme olan ayrıt kullanılmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

u_i: i. düğüm için alt tur engelleme değişkeni

u_j: j. düğüm için alt tur engelleme değişkeni

T: Bir güzergahın üzerindeki yollardan en az kamera donanımına sahip olan yoldaki kamera sayısı

S_p^-: p. amacın negatif sapması

$S_p^{\mp}$: p. amacın pozitif sapması

Hedef Programlama için Amaç fonksiyonu:

$$Enkz = w'_1 * s_1^+ + w''_1 * s_1^- + w'_2 * s_2^+ + w''_2 * s_2^- + w'_3 * s_3^+ + w''_3 * s_3^- \qquad (5.20)$$

Hedef Programlama için Esnek kısıtlar:

- Gidilecek yol uzunluğu = Z1

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} + s_1^- - s_1^+ = Z1 \qquad (5.21)$$

- Bir güzergah üzerindeki yollardaki kamera sayısı = Z2

$$T + s_2^- - s_2^+ = Z2 \qquad (5.22)$$

- Bir yoldaki ağaç sayısı = Z3

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_{ij}x_{ij} + s_3^- - s_3^+ = Z3 \tag{5.23}$$

Hedef Programlama için Kırılgan kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{n} x_{ik} - \sum_{l=1}^{n} X_{li} = \begin{cases} 1 & i = 1 \\ 0 & i = 2,3,..,n-1 \\ -1 & i = n \end{cases} \qquad k \neq i \;\; ve \;\; l \neq i \tag{5.24}$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \qquad i = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.25}$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \qquad j = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.26}$$

$$M * (1 - X_{ij}) + d_{ij} \geq T \qquad \forall i \, , \forall j \qquad , \qquad i \neq j \tag{5.27}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} f_{ij}X_{ij} \leq S \quad \forall j \qquad j = 1,2,..,n \; , \qquad i \neq j \tag{5.28}$$

$$D = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \qquad i,j = 1,2,..,n \quad , \qquad i \neq j \tag{5.29}$$

$$(D-2) + M * \sum_{j=1}^{n}(1 - X_{ij}) = u_i - u_j + (D-1), \quad \forall i \quad i \neq j \tag{5.30}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \;\; \forall i,j \;\; . \; i \neq j \tag{5.31}$$

$$u_i, u_j, \mathrm{T}, S_p^-, S_p^+ \geq 0 \text{ ve tamsayı} \tag{5.32}$$

Denklem (5.20) amaçlardan istenmeyen yöndeki sapmalar toplamının enküçüklendiği hedef programlama amaç fonksiyonudur. Denklem (5.21) – (5.23) hedef programlama esnek kısıtlarıdır. Amaç fonksiyonu değerine negatif sapmanın eklenip pozitif sapmanın çıkarılması ile hedef değere eşitlenir. Wang vd.(1998)'nin geliştirdiği bir başlangıç düğümünden başlayarak belirli bir bitiş düğümünde sonlanan böylece bir rota çıkartan, ayrıtlar arasında denge kuran denklem (5.24) kullanılmıştır. Denklem (5.25) ve (5.26) aynı düğüme tekrar gelişlerin veya aynı düğümden tekrar çıkışların birden çok olmamasını sağlayan Bektaş'ın (2006) GSP problemi için kullandığı kısıtlardır. Denklem (5.27) Bir güzergah üzerindeki en düşük kamera sayısına sahip yoldaki kamera sayısını

takip eden T değişkeninin bir yolun tercih edilmesine göre minimum kamera sayısını almasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.28) başlangıç düğümünden bitiş düğümüne verilen maksimum sürede varmayı sağlar. (5.29) ve (5.30) denklemlerinde alt tur önleme ile ilgili Miller vd.(1960)'nin kısıtı revize edilmiştir. Normalde alt tur önleme uygulanırken gidilecek düğüm sayısını bilinmektedir fakat bu çalışma kapsamında ziyaret edilecek düğüm sayısı bilinmediğinden D ziyaret edilen düğüm sayısı için formül oluşturulmuştur. (5.31) ve (5.32) denklemleri işaret kısıtını ifade eder.

5.3. Normalleştirme

Amaçlar farklı birimlerden değerler ifade ettiklerinden matematiksel modelde verilerin normalleştirilmiş değerleri çalışılmıştır. Amaçların birimleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Matematiksel modelde kullanılan amaçlar ve ölçü birimleri

Amaçlar	**Ölçü birimi**
Toplam uzunluk	Metre
Kamera sayısı	Adet
Ağaç sayısı	Adet

Normalleştirme yöntemi olarak Min-Max Normalizasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ile veriler [0-1] aralığına dönüştürülür. Veri aralığındaki en yüksek ve en düşük değere göre her bir değerin konumu hesaplanır. Denklem (5.33)'de verilmiştir.

$$X' = \frac{x - \text{enküçük}(x)}{enb\text{üyük}(x) - \text{ enküçük}(x)} \tag{5.33}$$

5.4. Karar Destek Sistemleri

Karar destek sistemleri (KDS), veri ve modelleri kullanarak yarı-yapılandırılmış veya yapılandırılmamış karar problemlerini destekleyen bilgisayar tabanlı bilgi sistemleridir. Bir kararın kalitesini arttırmak, karar vericilerin karar verme kapasitelerini geliştirmek ve genişletmek için yararlanılan bilgi sistemlerini ifade etmek için kullanılır.

KDS'nin karar verici yerine karar vermesi beklenmez. Karar vericilerin daha kolay, daha doğru ve hızlı karar verebilmelerine yardımcı olur. KDS'de ele alınacak kararların yargı gerektirmesi veya algoritmalar ve yöntemlerle tamamen çözülemiyor olması gerekir. Bir karar destek sistemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Kapanoğlu vd. 2019):

1- Bir karar sürecinde yer alan modelleri kuran ve/veya çözen,

2- Bu modellerde kullanılacak veri, bilgi, parametre ve göstergeleri, eğer var ise, veri ambarı, veri marketi ve veritabanlarından bulup çıkaran,

3- İç ve dış bilgi kaynaklarında olmayan bilgileri ise işletme analitiğinden yararlanarak kendi hesaplayan,

4- Karar vericinin bilişsel kapasitesi ile yönetim biliminin ve yöneylem araştırmasının yöntem, model ve algoritmalarını, karar ve fayda kuramı ile bir arada değerlendirmesine olanak veren,

5- Kararın kalitesine katkıda bulunmak amacıyla tasarlanmış bir bilgi sistemidir.

5.4.1. Karar Destek Sistemi Özellikleri

Kapanoğlu vd.(2019) karar destek özelliklerini aşağıdaki gibi belirtmiştir:

1- Karar destek sistemleri yapılandırılması güç karar problemleri için kullanılırlar.

2- Karar vericinin yerine karar vermek için değil, karar vericinin karara varmasını sağlamak için vardırlar. KDS karar vericilerin bilgi işleme ve saklamasındaki bilişsel sınırlarının üstesinden gelmede karar vericilere yardımcı olabilir.

3. Karar verme sürecinin baştan sona tüm aşamalarında yer alabilirler.

4. Kararın düşük maliyetle veya daha çabuk verilmesi için değil, doğru verilmesi için geliştirilirler.

5. Karar vericinin denetimi altındadırlar, yardımcı personel gerektirmemesi tercih edilir.

6. Karara ilişkin bazı model ve algoritmaların kullanımına olanak sağlarlar.

7. Bir tür veritabanına sahiptirler.

8. Karar vericilerin problemi daha iyi anlama ve öğrenmelerini kolaylaştırırlar.

9. Kullanıcı dostu ve karşılıklı etkileşimlidirler.

10. Evrimleşerek geliştirilir ve iyileştirilirler.

11. Tüm yönetim düzeylerine destek sağlarlar.

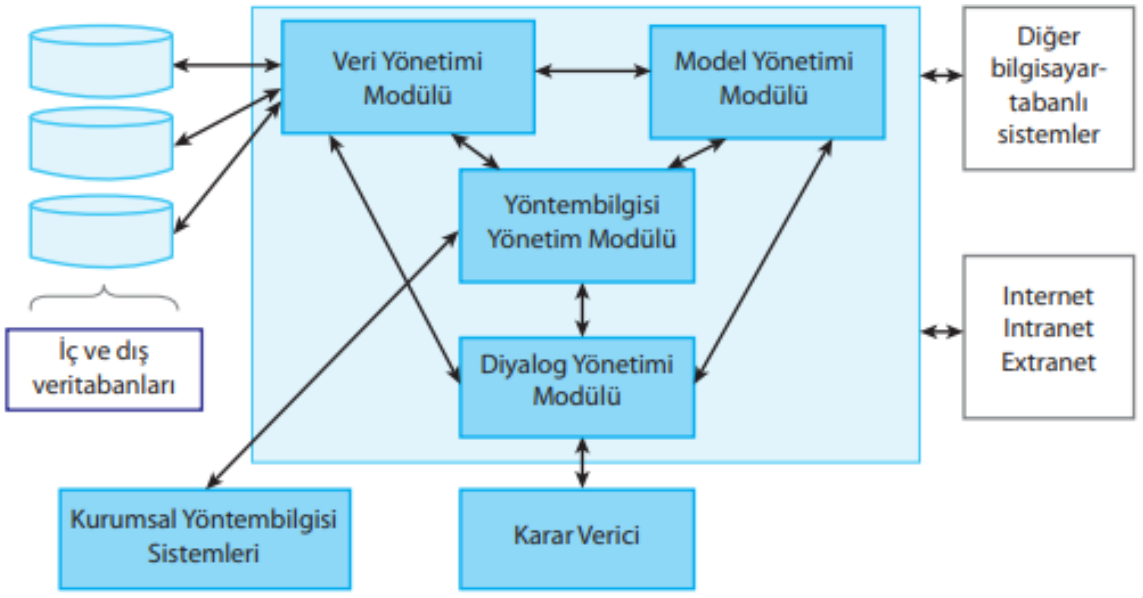
12. Tekli ve çoklu, bağımlı ve bağımsız veya ardışık-sıralı karar vermeye yönelik olabilirler.

13. Birey, grup ve takım tabanlı karar vermeyi desteklerler.

5.4.2. Karar Destek Sistemi Bileşenleri

Kapanoğlu vd. (2019) karar destek sistemleri bileşenlerini Şekil 5.1'deki gibi belirtmişlerdir. KDS' nin genel olarak 5 bileşeni vardır:

1. Karar verici
2. Model yönetimi modülü
3. Veri yönetimi modülü
4. Diyalog yönetimi modülü
5. Yöntembilgisi yönetimi modülü



Şekil 5.1. Karar destek sistemi bileşenleri (Kapanoğlu vd., 2019)

- Karar verici: Karar verici, KDS'nin en önemli bileşeni ve problemin gerçek sahibidir. Sistemin başarısı ve uygunluğunu değerlendirme hakkına sahip kişidir.

- Model yönetimi modülü: Bir KDS'de analitik, benzetim ve optimizasyon araçlarından karar vericiyi yararlandırma işlevini model yönetim modülü yürütür.
- Veri yönetimi modülü: Veri yönetimi modülü, KDS'nin model ve algoritmalarında kullanacağı verileri elde etme ve hesaplama işlevlerini yerine getirmektedir.
- Diyalog yönetimi modülü: Diyalog yönetim modülünde karar vericinin KDS ile tüm diyalog ve iletişimlerinin tasarım ve geliştirilmesi yapılır.
- Yöntembilgisi yönetimi modülü: Karar sürecindeki bazı adımları ve işlemleri karar verici yerine yapılmasını sağlayan ve genellikle kural tabanlı bilgilerin yönetildiği KDS bileşenine yöntembilgisi yönetimi modülü denir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

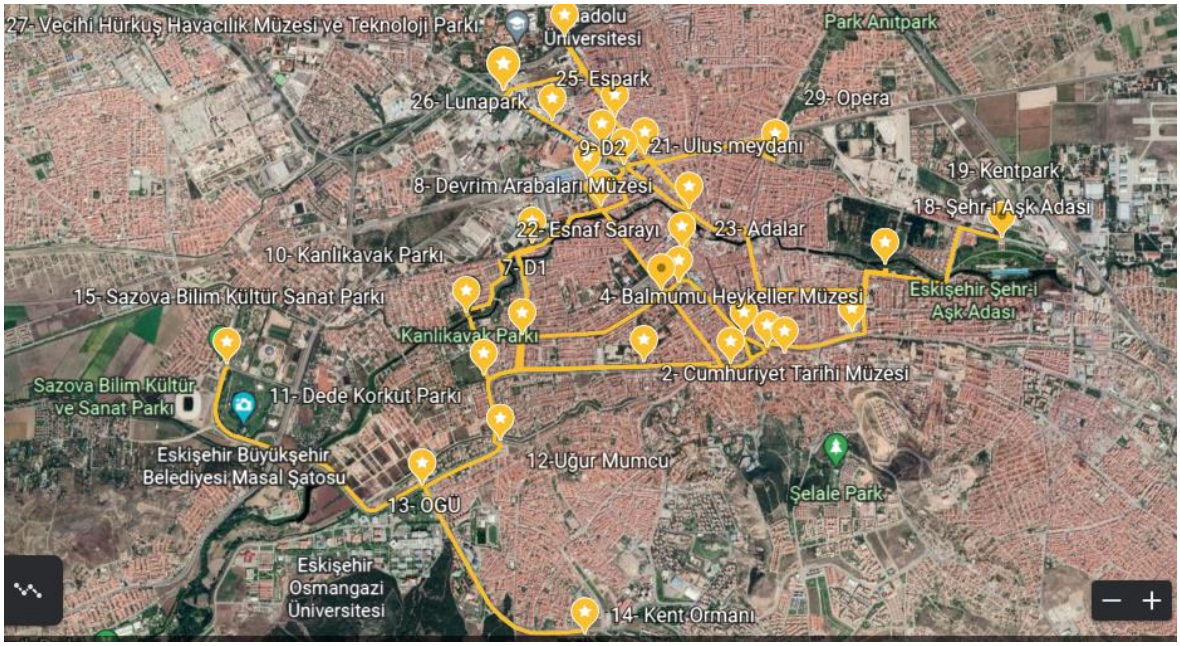
Çalışma kapsamında çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi ele alınmış ve karar destek sistemi geliştirilmiştir. Önerilen model ve geliştirilen karar destek sistemi örnek çalışması için Eskişehir ilinde bazı önemli ziyaret noktaları seçilmiştir.

6.1. Çok Amaçlı Kişiselleştirilmiş Yürüme Yolu Belirleme Problemi

Kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi üç alt problem olarak ele alınmaktadır: harita oluşturma, harita değerlendirme, yürüme yolu belirleme.

6.1.1. Harita Oluşturma

Eskişehir ilinde yürüme yolu üzerinde 30 adet ziyaret noktası ve bu noktalar arası yürümeye elverişli yollar belirlenerek, Google Earth üzerinden gerçek veriler toplanarak bir çizge oluşturulmuştur. Oluşturulan yönsüz çizge G=(V, E) olarak gösterilmiştir. V={1,..,30} kümesine ait çizge üzerindeki 30 düğümü ifade eder. Düğüm ziyaret edilmeye değer noktalar veya kritik kavşak noktalarıdır. Ayrıt ise iki düğümü birbirine bağlayan yoldur. Ayrıtlar düğümlerin ikili kartezyen çarpımlarının kümesinden oluşur $E \subseteq V \times V$. Ayrıtlar (i,j) ikilileri olarak gösterilir. $i, j \in V$ ve $i \neq j$'dir. Eskişehir ili için kullanılacak çizge Google Earth Proje uygulamasıyla Şekil 6.1'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 6.1. Eskişehir ili için kullanılan çizge

Eskişehir ilinde uygulama için oluşturulan çizgedeki seçilen 30 ziyaret noktası Çizelge 6.1'de verilmiştir. D1 ve D2 noktaları ise önemli kavşakları belirtmektedir.

Çizelge 6.1 Eskişehir'de için seçilen 30 ziyaret noktası

Ziyaret Noktası	**Ziyaret Noktası Yeri**	**Ziyaret Noktası**	**Ziyaret Noktası Yeri**
1	Atatürk Lisesi	**16**	ETİ Arkeoloji Müzesi
2	Cumhuriyet Müzesi	**17**	Adalet Sarayı
3	Alaaddin Park	**18**	Şehr-i Aşk Parkı
4	Bal Mumu Müzesi	**19**	Kentpark
5	Millet Bahçesi	**20**	TCDD Gar
6	Reşadiye Cami	**21**	Ulus Anıtı
7	D1	**22**	Esnaf Sarayı
8	Devrim Arabası Müzesi	**23**	Adalar
9	D2	**24**	Haller Gençlik Merkezi
10	Kanlıkavak Parkı	**25**	Espark
11	Dede Korkut Parkı	**26**	Lunapark
12	Uğur Mumcu Parkı	**27**	Havacılık Müzesi
13	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	**28**	Bağlar
14	Kent ormanı	**29**	Opera Binası
15	Sazova Parkı	**30**	Anadolu Üniversitesi

D1: Ali Fuat Güven Bulvarı – Öğretmenler Bulvarı Kavşağı

D2: Ahmet Kanatlı Caddesi – M. Kemal Atatürk Caddesi Kavşağı

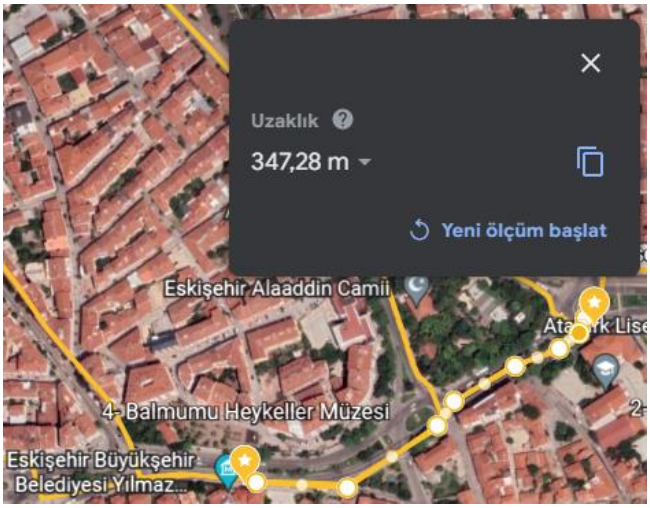
6.1.2. Harita Değerlendirme

Çalışmada ele alınan en kısa yol amacı için varılacak yer ile yola çıkılacak konum arası uzaklık, güvenli yol amacı için bir yolda bulunan kamera sayısı, manzaralı yol amacı için ise bir yolda bulunan ağaç sayısı modelin parametreleri olarak belirlenmiştir. Kamera çeşitleri olarak görüntü sağlayıcı olarak, Kent Güvenlik Yönetim Sistemi (KGYS), Plaka Tanıma Sistemi (PTS) ve balıkgözü kameralar kullanılmıştır. Parametreleri hesaplama yöntemi Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Önerilen model için kullanılan parametreler ve hesaplanma yöntemleri

Amaç	**Parametre**	**Hesaplanma Yöntemi**
Kısa yol	Varılacak yer ile yola çıkılacak konum arası uzaklık	Google Earth üzerinden uzaklık hesabı
Güvenli yol	Yolda bulunan kamera sayısı (KGYS + PTS + Balık gözü)	Google Earth sokak görünümü özelliği
Manzaralı yol	Yolda bulunan ağaç sayısı	Google Earth sokak görünümü özelliği

Çizge üzerinde düğümler arası uzaklıklar Google Earth üzerinden Şekil 6.2'de verildiği gibi tüm ayrıtlar için hesaplanmış ve uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Google Earth veri doğrulama tarihini 27.09.2021 olarak belirtmektedir.



Şekil 6.2. Google Earth üzerinde düğümler arasıuzaklık hesaplama aracı

Bir yoldaki KGYS, PTS, balık gözü kamera sayıları ve kameraların konumları Google Earth aracının Sokak Görünümü (Street View) özelliği ile belirlenen çizge içinde her düğüm ve yol ayrıtları için gezilerek belirlenmiştir. KGYS ve PTS kameralarının Sokak Görünümü görüntüsü Şekil 6.3'te; balık gözü kameraların Sokak Görünümü görüntüsü ise Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Google Earth Sokak Görünümü aracında KGYS ve PTS kamera görüntüleri



Şekil 6.4. Google Earth sokak görünümü aracında balık gözü kamera görüntüleri

Konumları belirlenen toplam 82 kameranın çizge üzerindeki görüntüsü Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Kamera noktaları yerleştirilmiş Eskişehir çizge görünümü

Manzaralı yol için bir yolda bulunan ağaç sayılarının verileri Google Earth Sokak Görünümü aracı ile çizgedeki her düğüm ve yol ayrıtları için gezilerek Şekil 6.6'daki gibi alınmıştır.



Şekil 6.6. Google Earth Sokak Görünümü aracında ağaç sayılarının elde edildiği görüntü

Çizgedeki düğümler arası yürüme süreleri Google Earth üzerinden elde edilmektedir. Böylece yürüme eyleminde bulunacak kişiye tercihlerine uygun yol sunabilmek için ek açıklamalarda belirtilmiş olan parametreler tamamlanır. Önerilen hedef programlama modeli ile problem çözümlenmesi ve yol belirlenmesi adımına geçilir.

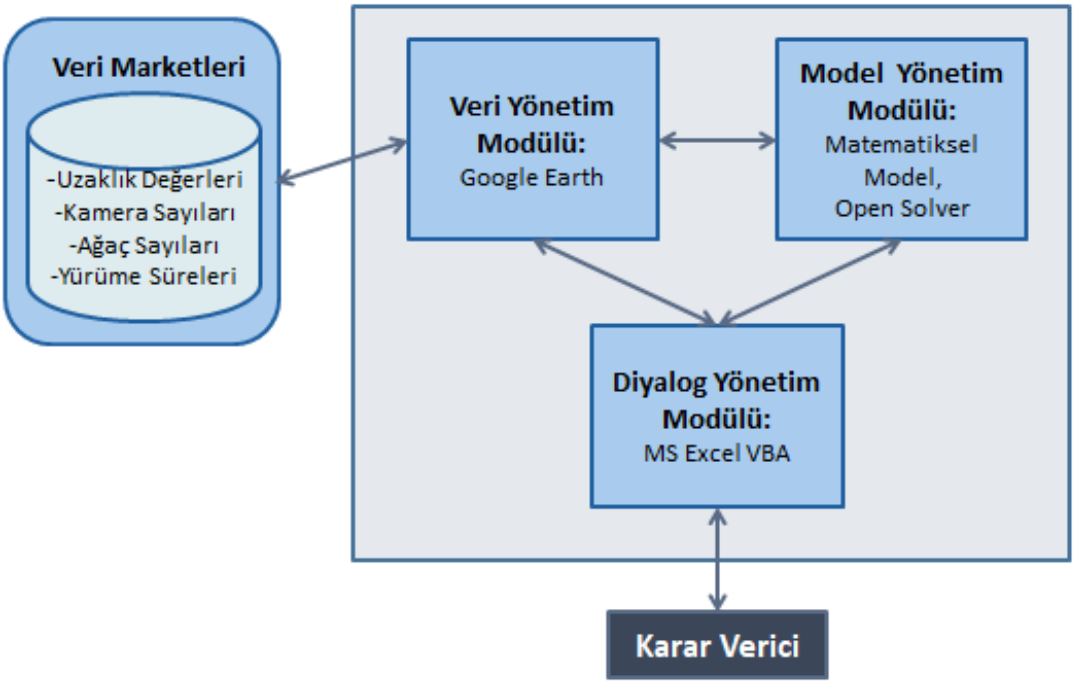
6.1.3. Yürüme Yolu Belirleme

Çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi için parametreler belirlendikten sonra önerilen doğrusal tamsayılı hedef programlama modeli ile problem çözülür. Geliştirilen karar destek sistemi bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

6.2. Geliştirilen Karar Destek Sistemi

Tez kapsamında yapılan uygulamada başlangıç düğümden hedef düğüme kendi tercihlerine uygun bir yol üzerinde yürüme eyleminde bulunmak isteyen bir yaya için çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemini çözüp, harita üzerinde yol türeten ve amaç erişim düzeylerini karar vericiye sunan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS farklı amaçlarla yürüme eyleminde bulunacak bir yayanın günlük hayatını kolaylaştırmasının yanı sıra bir kente turistik amaçlarla gelen bir ziyaretçiye de yol göstermesi açısından önemli bir çalışmadır.

Çok amaçlı yürüme yolu belirlemeye yönelik karar destek sistemi bileşenleri Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Çok amaçlı yürüme yolu belirlemeye yönelik karar destek sistemi bileşenleri

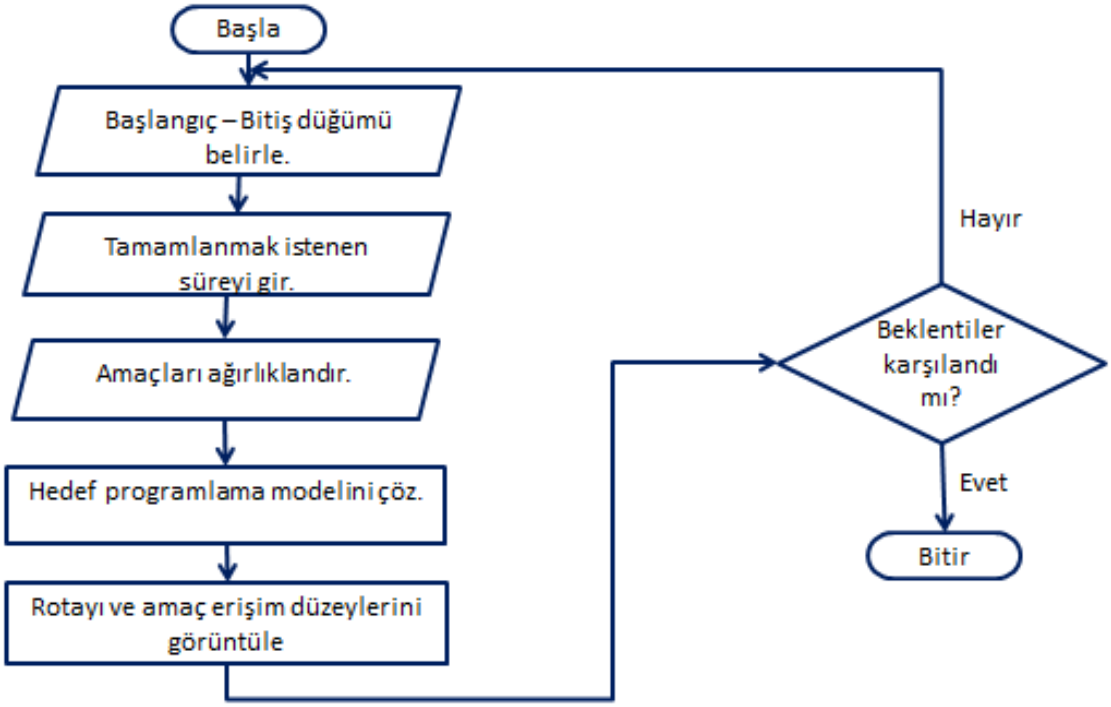
Karar verici: Yürüme eyleminde bulunacak yayadır.

Veri yönetimi modülü: Veri yönetim modülünde problem için gereken ziyaret noktaları arası uzaklık verileri, kamera sayısı, ağaç sayısı ve iki nokta arası yürüme süresi verileri Google Earth üzerinden elde edilmektedir.

Diyalog yönetimi modülü: Diyalog yönetim modülü karar vericinin yürüme eylemini gerçekleştireceği başlangıç ve bitiş nokta bilgisini, bu eylem için ayıracağı maksimum süreyi, kişisel tercihleri doğrultusunda amaçlara verdiği ağırlıkları girmesine olanak sağlar. Geliştirilen karar destek sistemi kullanıcıya türetilen yol ve amaç erişim düzeyleri sunmaktadır. Sistem kullanıcı ile etkileşimde olarak, kullanıcının tercihlerinde değişiklik olması halinde yeni yollar türetir.

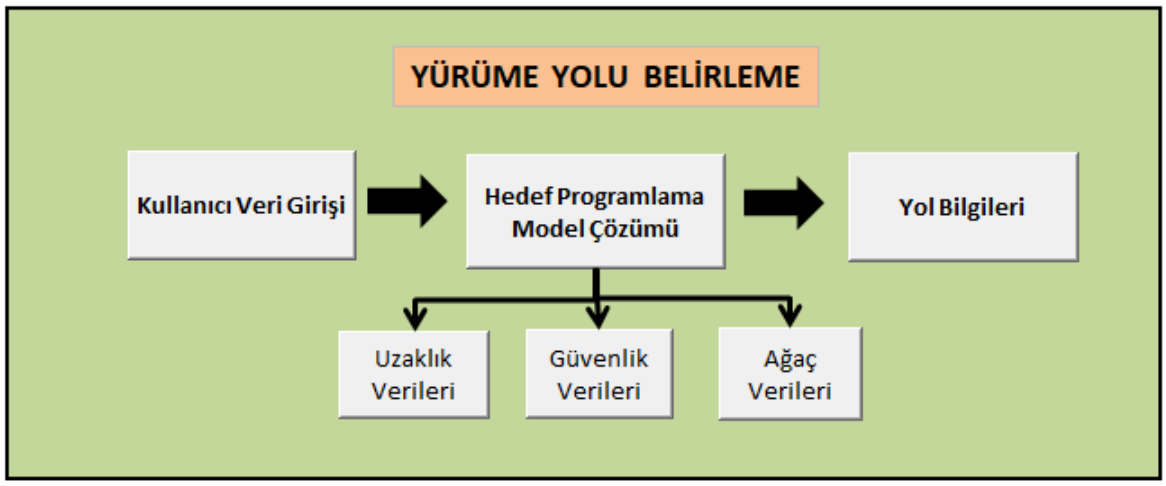
Model yönetimi modülü: Model yönetim modülünde kısa yol, güvenli yol ve manzaralı yol amaçlarını bir arada değerlendiren bir doğrusal tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Optimum ve pareto optimal çözümleri için Excel VBA içinde Open Solver eklentisi sisteme entegre edilmiştir.

KDS de kullanılan yöntem akış şeması Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Geliştirilen yöntem akış şeması

Geliştirilen karar destek sistemi ana sayfası Şekil 6.9' da verilmiştir.



Şekil 6.9. Geliştirilen karar destek sistemi ana sayfası

KDS diyalog yönetim modülünde 'Kullanıcı Veri Girişi' ile karar verici kişi kolay ve anlaşılır bir biçimde başlangıç-bitiş noktası, yürüme eylemi için ayırdığı maksimum süre ve amaçlara verdiği önem ağırlıklarını Şekil 6.10'daki gibi girmektedir.



Şekil 6.10. Karar destek sistemi diyalog yönetim modülü veri giriş ekranı

KDS ana sayfasında ‘Uzaklık Verileri’, ‘Güvenlik Verileri’, ‘Ağaç Verileri’ bağlantıları veri yönetim modülünde Google Earth uygulamasından alınan verilerle oluşturulmuş matrislere götürmektedir.

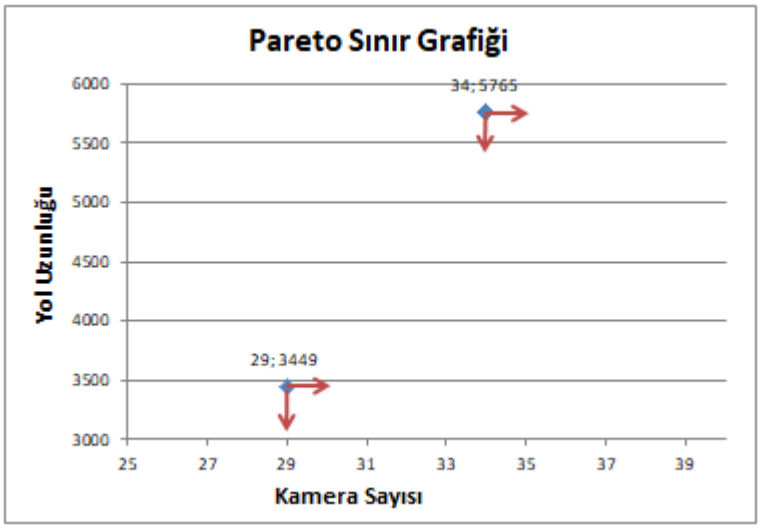
‘Hedef Programlama Model Çözümü’ ile model yönetim modülünde önerilen çok amaçlı doğrusal tamsayılı hedef programlama modeline optimum ve pareto optimal çözümleri için Excel VBA ortamında Open Solver eklentisi entegre edilmiştir. Optimum çözümler hedef programlamada esnek kısıtlarda kullanılmıştır. Pareto optimal çözümler için Çizelge 6.3’teki gibi normalleştirilmiş tekli amaç fonksiyon değerleri elde edilmiştir. Problem bir amaç için eniyileme olarak çözümlendiğinde diğer amacın alacağı kabul edilebilir değerler izlenmektedir. Birinci amacın enküçük ve enbüyük değeri diğer amaçlara göre problem çözüldüğünde aldığı değerlere göre elde edilir.

Çizelge 6.3. Pareto optimal çözümler için normalleştirilmiş tekli amaç fonksiyon değerleri

Birinci amaç:	**Z1**		**Z2**		**Z3**	
Diğer amaçlar:	**Z2**	**Z3**	**Z1**	**Z3**	**Z1**	**Z2**
Enk birinci amaç	1,029	1,029	0,167	0	0,775	1,143
Enb birinci amaç	2,037	3,509	0,25	0,25	2,959	2,959

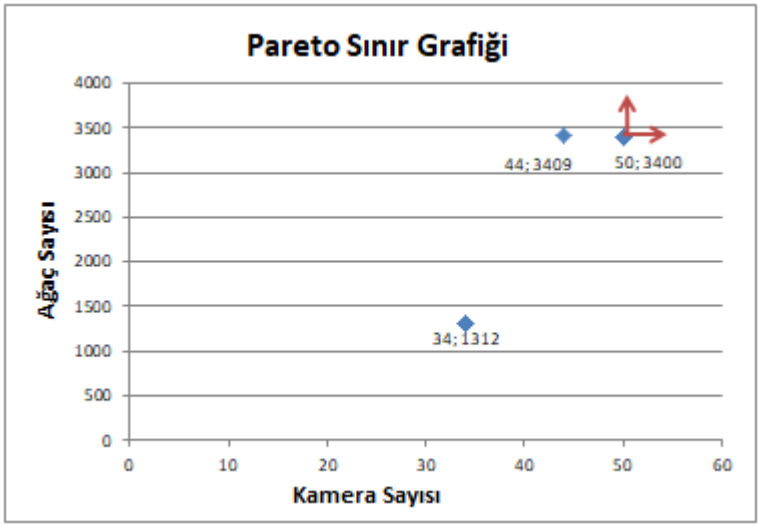
Elde edilen en küçük ve en büyük değerler arasında eşit aralıklarla arttırılarak Pareto optimal çözüm çiftleri oluşturulup pareto sınır grafikleri orijinal değerler için

çizilmiştir. Şekil 6.11'de kamera sayısı ve yol uzunluğu amaçlarının çözüm çiftlerinden elde edilmiş pareto sınır grafiği yer almaktadır.



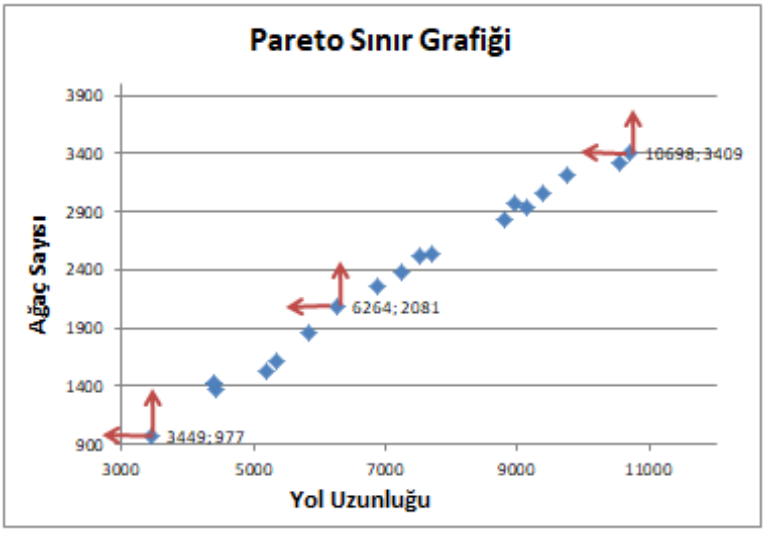
Şekil 6.11. Kamera sayısı ve yol uzunluğu amaçlarının pareto sınır grafiği

Şekil 6.12'de kamera sayısı ve ağaç sayısı amaçlarının çözüm çiftlerinden elde edilmiş pareto sınır grafiği yer almaktadır.



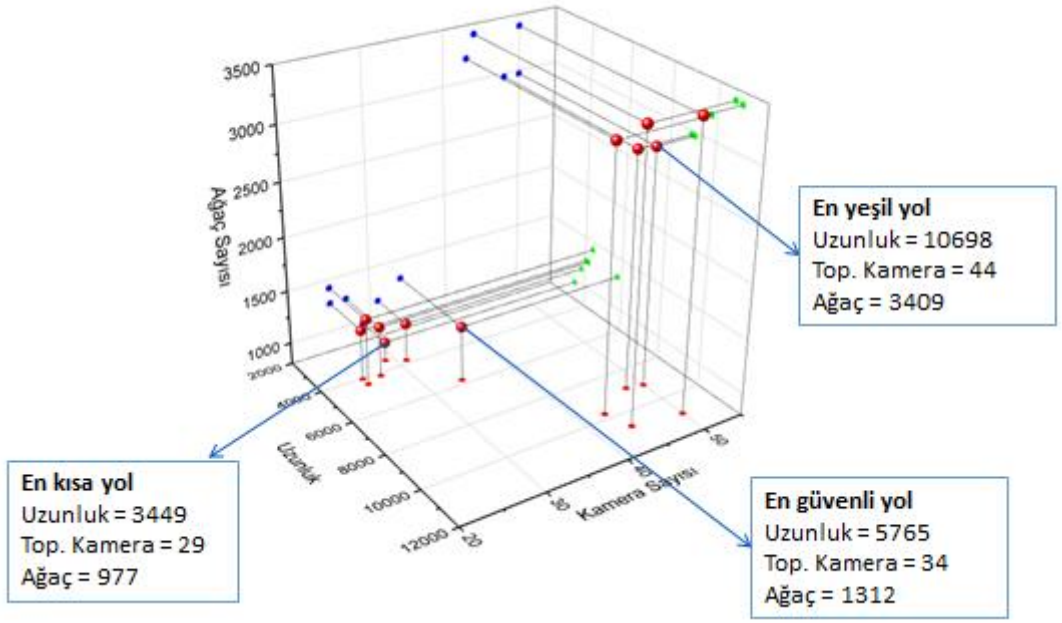
Şekil 6.12. Kamera sayısı ve ağaç sayısı amaçlarının pareto sınır grafiği

Şekil 6.13'te yol uzunluğu ve ağaç sayısı amaçlarının çözüm çiftlerinden elde edilmiş pareto sınır grafiği yer almaktadır.



Şekil 6.13. Yol uzunluğu ve ağaç sayısı amaçlarının pareto sınır grafiği

Üç amacın ağırlık toplamları 1 olacak şekilde her seferinde bir amaçta 0,1 birim ağırlık değişikliği yapılarak farklı sonuçlar elde edilmiş ve üç amacın ödünleşme noktaları Şekil 6.14'te gösterilmiştir. En kısa yürüme uzunluğu tercihinde olan bir karar verici için grafikteki çözümlerde belirtilmiş olan 'En kısa yol' çözümü uygun iken en yeşil yoldan yürüme tercihinde olan bir karar verici için ise grafikteki çözümlerden 'En yeşil yol' çözümü uygundur. Güvenli yol amacı türetilen rotadaki her bir yol üzerindeki en az kamera sayısını enbüyüklemek olduğundan en güvenli yol amacındaki bir karar vericiye ise 'En güvenli yol' çözümü uygundur.



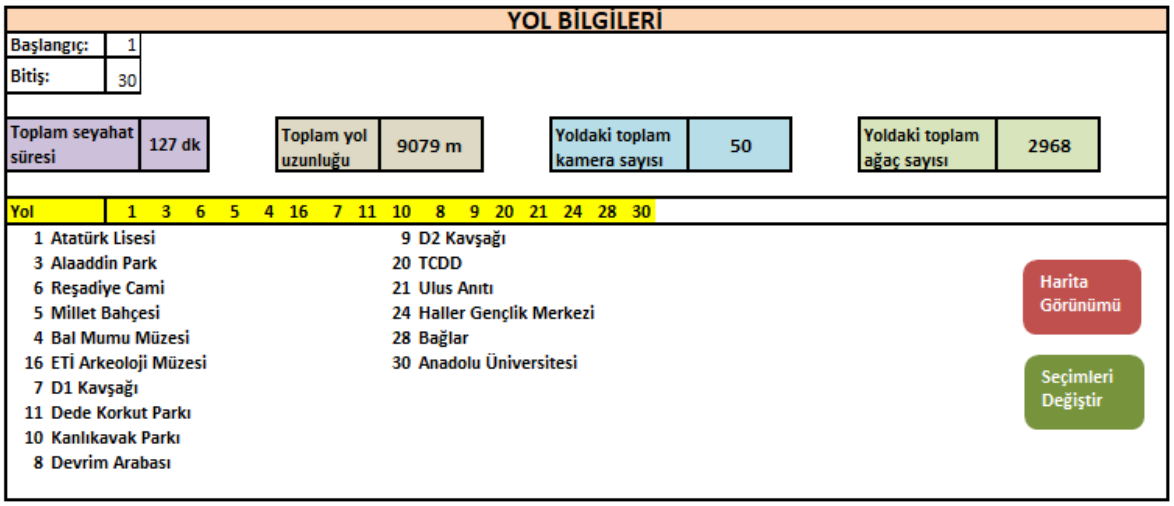
Şekil 6.14. Üç amacın ödünleşme noktaları

Ödünleşme noktalarına karşılık gelen gerçek problem verileri ve türetilen yollar Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Ödünleşme noktalarına karşılık gelen gerçek problem verileri

Toplam Yol Uzunluğu	Toplam Kamera Sayısı	Toplam Ağaç Sayısı	Toplam Süre	Türetilen Yollar
10698	44	3409	147	1-3-2-4-5-7-16-11-10-8-9-20-21-25-26-27-30
10988	50	3400	149	1-3-6-5-7-16-11-10-8-9-20-21-24-28-25-26-27-30
4175	27	1270	59	1-3-6-5-9-20-21-24-28-30
3449	29	977	51	1-3-6-22-23-24-28-30
9079	50	2968	125	1-3-6-5-4-16-7-11-10-8-9-20-21-24-28-30
9747	43	3206	136	1-3-2-4-5-7-16-11-10-8-9-20-21-25-28-30
8942	48	2968	125	1-3-6-5-4-16-7-11-10-8-9-20-21-25-28-30
4038	25	1270	57	1-3-6-5-9-20-21-25-28-30
3798	31	1157	57	1-3-6-22-23-24-21-25-28-30
4397	25	1419	65	1-3-2-4-5-9-20-21-25-28-30
5765	34	1312	76	1-17-18-23-24-28-30

Model yönetim modülündeki sonuçlar karar vericiye diyalog modülü aracılığı ile sunulur. Türetilen yol ve amaç erişim bilgileri ‘Yol Bilgileri’ ile Şekil 6.15’teki gibi sunulmaktadır. Kullanıcı böylece yürüme eyleminin alacağı öngörülen toplam süre bilgisini, gidilecek yolun toplam kaç metre olacağını, yol üzerinde toplam kaç kamera yer aldığını ve dolayısıyla kendini ne kadar güvende hissedeceğini, yoldaki toplam ağaç sayısı verilerini elde etmiş olacaktır.



Şekil 6.15. Karar destek sistemi diyalog yönetim modülü yol bilgileri ve amaç erişim düzeyleri

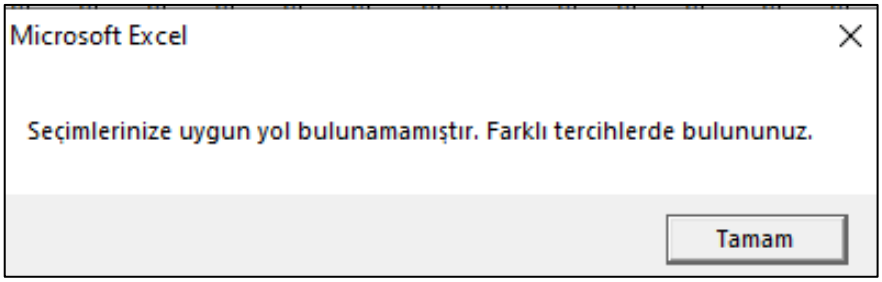
Karar verici dilerse ‘Harita Görünümü’ butonu ile türetilen yürüme yolunu harita üzerinde görebilir. Şekil 6.16’da türetilen rotanın harita üzerinde karar vericiye gösterimi verilmiştir. Mavi renk ile ifade edilen ayrıtlar çizgedeki yürüme yolu için seçilen elverişli ayrıtlardır. Sarı renk ile ifade edilen ayrıtlar ise karar destek sistemi ile türetilen başlangıç noktasından hedef noktasına yürüme yolunu göstermektedir.



Şekil 6.16. Türetilen yürüme yolunun harita üzerinde gösterimi

Karar verici ‘Seçimleri Değiştir’ butonu ile Şekil 6.10’da verilen ‘Veri Girişi’ menüsüne erişip en başta yaptığı seçimleri değiştirebilir. Dilerse süreyi arttırarak daha fazla ziyaret noktasından gidebileceği bir yol tercihinde bulunabilir veya dilerse amaçlara verilen önem ağırlıklarını değiştirebilir. Böylece geliştirilen KDS karar verici ile karşılıklı iletişimde olarak türetilen yolu değiştirir.

Eğer alınan verilerle uygun bir çözüm bulunamıyorsa tercihlerin değiştirilmesi yönünde Şekil 6.17’deki gibi karar verici yönlendirilir.



Şekil 6.17. Karar destek sisteminin tercih değişimi için yönlendirmesi

6.3. Örnek Çalışmalar

Bu bölümde önerilen model ve geliştirilen karar destek sisteminin farklı kullanıcı tercihlerine göre uyum sağlayarak tercihlere uygun sonuçlar türettiği örneklerle ele alınmıştır.

Şekil 6.1'de verilen Eskişehir'den belirli ziyaret noktaları seçilerek oluşturulan çizge üzerinde, başlangıç noktası 1 (Atatürk Lisesi), bitiş noktası 30 (Anadolu Üniversitesi) ve yürüme eylemi için tamamlanmak istenen maksimum süre 150 dakika olarak bir uygulama oluşturulmuştur. 3 farklı karar verici tercihi karar destek sisteminin diyalog yönetimi modülünde Çizelge 6.5'teki ağırlıklar verilerek çözülüp amaç erişim verileri ve harita üzerinde türetilen yürüme yolları elde edilmiştir.

Çizelge 6.5. Üç farklı kullanıcı tercihine göre amaç ağırlıkları

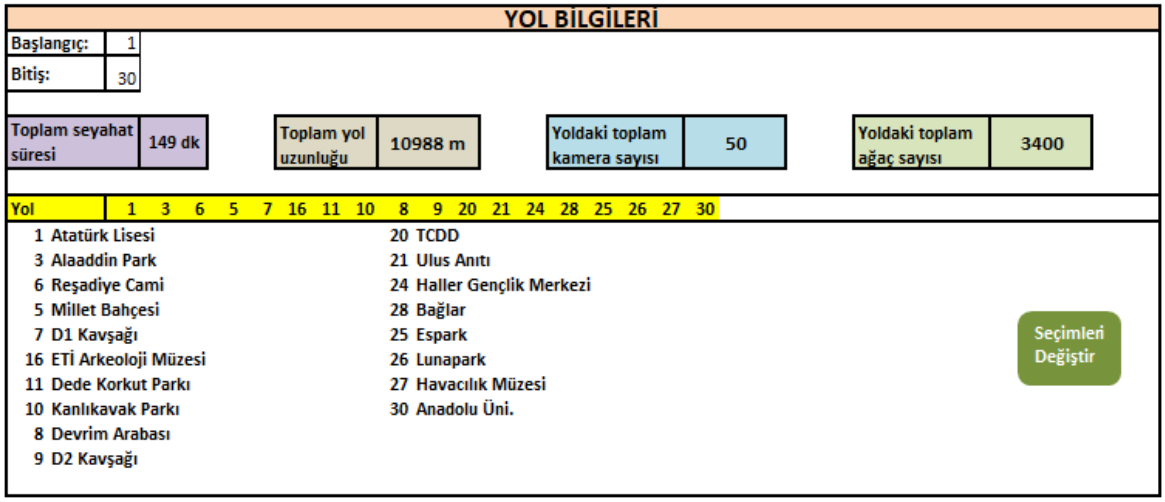
Veri Girişi Amaç Ağırlıkları	**Yol Uzunluğu**	**Yol Güvenliği**	**Yol Yeşilliği**
1. Tercih	0,2	0,3	0,5
2. Tercih	0,5	0,3	0,2
3. Tercih	0,2	0,5	0,3

Diğer amaçlara göre 1. tercih daha yeşil yoldan, 2. tercih daha kısa yoldan ve 3. tercih ise daha güvenli yoldan gitmeyi temsil eden tercihlerdir. 3 farklı tercihe göre elde edilen yollar ve amaç erişim düzeyleri Çizelge 6.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hangi amaç için diğer iki amaca göre daha yüksek ağırlık verilirse, o amaç öncelikli olacak şekilde yol türetilmekte ve amaç erişim düzeyleri de ona uygun değerlere ulaşmaktadır. 1. tercihte yeşil yoldan yürüme eylemi daha öncelikli olduğundan ona göre bir yol türetilmiş 3.400 adet ağaç içeren bir yol önerisi verilmiştir. Türetilen bu yolun toplam uzunluğu 10.998 metre iken 2. tercihte daha kısa uzunlukta yoldan yürüme daha öncelikli olduğundan türetilen yol uzunluğu 3.449 metredir.

Çizelge 6.6. Üç farklı tercihe göre elde edilen yollar ve amaç erişim düzeyleri

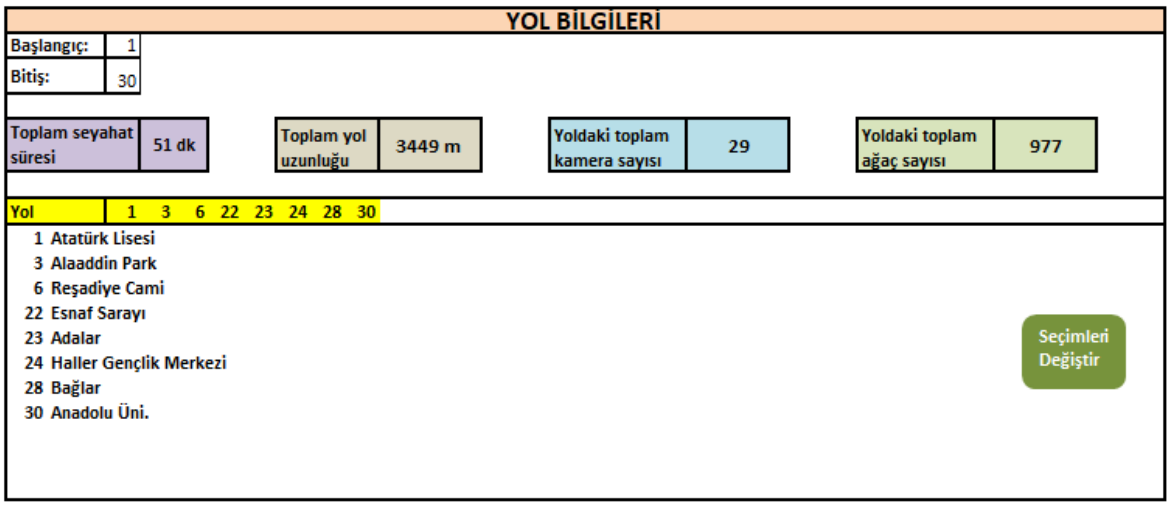
Sonuçlar	Toplam Seyahat Süresi	Toplam Yol Uzunluğu	Toplam Kamera Sayısı	Toplam Ağaç Sayısı	Türetilen Yollar
1. Tercih	149 dk	10.998 metre	50 adet	3.400 adet	1-3-6-5-7-16-11-10-8-9-20-21-24-28-25-26-27-30
2. Tercih	51 dk	3.449 metre	29 adet	977 adet	1-3-6-22-23-24-28-30
3. Tercih	127 dk	9.079 metre	50 adet	2.968 adet	1-3-6-5-4-16-7-11-10-8-9-20-21-24-28-30

Şekil 6.18'de 1. tercihe göre karar vericiye sunulan yol bilgileri ekranı verilmiştir.



Şekil 6.18. Tercih-1'e göre türetilen yol bilgileri verileri

Şekil 6.19'da 2. tercihe göre karar vericiye sunulan yol bilgileri ekranı verilmiştir.



Şekil 6.19. Tercih-2'ye göre türetilen yol bilgileri verileri

Şekil 6.20'de 3. tercihe göre karar vericiye sunulan yol bilgileri ekranı verilmiştir.

YOL BİLGİLERİ

Başlangıç:	1
Bitiş:	30

Yol	1	3	6	5	4	16	7	11	10	8	9	20	21	24	28	30

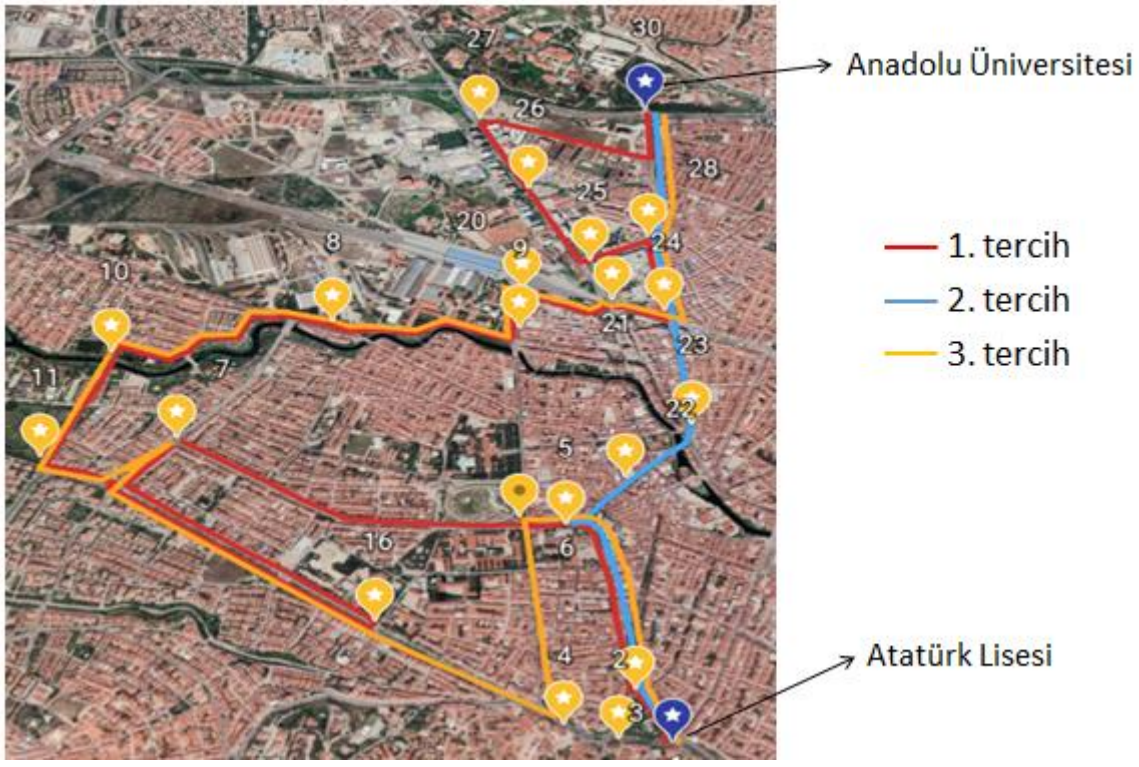
Toplam seyahat süresi	127 dk	Toplam yol uzunluğu	9079 m
Yoldaki toplam kamera sayısı	50	Yoldaki toplam ağaç sayısı	2968

1	Atatürk Lisesi	9	D2 Kavşağı
3	Alaaddin Park	20	TCDD
6	Reşadiye Cami	21	Ulus Anıtı
5	Millet Bahçesi	24	Haller Gençlik Merkezi
4	Bal Mumu Müzesi	28	Bağlar
16	ETİ Arkeoloji Müzesi	30	Anadolu Üni.
7	D1 Kavşağı		
11	Dede Korkut Parkı		
10	Kanlıkavak Parkı		
8	Devrim Arabası		

Seçimleri Değiştir

Şekil 6.20. Tercih-3'e göre türetilen yol bilgileri verileri

3 tercihe göre türetilen yollar harita üzerinde Şekil 6.21'de bir arada verilmiştir.



Şekil 6.21. Üç farklı tercihe göre türetilen yolların haritada görünümü

Başlangıç noktası 29 (Opera), bitiş noktası 13 (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi) ve yürüme eylemi için tamamlanmak istenen maksimum süre 150 dakika olarak farklı bir uygulama oluşturulmuştur. 2 farklı karar verici tercihi Çizelge 6.7'deki ağırlıklar verilerek çözülüp amaç erişim verileri ve harita üzerinde türetilen yürüme yolları elde edilmiştir.

Çizelge 6.7. İki farklı kullanıcı tercihine göre amaç ağırlıkları

Veri Girişi Amaç Ağırlıkları	**Yol Uzunluğu**	**Yol Güvenliği**	**Yol Yeşilliği**
1. Tercih	0,1	0,6	0,3
2. Tercih	0,6	0,3	0,1

1. tercihte daha güvenli bir yoldan yürümek; 2. tercihte ise daha kısa yoldan yürümek hedeflenmiştir. Bu tercihlere elde edilen yollar ve amaç erişim düzeyleri Çizelge 6.8'de verilmiştir. Elde edilen amaç erişim düzeyleri tercihlerle uyumludur. İlk tercih için daha güvenli yürüme yolu türetilirken daha uzun bir yol önerilmiş fakat buna göre de yollarda bulunan güvenlik parametresinin daha fazla olması sağlanmıştır. İkinci tercihte daha kısa yürüme yolu türetilirken de diğer amaçlardan ödün verilerek ilk tercih sonucuna göre daha az kamera sayısı ve ağaç sayısına erişilmiştir.

Çizelge 6.8. İki farklı tercihe göre elde edilen yollar ve amaç erişim düzeyleri

Sonuçlar	**Toplam Seyahat Süresi**	**Toplam Yol Uzunluğu**	**Toplam Kamera Sayısı**	**Toplam Ağaç Sayısı**	**Türetilen Yollar**
1. Tercih	148 dk	10.557 metre	50 adet	3.652 adet	29-24-21-20-9-5-6-3-1-2-4-16 7-8-10-11-12-13
2. Tercih	78 dk	5.640 metre	19 adet	1.842 adet	29-24-21-9-8-7-11-12-13

Şekil 6.22'de 1. tercihe göre karar vericiye harita üzerinde sunulan 29-13 ziyaret noktaları arasındaki daha güvenli yürüme rotası verilmiştir.



Şekil 6.22. Güvenli yol tercihi için türetilen yürüme yolu harita görünümü

Şekil 6.23'te 2. tercihe göre 29-13 ziyaret noktaları arasındaki daha kısa yürüme mesafesi için türetilen rota harita üzerinde verilmiştir.



Şekil 6.23. Kısa yol tercihi için türetilen yürüme yolu harita görünümü

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanlar yürüyüş yaparken keyif alacakları bir aktivite yapmak, kendilerini güvende hissettikleri bir yürüme yolunu kullanmak, varacakları konuma en kısa sürede varmak gibi farklı tercihlerde bulunabilirler. Güvenlik sorunu yaşayacakları bir yoldan gitmek yerine gerekirse gidilen mesafeyi artırarak daha güvenli olan yol tercihleri ile ulaşım sağlamak isteyebilirler. Farklı amaçları doğrultusunda yeni bir rotalar keşfetmek arzusunda olabilirler. Bir yolun çekiciliği, konforu, güvenliği, erişilebilirliği gibi faktörler insanların yürüme yolları tercihlerinde belirleyicidir.

Tez kapsamında yapılmış olan bu çalışmada çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu belirleme problemi ele alınmıştır. Yürüme eylemi gerçekleştirmek isteyen yayaların kendi arzularına göre karar verebilmelerine olanak sağlayacak, çok amaçlı kişiselleştirilmiş yürüme yolu seçimlerine yardımcı olacak bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Sistem karar vericinin kısa yol, güvenli yol, yeşil yol tercihlerini dikkate alarak, vermiş olduğu ağırlıklara göre uygun bir yol türetmektedir.

Geliştirilen karar destek sistemi üç modülden oluşmaktadır: veri yönetim modülü, diyalog yönetim modülü, model yönetim modülü. Veri yönetim modülünde problem için gereken ziyaret noktaları arası uzaklık verileri, kamera sayısı, ağaç sayısı ve iki nokta arası yürüme süresi verileri Google Earth üzerinden elde edilmiştir. Diyalog yönetim modülü karar vericinin yürüme eylemini gerçekleştireceği başlangıç ve bitiş nokta bilgisini, bu eylem için ayırmak istediği maksimum süreyi, kişisel tercihleri doğrultusunda amaçlara verdiği ağırlıkları girmesine olanak sağlar. Model yönetim modülünde kısa yol, güvenli yol ve manzaralı yol amaçlarını bir arada değerlendiren bir doğrusal tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Modelin optimum ve pareto optimal çözümleri için Excel VBA içinde Open Solver eklentisi sisteme entegre edilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi karar vericiye amaç erişim düzeylerini ve harita üzerinde türetilen yol bilgisini sunmaktadır. Sistem kullanıcı ihtiyaçlarıyla tam uyumlu olarak çalıştığından karşılıklı etkileşimli olarak değişen tercihler doğrultusunda yeni yollar türetilebilmektedir.

Uygulama kapsamında Eskişehir ilinden belirli ziyaret noktaları seçilerek bir çizge oluşturulmuş, karar verici tercihleri değiştirilerek önerilen karar destek sistemiyle tercihlere uygun yürüme yolları türetilmiş ve harita üzerinde karar vericiye sunulmuştur.

Yapılan çalışma, mevcuttaki yürüme yolu belirleme çalışmalarıyla kıyaslandığında kısa yol, güvenli yol, yeşil yol amaçlarının bir arada değerlendirilmesi açısından öncü bir çalışmadır. Önerilen yaklaşım bir mobil uygulama ile desteklenirse hem kente dışardan gelen ziyaretçiler için hem de kent içinde yürüme eylemindeki kentliler için önemli bir karar aracı olma potansiyeline sahiptir.

Gelecek çalışmalarda, çok fazla ziyaret noktası olması halinde matematiksel modele ek olarak sezgisel/metasezgisel yöntemler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Anonim, *Walk Boston*, Erişim: https://www.walkboston.org/sites/default/files/WalkYourWayToHealth_6-8-12.pdf , erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, *GM Walking* , Erişim: https://gmwalking.co.uk/wp-content/uploads/2020/06/GMWalkingWhy_choose_walking_to_be_more_active.pdf , erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, *WHO*, Erişim: https://www.who.int/health-topics/ , erişim tarihi: 20.08.2022.

Anonim, *Statista*, Erişim: https://www.statista.com/statistics/747380/daily-step-averages-select-countries-worldwide/ , erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, *HSGM*, Erişim: https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/TBSA_RAPOR_KITAP_20.08.pdf , erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, *HSGM*, Erişim: https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/haberler/turkiye-cocukluk-cagi-sismanlik/COSI-TUR-2016-Kitap.pdf , erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, *HSGM*, Erişim: https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/fiziksel-aktivite/3-4-ekim-dunya-yuruyus-gunu.html, erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, National Household Travel Survey*.. Erişim: http://nhts.ornl.gov, erişim tarihi: 20.10.2022.

Anonim, Centers for Disease Control and Prevention, Erişim: https://www.cdc.gov/vitalsigns/pdf/2012-08-vitalsigns.pdf , erişim tarihi: 20.10.2022.

Althoff, T., Sosič, R., Hicks, J.L., King, A.C., Delp, S.L., Leskovec, J., (2017), *Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality*, Nature, 547(7663), 336-339, DOI: 10.1038/nature23018.

Bektaş, T. (2006), *The multiple traveling salesman problem: An overview of formulations and solution procedures*, Omega, 34(3), 209–219, https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.10.004

Benjak, T., (2012), *Walk your way to health: October 15 – World Walking Day*, Croatian Medical Journal, 53(5), 507-508, DOI: 10.3325/cmj.2012.53.507.

Borst, H.C., Veries, S., Graham, J.M.A, Van Dongen, J.E.F., Bakker, I., Miedema, H.M.E., (2009), *Influence of environmental street characteristics on walking route choice of elderly people*, Journal of Environmental Psychology, 29(4), 477-484, https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.08.002.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Breugem, T., Dollevoet, T., Heuvel, W., (2017), *Analysis of FPTASes for the multi-objective shortest path problem*, Computers & Operations Research, 78(C), 44-58, https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.06.022.

Ercan, M.A., Belge, Z.S., (2017), *Daha Yaşanabilir Kentler İçin Mikro Ölçek Bir Yürünebilirlik Modeli*, METU Journal of the Faculty of Architecture, 34(1), 231-265, DOI:10.4305/METU.JFA.2016.2.11.

Frank, L.D., Sallis, J.F., Saelens, B.E., Leary, L., Cain, K., Conway, T.L., Hess, P.M., (2010), *The development of a walkability index: application to the neighborhood quality of life study*. British Journal of Sports Medicine., 44, 924-933, DOI:10.1136/bjsm.2009.058701.

Frank, L.D., Appleyard, B.S., Ulmer, J.M., Chapman, J.E.,Fox, E.H., (2021), *Comparing walkability methods: Creation of street smart walk score and efficacy of a code-based 3D walkability index*, Journal of Transport & Health, 21, https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.101005.

Funke, S., Storandt, S., (2015), *Personalized Route Planning in Road Networks*, SIGSPATIAL '15: Proceedings of the 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, 1-10, Seattle Washington, https://doi.org/10.1145/2820783.2820830.

Galbrun, E., Pelechrinis, K., Terzi, E., (2016), *Urban navigation beyond shortest route: The case of safe paths*, Information Systems, 57, 160-171, https://doi.org/10.1016/j.is.2015.10.005.

Gandibleux, X., Randriamasy, S., (2006), *Martins' algorithm revisited for multi-objective shortest path problems with a MaxMin cost function*, A Quarterly Journal of Operations Research 4, 47-59, DOI: 10.1007/s10288-005-0074-x.

Ghoseiri, K., Nadjari, B., (2010), *An ant colony optimization algorithm for the bi-objective shortest path problem*, Applied Soft Computing, 10(4), 1237-1246, DOI:10.1016/j.asoc.2009.09.014.

Gibbons, A. (1985). *Algorithmic Graph Theory*. Cambridge University Press.

Hutabarat, L., R. (2009), *Walkability: What is it?*, Journal of Urbanism, 2(2) 145-66, https://doi.org/10.1080/17549170903092867 .

Kaist, K., J., Kaist, M.C., Sandholm, T., (2014), *SocRoutes: Safe Routes Based on Tweet Sentiments*, Conference: Proceedings of the companion publication of the 23rd international conference on World Wide Web Companion, 179-182, https://doi.org/10.1145/2567948.2577023, Seoul, Korea.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kapanoğlu, M., Orhan, İ., Saraç, T., (2019), *Karar Destek Sistemleri*, Anadolu Üniversitesi Basımevi.

Keler, A., Mazimpaka, J.D., (2016) ,*Safety-aware routing for motorised tourists based on open data and VGI*, Journal of Location Based Services, 10(1), 64-77, http://dx.doi.org/10.1080/17489725.2016.1170216.

Keser, B.S.,Yazıcı, A., Günal, S., (2016), *A Multi-Criteria Heuristic Algorithm For Personalized Route Planning*, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik, 17(2), 299-313, https://doi.org/10.18038/btda.06501.

Krambeck, H., Shah, J., (2006), *The Global Walkabılıty Index*, Thesis, Massachusetts Institute of Technology, http://hdl.handle.net/1721.1/34409.

Lambas L., M.E., Sanchez, J.M., Alonso, A., (2021), *The walking health: A route choice model to analyze the street factors enhancing active mobility*, Journal of Transport & Health, 22, 1-14, https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101133.

Levy, S., Xiong, W., Belding, E., Wang, W.Y., (2018), *SafeRoute: Learning to Navigate Streets Safely in an Urban Environment*, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 11(6), 1-17, https://doi.org/10.1145/3402818.

Lutero, D.S., Cerilo, G.E.A., Eustaquio, A.M., Alvin H. Buhat, Christian ., Nazareno, A.O., Nazareno , A.L., Salvacion, A.R., (2022) *Optimal route planning for day tours in Marinduque, Philippines,* Spatial Information Research, 30, 205–214, https://doi.org/10.1007/s41324-021-00424-3.

Mata F., Torres M., Guzman, G., Quintero, R., Zagal, R., Moreno, M., Loza, E., (2016), *A Mobile Information System Based on Crowd-Sensed and Official Crime Data for Finding Safe Routes: A Case Study of Mexico City*, Mobile Information Systems, 9, 1-11, DOI:10.1155/2016/8068209.

Miller, CE, Tucker AW, Zemlin RA., (1960), *Integer programming formulation of traveling salesman problems,* Journal of Association for Computing Machinery, 7(4), 326–329, https://doi.org/10.1145/321043.321046.

Minhas, P., Poddar, A., (2017), *Walkabılıty Index By Global Walkabılıty Index Method*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 4(7), 2957-2963, https://www.irjet.net/archives/V4/i7/IRJET-V4I7597.pdf.

Muhammed, F., (2017), *Investigating the Impact of Walking on humans Health*, Multi-Knowledge Electronic Comprehensive Journal For Education And Science Publications, 2, 132-143, ISSN: 2616-9185,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Oja, P., Titze, S.,(2011), *Physical activity recommendations for public health: development and policy context*, EPMA Journal, 2(3), 253–259, DOI:10.1007/s13167-011-0090-1.

Ornelas, E.L., Mena, R.A., Hernandez, JSZ, (2014) *A Geo-Collaborative Recommendation Tool to Help Urban Mobility*, International Conference on Human-Computer Interaction, 466-472, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07227-2_44.

Özgün,S., Öğüt,K.S., (2017), *Küresel Yürünebilirlik İndeksinin Ölçülmesi: Halaskargazi Caddesi Örneği* , 12. Ulaştırma Kongresi, Adana, sf.91-102.

Raith, A., Ehrgott, M., (2009), *A comparison of solution strategies for biobjective shortest path problems*, Computers & Operations Research, 36(4), 1299-1331, DOI:10.1016/j.cor.2008.02.002.

Ratcliffe, J.H., Taniguchi, T., Taylor, R.B., (2009), *The Crime Reduction Effects Of Public CCTV Cameras: A Multi-Method Spatial Approach*, Justıce Quarterly, 26(4), 746-770, DOI:10.1080/07418820902873852.

Seker, S. E. (2015). *Çizge Teorisi (Graph Theory).* YBS ansiklopedi, 2(2), 17-29.

Siddiqi, U.F., Shiraishi, Y., Dahb, M., Sait, S.M., (2014), *A memory efficient stochastic evolution based algorithm for themulti-objective shortest path problem*, Applied Soft Computing, 14(C), 653-662, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.09.008.

Talavera-Garcia, R., Soria-Lara, J.A, (2015), *Q-PLOS developing an alternative walking index. A method based on urban design quality*, Cities, 45, 7-17, DOI: 10.1016/j.cities.2015.03.003.

Torres, M., Pelta, D.A., Cruz, C., Verdegay, J.L., (2017), *Personalized route problem with fuzzy constraints*, IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Naples, Italy, DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015571.

Tudor-Locke, C. E., (2014), *How many steps/day are too few?*, Journal of Science and Medicine in Sport 18(1), e108, https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.11.060.

Tudor-Locke, C. E., & Myers, A. M. (2001), *Methodological Considerations for Researchers and Practitioners Using Pedometers to Measure Physical (Ambulatory) Activity*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 72(1), 1–12, DOI: 10.1080/02701367.2001.10608926.

Wang, J., (1998), *Primal and dual neural networks for shortest-path routing*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans 28(6), 864–869 , DOI:10.1109/3468.725357.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yan, L., (2022), *Improved On-Demand Travel Route Planning Model with Interest Fields*, Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 1-12, https://doi.org/10.1155/2022/6442441.

Zero, L., Bersani, C., Paolucci, M., Sacile, R., (2019), *Two new approaches for the bi-objective shortest path with a fuzzy objective applied to HAZMAT transportation*, Journal of Hazardous Materials, 375, 96-106, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.101.

Zhu, S., (2020), *Multi-objective route planning problem for cycle-tourists*, The International Journal of Transportation Research, 14(3), 298-306, https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1860355.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Uzaklıklar

Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Uzaklık (metre)	Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Uzaklık (metre)
1	2	159	11	12	600
1	3	213	11	16	1361
1	17	795	12	13	773
2	3	200	13	14	2011
2	4	194	13	15	2568
3	6	798	17	18	835
4	5	898	18	19	1420
4	16	765	18	23	2332
5	6	135	20	21	372
5	7	1306	21	23	675
5	9	883	21	24	243
6	22	263	21	25	265
7	8	868	22	23	372
7	11	558	23	24	582
7	16	1315	24	28	415
8	9	700	24	29	1378
8	10	996	25	26	500
9	20	310	25	28	256
9	21	520	26	27	485
10	11	555	27	30	1028
			28	30	806

Ek Açıklama-B: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Kamera Sayıları

Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Kamera sayısı (adet)	Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Kamera sayısı (adet)
1	2	3	11	12	0
1	3	3	11	16	6
1	17	6	12	13	2
2	3	0	13	14	3
2	4	1	13	15	5
3	6	6	17	18	3
4	5	7	18	19	0
4	16	5	18	23	12
5	6	2	20	21	2
5	7	4	21	23	4
5	9	4	21	24	2
6	22	2	21	25	1
7	8	2	22	23	5
7	11	3	23	24	7
7	16	5	24	28	3
8	9	2	24	29	6
8	10	2	25	26	2
9	20	2	25	28	2
9	21	2	26	27	2
10	11	3	27	30	2
			28	30	3

Ek Açıklama-C: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Ağaç Sayıları

Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Ağaç sayısı (adet)	Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Ağaç sayısı (adet)
1	2	85	11	12	138
1	3	140	11	16	500
1	17	193	12	13	310
2	3	85	13	14	690
2	4	54	13	15	1020
3	6	260	17	18	220
4	5	300	18	19	390
4	16	260	18	23	497
5	6	30	20	21	84
5	7	327	21	23	125
5	9	275	21	24	90
6	22	85	21	25	84
7	8	262	22	23	90
7	11	178	23	24	106
7	16	495	24	28	64
8	9	220	24	29	554
8	10	410	25	26	105
9	20	95	25	28	70
9	21	90	26	27	145
10	11	110	27	30	255
			28	30	232

Ek Açıklama-D: Eskişehir İçin Seçilen Noktalar Arası Yürüme Süreleri

Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Süre (dakika)	Ziyaret Noktası	Ziyaret Noktası	Süre (dakika)
1	2	3	11	12	9
1	3	4	11	16	19
1	17	11	12	13	10
2	3	4	13	14	30
2	4	4	13	15	33
3	6	11	17	18	10
4	5	14	18	19	18
4	16	10	18	23	30
5	6	3	20	21	5
5	7	6	21	23	10
5	9	11	21	24	4
6	22	5	21	25	3
7	8	11	22	23	6
7	11	8	23	24	9
7	16	18	24	28	5
8	9	9	24	29	20
8	10	13	25	26	7
9	20	5	25	28	4
9	21	7	26	27	6
10	11	7	27	30	13
			28	30	11