ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENGELLİLER İÇİN KOŞULLU YOL PLANLAMA ASİSTANI

Hasan Buğra YILDIRIM

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ANKARA
2020

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENGELLİLER İÇİN KOŞULLU YOL PLANLAMA ASİSTANI

Hasan Buğra YILDIRIM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şahin EMRAH

Fiziksel engelli bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmayı ve onların bir başkasına olan bağımlılıklarını azaltmayı amaçlayan bu tez çalışması, fiziksel engelli bireylerin daha önce bulunmadığı yerlerde yaşadığı erişim problemlerine bir çözüm önerisi sunmaktadır. Erişim sağlanacak alan, çizge üzerinde modellenmiş ve engelli bireylerin ihtiyaçları doğrultusunda özelleştirilebilir parametreler belirlenmiştir. Akabinde kişiye uygun olmayan yollar elimine edilerek kalan yollar üzerinde optimizasyon yapılmış ve efor çizgesi elde edilmiştir. Bu efor çizgesi üzerinde en kısa yol algoritması kullanılarak engelli bireyin asgari efor sarf edeceği yollar bulunmuş ve kişiye önerilmiştir. Pilot bölge olarak Ankara Üniversitesi 50. Yıl Gölbaşı Kampüsü'nde bulunan Bilgisayar Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği bölümlerinin girişlerinin açıldığı ortak alan seçilmiştir. Pek çok fiziksel engelli bireyin kabiliyetlerini yansıtan örnek engelli profilleri için, pilot bölgede erişim sağlanabilir noktaların olası tüm ikilileri üzerinde uygulama denenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalara zemin tesis etmesi beklenen bu tez, pratikte uygulanabilirliği ve engelli bireyin ihtiyaçları doğrultusunda kişiselleştirilebilirliği sayesinde önem arz etmektedir.

Temmuz 2020, 36 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çizge kuramı, En kısa yol algoritmaları, Pareto optimum, İnsan bilgisayar etkileşimi

ABSTRACT

Master Thesis

PATH PLANNING ASSISTANT WITH CONSTRAINTS FOR DISABLED

Hasan Buğra YILDIRIM

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Şahin EMRAH

This thesis, which aims to facilitate the lives of individuals with physical disabilities and to reduce their dependence on another, offers a solution to the access problems experienced by them at where they have not been before. The area to be accessed is modeled on the graph and personalizable parameters are determined in line with the needs of individuals with disabilities. Subsequently, paths that are not suitable for the person have been eliminated, optimization has been carried out on the remaining paths and effort graph is obtained. Using the shortest path algorithm on this effort graph, the paths for the disabled person to spend minimum effort have been found and recommended to the person. As the pilot region, the common area where the entrances of the Computer Engineering and Geophysical Engineering departments at The 50th Year Gölbaşı Campus of Ankara University are opened, is selected. For sample disability profiles that reflect the capabilities of many physically challenged individuals, the implementation has been done on all possible pairs of accessible points in the pilot area and the results have been evaluated. This thesis, which is expected to establish a ground for future studies, has an importance thanks to its practical applicability and customizability in line with the needs of the disabled person.

July 2020, 36 pages

Key Words: Graph theory, Shortest path algorithms, Pareto optimum, Human computer interaction

TEŞEKKÜR

Yaptığım tüm akademik çalışmalarda gerek bilgi ve birikimiyle, gerekse cesaretlendirme ve motivasyonuyla yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şahin EMRAH'a (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı), fiziksel engelli bireyler ile yürütülen anket çalışmasında desteklerini esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Bülent ELBASAN'a (Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü), çalışmalarımı manevi olarak destekleyen aileme ve birlikte çalıştığım tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Buğra YILDIRIM
Ankara, Temmuz 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

TEŞEKKÜR ..... **iii**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **v**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **vi**

1. GİRİŞ **1**

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ **3**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **9**

3.1 Problemin Matematiksel Modellenmesi **9**

3.2 Probleme Çözüm Önerisi **11**

3.3 Önerilen Çözümün Modellenmesi **13**

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA **22**

5. SONUÇ **31**

5.1 Öneriler **32**

KAYNAKLAR **34**

ÖZGEÇMİŞ **36**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Farklı türde kirişler barındıran ağırlıklı çizge örneği. 10
Şekil 3.2 Mümkün karar uzayındaki Pareto optimal kümesinden mümkün hedef uzayındaki Pareto optimal sınırı eldesi. 12
Şekil 3.3 Kişiselleştirilebilir bir algoritma geliştirilmesi için engelli bireylere yöneltilecek soruların ağaç üzerindeki hali. 16
Şekil 3.4 Merdiven sayısı ve mesafe optimizasyonu. 17
Şekil 3.5 Engebe ve mesafe optimizasyonu. 18
Şekil 3.6 Çeyrekler açıklığı ilkesinde kullanılan parametrelerin kutu grafiği aracılığıyla gösterimi. 19
Şekil 4.1 Ankette kullanılan hafif engebeli alan örnekleri. 22
Şekil 4.2 Ankette kullanılan ağır engebeli alan örnekleri. 23
Şekil 4.3 Ankara Üniversitesi 50. Yıl Gölbaşı Kampüsü'nde Bilgisayar Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği bölümlerinin girişlerinin açıldığı ortak alanın çizge üzerinde matematiksel olarak modeli. 27

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 (a)'da verilen matris, örnek çizgedeki kirişlerin ağırlık değerlerini tutarken (b)'de verilen matris, o kirişlerdeki kat sayısını ve kiriş yönlerini tutmaktadır. 11
Çizelge 3.2 Çizge üzerinde gösterilebilir göstergeler ve modellenecek parametreler. ... 13
Çizelge 3.3 Çizge üzerinde modelleme için göstergeler ve parametreler eşleştirmesi. . 15
Çizelge 4.1 Farklı fiziksel yeterliliklere sahip ve çoğu engelli bireyi temsil eden örnek engelli profilleri. 28
Çizelge 4.2 Pilot bölgedeki noktalar arasında erişim sağlayabilen engelli profilleri. 29

1. GİRİŞ

Günümüzde insan yaşantısını kolaylaştırmak, daha yaşanabilir bir ortam tesis etmek amacıyla teknolojinin imkânları sayesinde geliştirilmiş pek çok uygulama mevcuttur. İnsanların ulaşım ve erişim problemleri de bu konuda payına düşeni almıştır. Araç yolunu, toplu taşıma durumunu ve yürüme yolunu trafik dahil gösteren navigasyon sistemleri, şehirlerin ulaşım ağlarını (metro, otobüs, tren vb.) içeren bilgilendirme uygulamaları, direk ulaşım ve erişim hizmeti sunan şoförlü ya da şoförsüz araç kiralama uygulamaları, sesli komut yordamıyla görme engelli bireylere asistan uygulamalar gibi çeşitli uygulamalar insan yaşamını kolaylaştırma amacı gütmektedir.

Fiziksel engelli insanların ulaşım ve erişim sorunlarına yönelik yeterli bilimsel araştırma ve verimli çalışan bir uygulama bulunmamaktadır. Fiziksel erişim sorunu yaşayan ya da erişim zorluğu sebebiyle hiç denemeyen engelli bireyler için, bulundukları nokta ile ulaşacakları nokta arasındaki alanın fiziksel özellikleri oldukça önem arz etmektedir. Katedilecek mesafede kişinin kendi fiziksel sınırları dâhilinde asgari çaba ve azami verim ile yol alması, onun yaşamını kolaylaştıracak ve hareket etme cesaretini artıracaktır.

Engelli birey, erişim sağlayacağı her alanın fiziksel özelliklerine hâkim olmayabilir. Erişeceği yere giden yolun uygunluğunu bilmeden gitmek zorunda kalabilir. Bu durum, kişinin bilmediği alanlarda kendisine gereksiz efor sarf ettiren, verimsiz yolları kullanma ihtimalini artırmaktadır. Eğer mevcut alana hâkim bir rehber, engelli bireye onun fiziksel özelliklerini gözeterek optimum yolu göstermiş olsa; o kişi herhangi bir sorunla karşılaşmadan ya da fazla efor sarf etmeden gideceği yere ulaşabilir.

Bir engelli bireyin erişmek istediği noktaya sorunsuzca ve tek başına erişebilmesi, kişinin bir başkasına ihtiyaç duymadan günlük yaşamda var olmasına ve sosyal hayata katılımına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada temel amaç; engelli bireylerin hiç bilgi sahibi olmadıkları bölgelere erişimlerinde onların bir başkasına olan bağımlılıklarını ortadan kaldırmak ve onlara bir

asistan hizmeti sunmaktır. Amaç doğrultusunda bu tez çalışmasında problemin çözümü için matematiksel modelleme, çizge kuramı, bilgisayarların hızlı hesaplama yeteneği ve insan-bilgisayar etkileşimi kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında literatürde var olan ve ele aldığımız problemin çözümüne katkısı olabilecek bilimsel araştırmalar incelenmiş, mevcut probleme potansiyel faydaları araştırılmıştır. Daha sonra çizge kuramının yardımıyla problemin matematiksel modeli yapılmış ve modellenmiş probleme bir çözüm önerisi sunulmuştur. Akabinde problemin matematiksel modeline uygun olan ve problemi çözebilen bir algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca hem yürütülen tez çalışmasının soyut ve teorik olarak kalmaması, hem de çalışmadaki bulanık ve nesnel ifadelerin sayısallaştırılması amacıyla 54 fiziksel engelli bireye anket uygulanmış ve anket sonucunda elde edilen bilgiler çalışmaya yansıtılmıştır. Çalışma sonucundaki bulgular tartışılmış, sonuca etkisi ve beklentilerle farkı ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın geliştirilebilir yönleri incelenmiş ve gelecekteki çalışmalara yön verme potansiyeli belirtilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Son zamanlarda artan bir ivmeyle gelişen ve insan yaşamını kolaylaştırmayı amaç edinen teknolojik çözümler, engelli bireylerin günlük yaşantılarında karşılaştığı pek çok probleme de aynı amaç ile yaklaşmaktadır. Engelli bireylerin bu sorunları karşısında önerilen teknolojik çözümlerin mümkün olduğunca uygulanabilir, kullanımı kolay ve özelleştirilebilir olması oldukça önem taşımaktadır.

Engelli bireylerin yaşamını kolaylaştırmak için yapılan çalışmalar incelendiğinde; kişinin engel türünün, belirleyici etken olarak çalışmaların içeriğine yön verdiği gözlemlenmiştir (Kulakov vd. 2015). Fiziksel engelli bireyler özelinde yapılan çalışmaların ciddi bir çoğunluğu, tekerlekli sandalye kullanan ve/veya görme engelli bireylerin yaşamını kolaylaştırmayı hedeflemektedir. Yürüyebilen ve/veya merdiven çıkabilen engelli bireylerin erişim sorunları için uygulanabilir ve kişiye göre özelleştirilebilir çalışma sayısı yok denecek düzeyde azdır.

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan bazı kuramsal temeller ele alınacak olup akabinde engelli bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmayı amaçlayan ve mevcut tez çalışması ile benzerlik gösteren bazı çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. Bu çalışmalar insan yaşamını kolaylaştırma amacını engelli bireylere yansıtabilme ve onlar için ortaya faydalı şeyler çıkarma ortak amacında birleşmektedir.

Problemin matematiksel modellenmesinde çizge veri yapısı kullanılmıştır. Boş olmayan sonlu bir V kümesi ve E: V→V bağıntısı verilmiş olsun. G=(V, E) ikilisine çizge denir. V kümesinin her bir elemanı çizgenin köşelerini, E kümesinin her bir elemanı ise çizgenin kenarlarını temsil eder. Çizgelerin bilgisayarda gösterimleri için en sık kullanılan iki yöntem komşuluk matrisi ve komşuluk listesi metotlarıdır.

Ayrıca probleme çözüm önerisinde ve çözümün modellenmesinde kullanılan bir başka kuram, Pareto analizidir. Maksimize ya da minimize edilmesi beklenen birden fazla hedef fonksiyonu içeren problemlere çok hedefli optimizasyon problemi denir. Bu problemlerde

çözümün ne kadar iyi olduğu üstünlük parametresine bağlıdır (Deb 2014). Üstünlük testine göre; x_1 çözümü tüm hedeflerde x_2 çözümünden kötü değilse ve en az bir hedefte bariz daha iyi ise; x_1 çözümü x_2'yi domine eder. x_1, x_2'yi domine eder ancak ve ancak x_2, x_1 tarafından domine edilirse. Domine Edilmemiş Çözüm Kümesi, bir dizi çözüm verildiğinde; domine edilmeyen çözüm kümesi, çözüm kümesinin herhangi bir üyesi tarafından domine edilmeyen tüm çözümlerden oluşan bir kümedir.

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen anket çalışmasının sonuçlarının verildiği sayısal dizinin sıralı halinin ortanca elemanına medyan denir. Bir dizide medyandan küçük elemanların medyanına birinci çeyrek; medyandan büyük elemanların medyanına üçüncü çeyrek denir. Çeyrekler açıklığı ise; sıralı bir dizideki üçüncü çeyrek ile birinci çeyrek arasındaki farktır (Leys vd. 2013).

Ayrıca bu çalışmada önerilen üç aşamalı algoritmanın üçüncü aşaması olan en kısa yol algoritması için Dijkstra Algoritması kullanılmıştır. En kısa yol problemi ağırlıklı bir çizgede herhangi bir köşeden diğer tüm köşelere giden en kısa yolun bulunması problemidir. Dijkstra Algoritması bu problemin çözümü için kullanılan etkili algoritmalardan biridir. Adını Hollandalı matematikçi ve bilgisayar bilimci Edsger Dijkstra'dan alan algoritmanın açgözlü bir yaklaşımla geliştirildiği bilinmektedir. Temelde yapılan işlem adımlarla şu şekilde ifade edilebilir:

Dijkstra Algoritması (çizge, başlangıç köşesi)

Adım 1: Tüm köşelere gidiş maaliyetlerini sonsuz olarak işaretle. Başlangıç köşesini gidildi olarak işaretle ve komşularının maaliyetlerini güncelle.

Adım 2: Gidilmemiş (işaretlenmemiş) en büyük ağırlıklı köşeyi bul, gidildi olarak işaretle. O köşeye komşu köşelerin ağırlıklarına bak. Eğer gelinen köşenin ağırlığı, bakılan köşenin ağırlığından küçükse; o köşeyi güncelle ve yolu not et.

Adım 3: Tüm köşeler için Adım 2'yi tekrarla.

2007 yılında Troyes Teknoloji Üniversitesi'nden Ali Aich ve Sophie Loriette adında iki araştırmacı, elektrikli tekerlekli sandalyelerin kullanımının artışı ile fiziksel ya da zihinsel

engelli bireylere tekerlekli sandalye kullanma gibi zorlayıcı bir işlemde yardımcı olmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışma, belirli periyotlarda yeni rota üretimi sağlanarak kullanıcıya destek olma ve onu kontrol kısıtlamalarından elimine etme başarılmaya çalışılmıştır. Burada asistanlık görevi, 2 temel aşamadan oluşmaktadır: İlki, bir sonraki rotayı mevcut ile benzerliklerine bakarak tayin etmektir. Diğeri ise, gelecek rotaların tahminini gerçekleştirerek kullanıcıya verilecek komut sayısını azaltmaktır. Ayrıca, tekerlekli sandalye davranışını uyarlamaya müsaade eden bir otomatik rota öğrenimi de önerilmiştir (Aich ve Loriette 2007).

Alman bilim insanları Marcus Goetz ve Alexander Zipf, büyüyen kamu binaları ve karmaşık bina iç tasarımları sonucunda iç mekânda yönlendirme amaçlı bir çalışma yapma ihtiyacı duymuştur. Temelde bu yönlendirme yapılırken kullanıcı uyumunu ve optimum uzunluğu gözetmeyi hedef alan çalışma, ağırlıklı iç mekân yönlendirme çizgesi oluşturarak rota oluşturmada detaylı ve kullanıcı dostu bir model oluşturmayı mümkün kılmıştır. Tanımlanan çizge; oda etiketleri, kapı erişim kısıtları gibi bilgileri içermekte olup bütün model oluşturulurken üç boyutlu bina özellikleri de (merdiven, asansör, rampa vb.) dikkate alınmıştır (Goetz ve Zipf 2011).

Gasilov ve arkadaşları, 2011'de yaptıkları bir çalışmada farklı boyutlarda dairelerden oluşan engelli bir ortamda engellerden kaçınarak en kısa yolu bulmak için iki aşamalı bir algoritma önermişlerdir. İlk aşamada geometrik yöntemler kullanılarak her bir engel iteratif olarak teker teker ele alınmış olup bulunan yol optimum olmasa da en kısa yolu içeren bir eliptik bölge oluşturulmasında kullanıldığı gösterilmiştir. Böylelikle azaltılmış arama alanı, bir sonraki aşamayı daha verimli ve etkin hale getirmiştir. İkinci aşamada ise daraltılmış eliptik bölge, kenar uzunluğu engeller arasındaki minimum uzunluğa göre ayarlanmış karelerle örülmüştür. Böylece problem, çizge üzerinde en kısa yol problemine dönüşmüş ve Dijkstra Algoritması ile çözülmüştür. Algoritma uygulanırken kural; engellerle kesişen karelerden geçmenin yasaklanmasıdır. Algoritma, numerik simülasyonlarla doğrulanmış ve ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca verilen alan ve azaltılmış eliptik alanlarda algoritmanın çalışma süreleri karşılaştırılmış ve azaltılmış alanda algoritmanın daha verimli olduğu gözlemlenmiştir (Gasilov vd. 2011).

Bir başka çalışmada ise; engelli bireylerin günlük erişim problemi özelinde ev gibi kapalı alanlardaki erişim sorununu ele alan Mirza ve arkadaşları, sesli destek sistemi yardımıyla kişiye istediği yere ulaşmasında yardımcı olmayı amaçlamıştır. Bunu başarabilmek için Lateration tekniği (Shchekotov 2015) kullanılarak üçgene alma işlemi ile kişinin ve varacağı yerin tespiti yapılmıştır. Bu iki nokta arasında çizilen bir çizgi ile kişi harekete başlar ve dinamik olarak komutlar yardımıyla hareket eder. Bunun yanında tekerlekli sandalyeler için gerçek zamanlı engelden kaçınma yöntemi de sunan çalışma, engelli bireyin dışarıdan yardım almaksızın yaşayabilmelerini desteklemektedir (Mirza vd. 2012).

İtalya'dan Stefano Burigat ve Luca Chittaro, 2012'de yaptıkları bir çalışmada üniversitelerde engelli öğrencilerin erişim sorununu ele almış ve üniversite kampüslerinde yapılan uygulamalarda engellilerin gerçek ihtiyaçlarının gözetilme durumunu araştırmışlardır. Çalışmacılar, bir engellinin ihtiyaçlarını ancak kendisinin bilmesinin mümkün olduğunu; aynı tecrübe, zorluk ve bilgiye sahip olmayan birisinin bu ihtiyaçları belirlememesi gerektiğini savunmaktadır. Bu sebeple üniversiteleri bünyesinde 14 gönüllü engelli öğrenci ile röportaj yaparak onların ihtiyaçlarını anlamaya çalışmışlar ve kampüsteki uygulamalarla kıyaslamışlardır. Nitekim pek çok engelli navigasyon sistemi, bu aşamaya hassas yaklaşmayıp engelli bireylerin ihtiyaçları için fakat bu ihtiyaçları tam karşılayamayan uygulamalar yapmaktadır (Burigat ve Chittaro 2012).

2015'te Fransa'da yapılan bir çalışma, bir konutun şimdiki ya da gelecekteki engelli sahiplerinin yaşamına uygunluk durumunu tespit etmeyi amaçlayan bir yöntem ortaya koymuştur. Metodoloji, kullanıcının beklenti ve istekleri doğrultusunda konutun özelliklerini bir çizge ile modellemiş ve böylelikle kullanıcının çeşitli engel türlerini hesaba katma ve çeşitli taleplerine cevap verme imkânı sunmuştur. Bu değerlendirme modülü, konutun şimdiki ya da gelecekteki kullanıcılarına yönelik düzenini ayarlayıp uzmanlara ya da uzman sistemlere yardımcı olarak karar verme mekanizmalarının iki ana araçlarından biri olmayı başarmıştır (Bouzoubaa vd. 2015).

Erhan Bülbül, doktora tezine konu olan en kısa yol problemi ile ilgili çizge tabanlı algoritmaları incelemiştir (Bülbül, 2015). Mevcut algoritmaların 3B ortamlara uygulanışı, performansı ve tutarlılığı, 3B ortamlarda canlandırılması gibi konulara değinen Bülbül; gerçek hayatta karşılaşılabilecek fiziksel limitler ve bunların algoritmalara etkisini tespit etmiş, negatif etkilerini sönümlemeye yönelik çalışmalarda bulunmuştur. Algoritmaların verimi, çalışma zamanı ve maliyetini etkileyen faktörlerle testlerini yürüten araştırmacı; algoritmalar üzerinde yaptığı adaptasyonlarla verimli sonuçlar elde ettiğini ifade etmiştir (Bülbül ve Amrahov 2016).

Engelliler ve yaşlıların hayatını kolaylaştırmaya yönelik bir başka uygulama da Konkuk Üniversitesi'nden Eun Yi Kim'den gelmiştir. Kim, geliştirdiği Akıllı Tekerlekli Sandalye (ATS) ile çevresini iyi analiz eden ve tanıyan, böylece engellerden kaçınarak yol alabilen bir ürün ortaya koymuştur. Çalışmada engellerin konumları, boyutları ve çevresel faktörler gibi bilgilerin sensörler yordamıyla elde edilerek oluşturduğu doluluk ızgara haritasının, öğrenme tabanlı bir algoritma ile analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ATS sayesinde trafikte ve günlük yaşamda obje tanıma işleminin kullanıcının güvenliğine sağladığı katkı, olası taşıt ile çarpışma benzeri kazalar düşünüldüğünde ciddi değer kazanmaktadır. Kim, çeşitli ortamlarda yapılan deneylerle çevre tanımada ve engellerden kaçınan yollar üretmede yüzde doksanın üzerinde başarı elde ettiğini belirtmiştir (Kim 2016).

2017'da Almanya'da yapılan bir başka çalışma ise, akıllı telefon ve internet erişilebilirliğinin artmasıyla engelli bireylerin yol bulma problemini gidermek adına eNav isimli bir uygulama ortaya koymuştur. eNav, iki nokta arasındaki enerji açısından en verimli rotayı hesaplamak için haritalardan, eğim verisinden ve farklı engellilik veri tabanlarından faydalanmıştır. Kitle kaynaklama teknolojisi ile kullanılan harita verilerini güçlendirme olanağına sahip olan eNav, karmaşık verileri kullanıcılarına akıllı telefonlar aracılığıyla basit ve anlaşılır şekilde sunmaktadır. Ayrıca çalışmada yer verilen bir değerlendirme ise, mevcut rotaların yüzde 41'inde verimli yolun en kısa olandan daha az enerji gerektirdiğini göstermiştir (Džafić vd. 2017).

Polonya'da Barbara ve Grazyna, 2017 yılında engellilerin hayatını kolaylaştırmada oldukça verimli ve uygulanabilir bir çalışma ortaya koymuştur. Kapalı alanlarda navigasyon probleminin kaynağına inen bu çalışma, bina bilgi sistemi (BIM) standardındaki binaların tasarımlarını çizge de dahil pek çok biçimde tutabilen IFC dosyalarını kullanarak bina tasarımlarının engellilere uygunluğunu belirlemekle kalmamış, aynı zamanda minimum efor tabanlı bir algoritma ile optimal yol sunmayı başarmıştır. Geliştirmeye açık olan bu çalışma, modellemede optimal çözümleri uygulamamış olsa da inşa edilecek yapılardaki erişilebilirlik standartlarını değiştirme potansiyeline sahiptir (Strug ve Ślusarczyk 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde mevcut tez çalışmasının amacı doğrultusunda fiziksel engelli bireylerin yaşadığı erişim problemi ele alınmakta ve problem matematiksel olarak ifade edilmektedir. Akabinde probleme yönelik çözüm önerisi sunulmakta ve bu öneri de matematiksel olarak modellenmektedir.

3.1 Problemin Matematiksel Modellenmesi

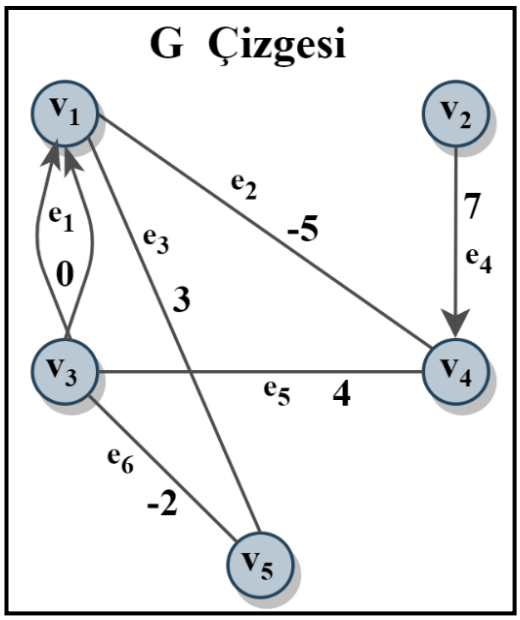
Mevcut problemde engelli bireyin erişmesi gereken noktaya giden yol, çoğu zaman doğrusal olmayacaktır ve yol üzerinde istikamet değişimleri, süreksizlikler sebebiyle dönüm noktaları (köşeler) olacaktır. Her köşe arasında katedilmesi gereken bir yol (kenar) bulunacaktır.

Engelli bireyin erişim problemi, çizgelerin yardımıyla modellenebilir. Engelli bireyin bulunduğu ortam G olsun. Eğer G bir çizge olarak ifade edilirse, içinde barındırdığı köşeler (V) ve kenarlar (E) kümeleri ile birlikte G=(V, E) şeklinde gösterilir. Burada E kümesi çizgenin kenarlarını, yani yolları temsil etmektedir ve E={ e_1, e_2,…e_q} şeklinde gösterilir. V kümesi ise çizgenin köşelerini, yani kendi içinde homojen özellikler gösteren bir ya da daha fazla kenarın bağlantı noktalarını temsil etmektedir ve V={v_1, v_2,…v_P} şeklinde gösterilir. Köşe sayısı p, kenar sayısı q olan bir G çizgesine bazen kısaca (p, q) çizgesi de denir.

Çizge veri yapısında eğer kenarların bir özelliği varsa ve bu durum çizgede belirtilmek isteniyorsa, her bir kenar için sayısal ağırlık değeri atanır ve bu ağırlıkların değerleri W kümesinde W={w_1, w_2,…w_q} şeklinde ifade edilir. Burada w_t elemanının ait olduğu kenar, E kümesinin w_t ile aynı indise sahip olan e_t elemanıdır.

Aşağıda örnek olarak Şekil 3.1'de ağırlıklı bir G=(V, E) çizgesi gösterilmiştir. Bu çizgede V kümesi V={v_1, v_2, v_3, v_4, v_5} şeklindedir. E kümesi ise E={e_1, e_2,…e_6} olarak gösterilmiştir. E kümesinin her bir elemanı üzerinde ağırlıklar vardır ve bu ağırlıkları

gösteren W kümesi ise W={0, -5, 3, 7, 4, -2} olarak verilmiştir. Burada her köşe farklı bir noktayı ifade edebilir, her bir ağırlığın farklı bir anlamı olabilir. Katlı kiriş ya da yönlü kiriş, içerisinde bir bilgi barındırabilir. Bu durum problemin kendisine ve matematiksel modeline göre değişiklik gösterebilir.



Şekil 3.1 Farklı türde kirişler barındıran ağırlıklı çizge örneği.

Çizge üzerinde modellenen bir problemin bilgisayarların yardımıyla çözülebilmesi için çizgenin bilgisayarda gösterilebilmesi gerekmektedir. Yönlü ve katlı kenarlar içeren ağırlıklı bir çizgede katlı kiriş dışındaki parametrelerin (negatif/pozitif ağırlık, yön vb.) komşuluk matrisi ile ifade edilmesi daha kolaydır. Örneğin; a ve b köşeleri arasında yön ifade edilirken, a'dan b'ye yön varsa matriste (a, b) elemanı doluyken (b, a) elemanı boş bırakılabilir. Ağırlıkların matriste gösterimi, iki nokta arasında kiriş olduğunu belirtmek için yazılan değerlerin yerine o kiriş üzerindeki ağırlık değeri yazılarak sağlanabilir. Katlı kirişi belirtmek için ise aynı boyutta ikinci bir matriste mevcut kirişlerdeki kat sayısı tutulabilir. Bu durum, maliyeti arttırdığı kadar kullanışlılığı da arttıracaktır. Şekil 3.1'deki G çizgesi komşuluk matrisi metodu ile ifade edilirse oluşan iki ayrı matris Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 (a)'da verilen matris, örnek çizgedeki kirişlerin ağırlık değerlerini tutarken (b)'de verilen matris, o kirişlerdeki kat sayısını ve kiriş yönlerini tutmaktadır.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
v_1	Nil	Nil	0	-5	3
v_2	Nil	Nil	Nil	7	Nil
v_3	0	Nil	Nil	4	-2
v_4	-5	7	4	Nil	Nil
v_5	3	Nil	-2	Nil	Nil

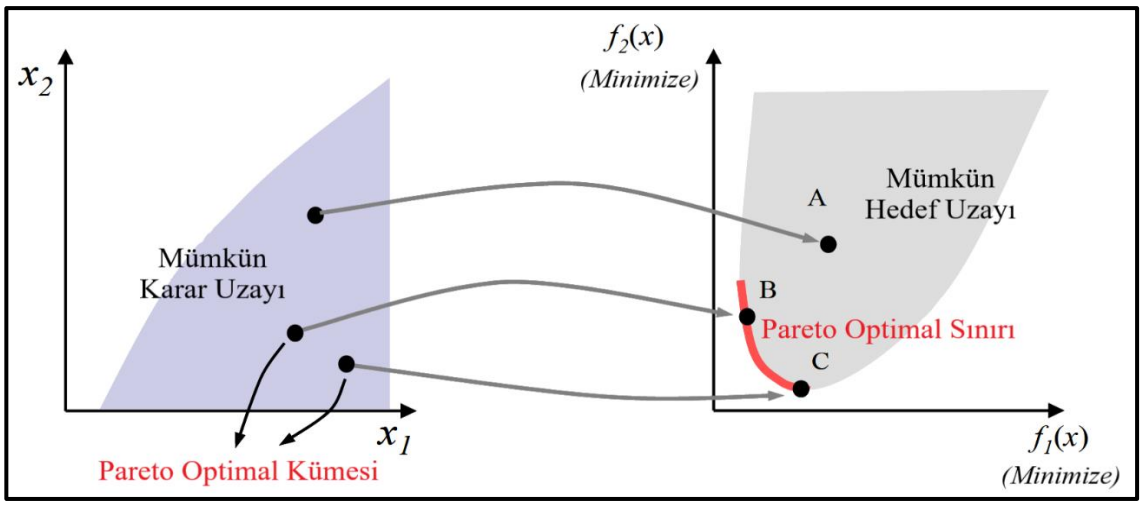
	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
v_1	Nil	Nil	0	1	1
v_2	Nil	Nil	Nil	1	Nil
v_3	2	Nil	Nil	1	1
v_4	1	0	1	Nil	Nil
v_5	1	Nil	1	Nil	Nil

3.2 Probleme Çözüm Önerisi

Fiziksel engelli birey için yol aldığı alan ile ilgili kendi fiziksel özelliklerine bağlı önemli birkaç parametre bulunmaktadır. Bunlardan biri 'Yürüyebilme'dir. Bu durum aynı zamanda kişinin 'Tekerlekli Sandalye Kullanma' durumunu da belirlemektedir. Kişinin yürüyebilmesi halinde 'Merdiven Çıkma' durumunun belirlenmesi önem kazanmaktadır. Akabinde kişinin 'Azami Yürüme Mesafesi' ve 'Azami Merdiven Sayısı' belirlenmelidir. Mevcut yollardaki engebe miktarı ölçeklendirilerek kişinin katedebileceği 'Azami Engebe Derecesi' netleştirilmelidir. Engelli bir ortamda iki nokta arasındaki en kısa yolun, eksenlerinden biri bu iki noktayı birleştiren doğru parçası olan eliptik bir alanda yer aldığı matematiksel olarak ispatlanmıştır (Gasilov vd. 2011). Yukarıdaki parametreler ölçüsünde bu alan içerisindeki yollar arasından kullanılamayacak olanlar elimine edilir. Bu işlem sırasında dinlenme noktaları, merdiven korkulukları gibi parametreler de dikkate alınabilir.

Kalan yollar arasında yukarıdaki beklentilere göre bir optimizasyon problemi mevcuttur. Birçok hedef içeren bu problemin çözümü, birbiri ile yarış içerisinde olan hedef fonksiyonları arasında yapılan iyi bir dengede saklıdır.

Mümkün karar uzayının domine edilmeyen kümesine Pareto optimal kümesi denir. Pareto optimal kümesinden hedefler doğrultusunda oluşturulan noktalar kümesinin belirlediği alana mümkün hedef uzayı, bu alanın hedefleri en iyi sağlayan sınırına ise Pareto optimal sınırı denir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Mümkün karar uzayındaki Pareto optimal kümesinden mümkün hedef uzayındaki Pareto optimal sınırı eldesi.

Mevcut optimizasyon probleminde; engelli kişinin fiziksel durumuna göre eliminasyon sonucu kalan yollar arasında seçim yaparken hangi parametreler arasında optimizasyon yapılması gerektiği, kişinin yukarıda belirtilen parametrelerinin değerlerine bağlıdır. Örneğin; yürüyemeyen fakat tekerlekli sandalye ile basit engebeleri katedebilen birisi için merdiven sayısı optimizasyon problemine katılmaz. Ya da yürüyebilen ve merdiven çıkabilen, fakat engebeli yolları kullanamayan birisinin optimizasyon probleminde merdiven sayısı ve mesafe parametreleri minimize edilmeye çalışılır ve ikisini dengeleyecek bir çözüm aranır.

Pareto optimal sınırındaki çözümler arasında seçim yapılırken engelli kişiye asgari düzeyde efor sarf ettirme hedeflendiği için efor tabanlı bir ağırlıklı toplam hesabı yapılır. Bu metot, çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde eski ve klasik bir metottur. Merdiven, engebe ve mesafe parametreleri için her bir birimin sarf ettireceği efor katsayısı belirlenir ve eldeki çözümler için ağırlıklı toplam bulunur. Kişiye minimum efor sarf ettirecek yollar sıra ile önerilir. Örneğin; yürüyebilen, merdiven çıkabilen ve

basit engebede yol alabilen bir engelli birey için; 1 metre yürüme eforu *ye*, 1 merdiven çıkma eforu *me* ve basit engebeli yol eforu *ee* olsun. Yapılan araştırma sonucu engelli bireyler için Eşitlik 1'deki ifadenin ciddi bir oranda doğru olduğu kabul edilebilir.

$$me > ee > ye \tag{1}$$

Yukarıdaki ifadeden yola çıkarak engelli bir bireyin ortalama durumlarda en çok eforu merdiven çıkmaya harcadığı, düz yolda yol almanın onun için en kolayı olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu sonuç doğrultusunda ağırlıklı toplam hesaplanırken bu parametrelerin ağırlık katsayıları dikkatle seçilmelidir.

3.3 Önerilen Çözümün Modellenmesi

Mevcut problem çizge üzerinde modellendiğinde, önerilen çözümün modelde uygulanması için çizgede belirtilmesi gereken pek çok parametre vardır. Ancak çizgede kullanılabilir gösterge sayısı sınırlıdır. Bu göstergeler ve belirtilmesi gereken parametreler listelenecek olursa Çizelge 3.2'deki liste ortaya çıkar.

Çizelge 3.2 Çizge üzerinde gösterilebilir göstergeler ve modellenecek parametreler.

Çizgedeki Göstergeler;	Parametreler;
1. Kiriş Yönü	A. Mesafe
2. Katlı Kiriş	B. Engebe Miktarı
3. Pozitif Ağırlık	C. Merdiven Sayısı
4. Negatif Ağırlık	D. Fazla Eğim veya Engebe
5. Sıfır Ağırlık	E. Yokuş Yönü

Göstergeler ve parametreler arasında eşleştirme yapmadan önce G=(V, E) kümesindeki her iki eleman net olarak belirlenmelidir. Köşeler kümesi, birbirleriyle aynı özelliği göstermeyen yolları birbirinden ayıran köşelerdir. Özellik kelimesi ile kastedilen; eğim, engebe miktarı, doğrultu gibi parametrelerdir. Dinlenme noktası gibi belli durumlar, homojen olarak aynı özelliği gösteren bir yol parçasını bölebilir ve bir dinlenme noktası bir köşe olabilir. Kirişler kümesi ise iki köşe arasında homojen olarak aynı özellikleri

gösteren yol parçasının çizgedeki karşılığıdır. Alandaki kullanılabilir tüm yollar, çıkış ve varış noktaları, merdiven başlangıç ve bitişleri, yol ayrımları, dönüşler ve yukarıda bahsi geçen parametrelerdeki süreksizlik durumu göz önüne alınarak tüm bölge çizge şeklinde ifade edilir.

Çizgede belirtilmesi gereken parametreleri çizgedeki göstergelerle eşleştirirken unutulmaması gereken bazı durumlar vardır. 'Fazla Eğim veya Engebe' parametresinin değeri ölçülebilen bir değer değildir, bu parametre bir kiriş üzerinde mevcutsa o kiriş direk elimine edileceği için miktar belirten bir gösterge kullanılmamalıdır. Eğer katedilemeyecek kadar fazla eğim veya engebe olursa çizgede o kirişi işaretlemek adına 'Sıfır Ağırlık' kullanılması doğru görülmüştür.

Bunun dışında 'Yürüyebilme' ve 'Merdiven Çıkma' durumuna bağlı olarak hem elimine edilme ihtimali olan, hem de elimine edilmemesi halinde bize bir büyüklük belirtmesi gereken parametre 'Merdiven Sayısı'dır. Her iki durumu da sağlayan gösterge ise 'Negatif Ağırlık'tır. Burada işaretin negatif olması merdiven olduğunu gösterir ve merdiven çıkamama halinde eliminasyonu kolaydır. Ağırlığın büyüklüğü de basamak sayısını göstermektedir.

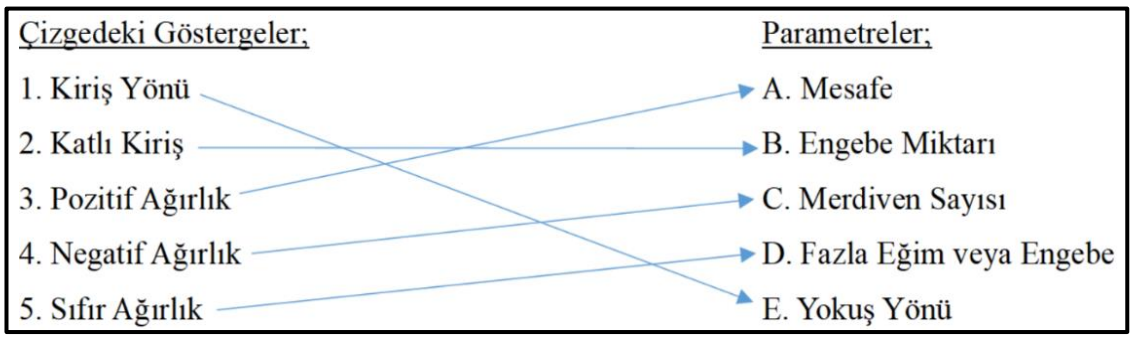
'Engebe Miktarı' ise ölçülebilen bir parametre değildir. Alanın engebesini belirtebilmek için engebe miktarını kademeli yapmak sorunu çözebilir. Kademe olarak 1'inci kademe engebesiz ve düz alan ise 2'nci kademe orta engebeli, 3'üncü kademe fazla engebeli anlamına gelebilir. Özetle bu parametrenin göstergesi 1 ile 3 arasında değerler almalıdır ki bu 'Katlı Kiriş' göstergesi ile ifade edilebilir.

Engelli bireyin katedeceği yolun eğimi ve yokuş yönü ile ilgili bilgi sahibi olması gerekmektedir. Çizgede, 'Yokuş Yönü' parametresini en doğru ifade edecek gösterge 'Kiriş Yönü'dür. Kirişteki ok yönü ise o kirişin yüksek noktasına işaret etmektedir. Bu bilgiye göre o yoldan yürüyen birisi kirişin ok yönünde hareket ederse kiriş boyunca benzer bir eğimle yokuş çıkar.

Bir engelli için eğer ‘Yürüyebilme’ parametresi pozitif ise devamında ‘Azami Yürüme Mesafesi’ oldukça önem kazanmaktadır. ‘Mesafe’ parametresini çizgede ‘Pozitif Ağırlık’ ile göstermek mümkündür. Burada direk metre gibi bir birim belirleyip mesafenin değerini direk ağırlık olarak atamak çok uygulanabilir olmasa da belli oranda küçültülmüş hali çizgeye ağırlık olarak yansıtılabilir.

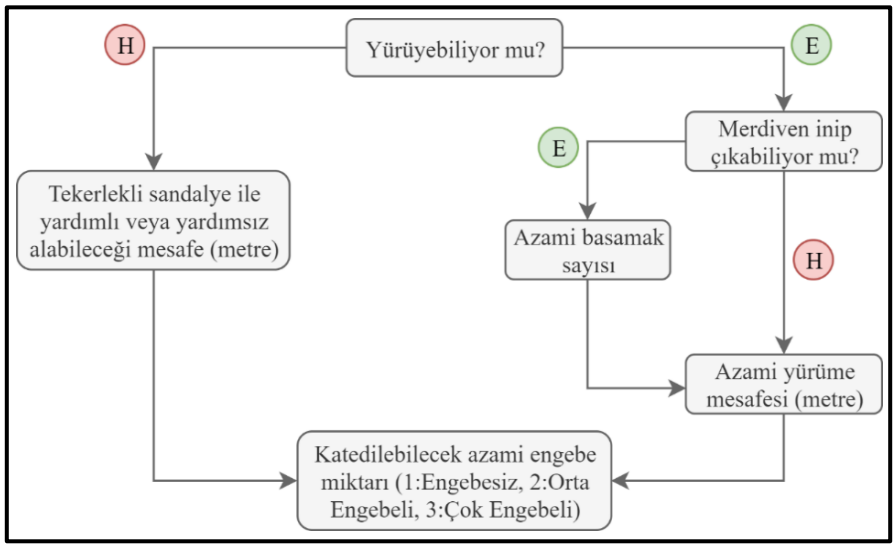
Çizelge 3.3 üzerinde doğru eşleştirme yapılmıştır. Mevcut bir alanı fiziksel engelli bir birey için önemli parametreler doğrultusunda çizge üzerinde gösterme işlemi tamamlanmıştır.

Çizelge 3.3 Çizge üzerinde modelleme için göstergeler ve parametreler eşleştirmesi.



Sırada kişiye sorulacak bazı sorularla belli parametreler belirlenmeli ve çizge üzerinde kullanımı mümkün olmayan çizgiler elenmelidir.

Çözüme uygun bir modelin oluşturulması ile çizge üzerinde kenar eliminasyonu yapılması için engelli bireyin profili, fiziksel sınırları ve yetenekleri belirlenmelidir. Bunun gerçekleşmesi için ise kişiye yöneltilmesi gereken birtakım sorular mevcuttur. Bu soruların bazılarının cevabına göre devamındaki sorular değişiklik gösterebilir. Gerekli sorular cevaplarına göre bir ağaca yerleştirilirse Şekil 3.3’teki gibi bir şema ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.3 Kişiselleştirilebilir bir algoritma geliştirilmesi için engelli bireylere yöneltilecek soruların ağaç üzerindeki hali.

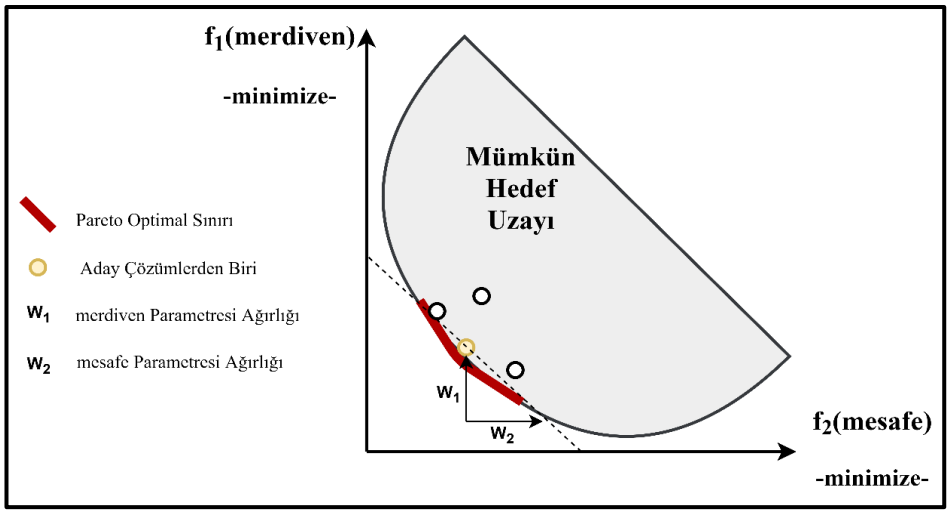
Soru ağacından alınan veriler doğrultusunda engelli bireyin fiziksel profili netleşmiş olup çizgede gösterilen parametrelere ait somut değerler elde edilmiştir. Artık kişiye uygun yolları bulabilmek için üç aşamalı algoritma uygulanabilir. Bu algoritmanın ilk aşamasında kişiye uygun olmayan yollar belli bir esneme payı ile elimine edilir. İkinci aşamasında ise kalan çizgede çıkış ve varış köşeleri aynı bağlantılı bileşende ise çizgedeki farklı türdeki yolları ifade eden kenarlar arasında optimizasyon yapılır ve parametrelere efor katsayıları atanır. Çizgedeki kenarların ağırlıkları kendi efor katsayılarıyla çarpılarak bir efor çizgesi elde edilir. Üçüncü aşamada mevcut efor çizgesinde en kısa yol bulunması için Dijkstra Algoritması uygulanır (Dijkstra 1959).

Burada birinci ve üçüncü aşamada yapılacaklar nettir. Ancak ikinci aşamada optimizasyon için pareto analizi ve efor katsayılarının netleştirilmesi kısımları halen biraz bulanıktır.

Pareto analizi yapılırken çözümlenmeye çalışılan çok hedefli optimizasyon problemine katılacak parametreler, kişinin yürüyebilme ve merdiven çıkabilme durumuna bağlıdır. Ancak analiz yapılırken tüm parametreler hesaba katılmalıdır (Knowles ve Corne 2002). Burada birbiri ile yarışa girecek olan parametreler mesafe, merdiven ve engebedir. Bu parametrelerin ilerleyen süreçte sarf ettirdikleri efor miktarına göre kıyaslanacağı

düşünülürse; her birinin birbirleri ile kıyasından ziyade hepsinin seçilen bir parametre ile kıyaslanması, çözümün araştırılmasını kolaylaştıracaktır. Bu parametrenin, modellenecek alanların genellikle çoğunluğunu oluşturan düz yol mesafesi olması, bize bir referans noktası oluşturması açısından önemlidir.

Merdiven sayısı ile düz yol mesafesi kıyasında hedeflenen, her iki parametrenin de minimize edilmesidir. Burada önemli olan; bu parametrelerden birini azaltmak için diğerini arttırma gerekliliğidir (Corley ve Moon 1985). Bir başka deyişle; merdiven çıkmamak için etrafından dolaşma gerekliliği, katedilecek merdiven sayısını azaltacak ancak mesafeyi arttıracaktır. Dolayısıyla bu iki hedef doğrultusunda mümkün hedef uzayı bir grafik üzerinde gösterilerek bir çözüm aranırsa Şekil 3.4'teki gibi bir grafik ortaya çıkar.

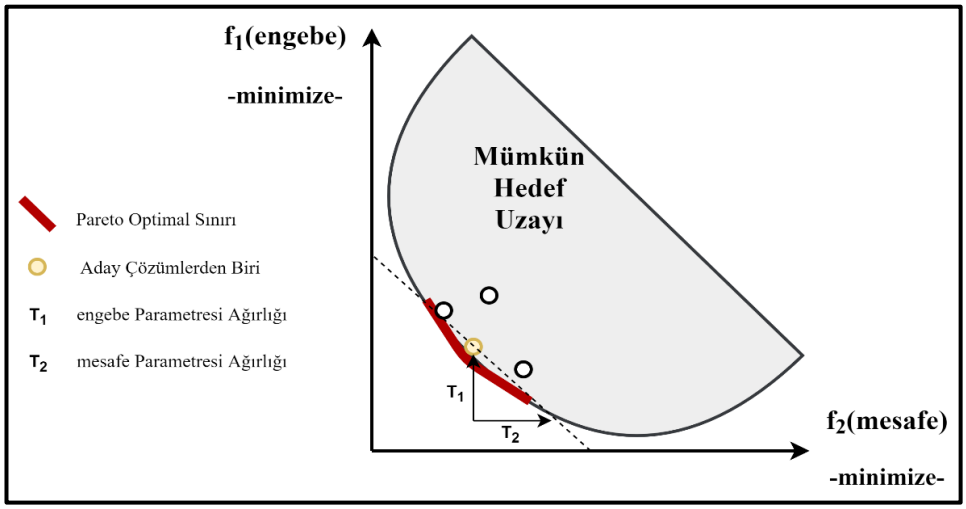


Şekil 3.4 Merdiven sayısı ve mesafe optimizasyonu.

Benzer kıyaslama, engebeli yol ile mesafe arasında yapıldığında da aynı şekilde bir ters orantı olduğu görülmektedir. Mümkün hedef uzayı da benzer olarak Şekil 3.5'teki gibi olacaktır.

Her iki durumda da pareto optimal sınırında çözümler aranır fakat seçilen çözümün, her iki hedefin de gereksinimlerini önemleri ölçüsünde sağlaması beklenmektedir. Burada hedeflerin önemleri, seçilen optimum çözüm adayının pareto optimal sınırına teğetinin eğimini değiştirecektir ki bu eğimi sağlayan oran, bu parametrelerin ağırlıklarını ifade

eder (Deb 2014). Bu ağırlıklar esasında daha önce bahsedilen efor katsayılarını temsil eder ve yukarıdaki grafiklerde W_i ve T_i ile gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Engebe ve mesafe optimizasyonu.

Burada efor çizgesi çıkarımı için gerekli olan ağırlık oranları, sözel ifadelerle düşünüldüğünde;

- 1 merdiven çıkmak için gereken efor miktarı, 1 birim düz yol mesafesini katetmek için gereken efor miktarının kaç katıdır?
- 1 birim engebeli mesafede yol almak için gereken efor miktarı, 1 birim düz yol mesafesini katetmek için gereken efor miktarının kaç katıdır?

sorularının cevaplanması halinde efor katsayıları elde edilmiş olur. Ancak bu durumda bu soruların cevaplarının nesnel olmayışı ve cevaplardaki potansiyel bulanık ifadelerin sayısallaştırılması gündeme gelmektedir.

Yukarıdaki soruların cevaplarının, farklı engel durumlarına sahip fiziksel engelli bireyler için farklı olabileceği düşünülürse; çözüm, farklı fiziksel özelliklere sahip bir grup engelli birey ile yapılan görüşmeler sonucunda edinilen değerlerin aritmetik ortalamasını alarak kullanmada bulunmuştur.

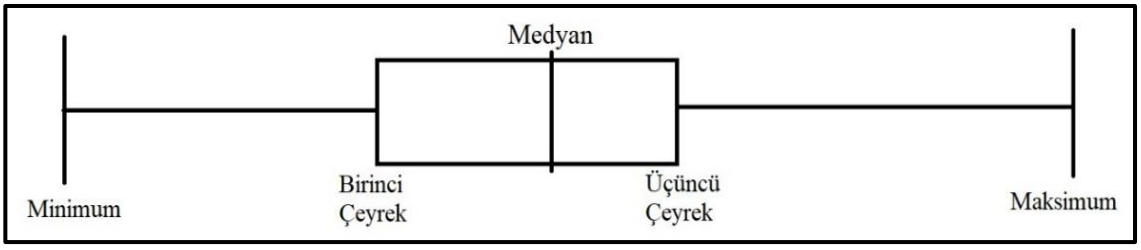
Bu doğrultuda fiziksel engelli bireyler arasında 5 sorudan oluşan bir anket çalışması yapılmıştır. Bu sorular sırası ile bireyin;

-Yürüme durumunu,
-Merdiven inip çıkma durumunu,
-Hafif engebeli alanda ve düz zeminde yol alma efor kıyaslamasını,
-Ağır engebeli alanda ve düz zeminde yol alma efor kıyaslamasını,
-Merdiven inip çıkma ve düz zeminde yol alma efor kıyaslamasını

ölçümlemektedir. Belirlenecek olan katsayıların engelli bireyin fiziksel durumuna göre değişkenlik göstereceği düşünülürse; bu çalışmanın ulaştığı kişi sayısı, katsayıların hassasiyetine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen sayısal değerlerin analizinde verilen her yanıtın önemini sonuca yansıtmak önemlidir. Dolayısıyla her cevabı işaretleyen kişi sayısıyla ağırlıklı ortalama alınması, makul bir çözümdür.

Sayısal cevapları olan sorularda engelli bireyin çoktan seçmeli şıklardan birine bağlı kalma zorunluluğu çok da gerçekçi görülmemiş ve her soru için bir 'Diğer:' seçeneği belirtilmiştir. Ancak bu durum, çalışmaya katkı sağlayan engelli bireyin aykırı değerler girebilmesine olanak sağladığı için genel ortalamayı etkileyecek çok aykırı değerlerin elimine edilmesi, sonuçta elde edilen efor katsayılarının doğruluk oranını arttırmaktadır. Bu eliminasyon, istatistikteki çeyrekler açıklığı ilkesini (Şekil 3.6) kullanarak gerçekleştirilmiştir (Beaumont ve Rivest 2009).



Şekil 3.6 Çeyrekler açıklığı ilkesinde kullanılan parametrelerin kutu grafiği aracılığıyla gösterimi.

Çeyrekler açıklığının en güçlü yanı, aykırı verilerden çok etkilenmemesidir. Dolayısıyla, sonuçları yanıltıcı ve aykırı verilerin tespitinde iyi sonuç vermektedir. Çeyrekler açıklığını kullanarak aykırı elemanların tespiti aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir:

1. Dizi azalmayan şekilde sıralanır.
2. Medyan, birinci çeyrek, üçüncü çeyrek ve çeyrekler farkı bulunur.
3. Çeyrekler farkının 1,5 katı hesaplanır ve o değere esneme payı denir.
4. Üçüncü çeyreğin esneme payı ile toplamından daha büyük ya da birinci çeyreğin esneme payı ile farkından daha küçük değerler varsa; o değerler aykırı kabul edilebilir.

Aykırı değerlerin eliminasyonu akabinde kalan verilerin analizinde; her bir seçenek ve o seçeneğin kaç kez işaretlendiği verileri kullanılarak ağırlıklı ortalama alınmış ve tek değer elde edilmiştir. Böylelikle 54 kişiden alınan veriler analiz edilerek çizgedeki engebe ve merdiven bölgelerinin, ne kadar düz alan mesafesi eforuna karşılık geleceğini belirleyen efor katsayıları belirlenmiştir.

Kişiye uygun yolları bulabilmek için kullanılan üç aşamalı algoritmanın net olmayan ikinci aşaması açıklığa kavuşturulmuştur. Sırasıyla eliminasyon, optimizasyon-normalizasyon, en kısa yol aşamalarını içeren algoritmanın her bir aşaması, sözel olarak aşağıda sıralanmıştır:

Üç Aşamalı Algoritma (*yürüyebilme*, *merdivenDurumu*, *mesafe*, *basamak*, *engebe*)
// Eliminasyon Başlangıcı
Adım 1: Eğer *yürüyebilme* yanlış ise negatif ağırlıklı kirişleri çizgeden kaldır ve Adım 4'e git.
Adım 2: Eğer *merdivenDurumu* yanlış ise negatif ağırlıklı kirişleri çizgeden kaldır ve Adım 4'e git.
Adım 3: Azami inilebilecek-çıkılabilecek merdiven sayısı olan *basamak* değişkeninin (-1) katından sayısal olarak daha küçük ağırlığa sahip kiriş varsa o kirişleri çizgeden kaldır.

Adım 4: Tekerlekli sandalye ile ya da yürüyerek katedilebilecek azami uzunluğu ifade eden *mesafe* değişkeninin değerinden daha büyük ağırlıklı kiriş varsa o kirişleri çizgeden kaldır.

Adım 5: Katedilebilecek azami engebe miktarını gösteren *engebe* değişkeni 1 ise, iki ve üç katlı kirişleri çizgeden kaldır, 2 ise sadece üç katlı kirişleri çizgeden kaldır.

Adım 6: Eğer *engebe* değişkeni 3 değil ise veya *basamak-mesafe* değişkenleri sıfır ise 0 ağırlıklı kirişleri de çizgeden kaldır.

Adım 7: Eğer çizgedeki çıkış ve varış noktaları aynı bağlantılı bileşende değil ise, kişiye uygun yol olmadığını yazdır ve çık.

// Eliminasyon Bitişi

// Optimizasyon-Normalizasyon Başlangıcı

Adım 8: Çizgede kalan kirişlerde iki katlı kiriş varsa orayı tek kat kiriş yap ve mevcut ağırlığını *hafif engebe efor katsayısı* ile çarpımı olarak güncelle.

Adım 9: Çizgede kalan kirişlerde üç katlı kiriş varsa orayı tek kat kiriş yap ve mevcut ağırlığını *ağır engebe efor katsayısı* ile çarpımı olarak güncelle.

Adım 10: Çizgede kalan negatif kiriş varsa oranın ağırlığını *merdiven efor katsayısı*'nın negatif hali ile çarpımı olarak güncelle.

Adım 11: Çizgede 0 ağırlıklı kiriş varsa ona çizgenin mevcut en yüksek değerli ağırlığını ata.

Adım 12: Çizgedeki ok yönlerini kaldır.

// Optimizasyon-Normalizasyon Bitişi

// En Kısa Yol Algoritması Başlangıcı

Adım 13: Dijkstra tek kaynaklı en kısa yol algoritmasını çağır.

// En Kısa Yol Algoritması Bitişi

Adım 14: Kullanıcıya uygun yolları efor puanına göre azalmayan sıralı listele.

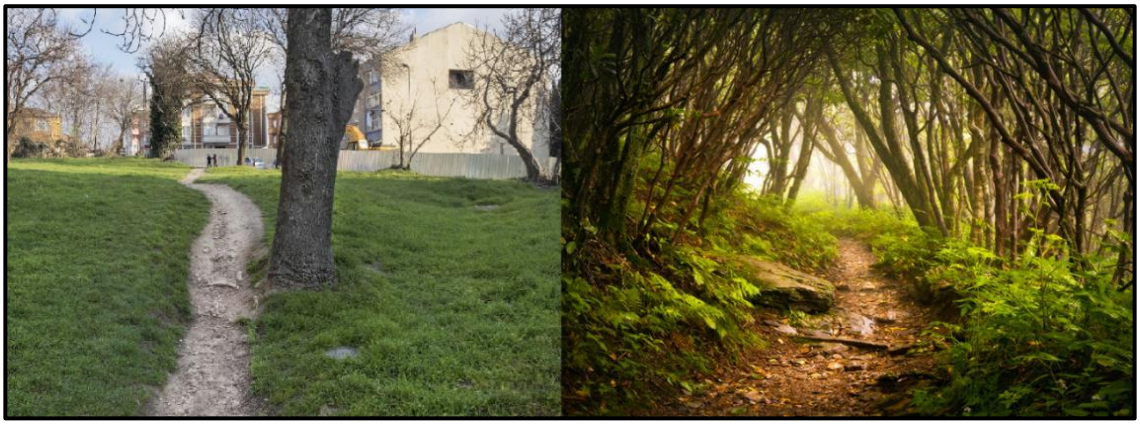
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölüm, çalışmanın geliştirme sürecinde uygulanan bazı yöntemlerin bulgularını, örnek modellenmiş alanlarda örnek fiziksel durumlar için çekirdekteki algoritmanın çalışma sürecini ve çalışma ile ilgili genel bulguları içermektedir. Ayrıca belirtilen bulguların literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslamasının yapıldığı kısa tartışması da yer almaktadır.

Bu tez çalışmasının geliştirme sürecinde kullanılan yöntemlerden birisi; Pareto optimal sınırında aranan çözümün öznelliği hasebiyle yürütülen, çoktan seçmeli anket çalışmasıdır. Çalışma 54 kişide uygulanmıştır ve çalışmanın temel amacı; optimize edilmesi gereken parametrelerin nesnel cevapları arasında bir denge oluşturabilmektir. Çalışmada katılımcılara beş ayrı soru yöneltilmektedir ve bu soruların üç tanesinin cevabı, belirlenmesi gereken hafif engebe efor katsayısı, ağır engebe efor katsayısı ve merdiven efor katsayısı parametrelerine yanıt vermektedir. Anketin hedef kitlesinde anlaşılması güç ifadeler oluşmaması adına hafif (Şekil 4.1) ve ağır (Şekil 4.2) ifadelerindeki bulanıklığı giderebilmek amacıyla ankette her ikisi için de örnek görsellere yer verilmiştir. Ayrıca engelli bireyin fiziksel durumuna uygun sayısal değerin seçeneklerde bulunmaması ihtimaline karşı katsayıları belirleyen üç soruda değer girilebilen ‘Diğer’ seçeneğine yer verilmiştir.



Şekil 4.1 Ankette kullanılan hafif engebeli alan örnekleri.



Şekil 4.2 Ankette kullanılan ağır engebeli alan örnekleri.

Yapılan anket sonuçlarında sayısal soruların yanıtları için aykırı veriler, çeyrekler açıklığı ilkesi kullanılarak elimine edilip ağırlıklı ortalama ile tek bir değer elde edilmiştir. Bu bağlamda; aşağıda her bir soru ve cevaplarının dağılımı ile ağırlıklı ortalama sonucunda ortaya çıkan efor katsayısı verilmiştir.

Anketin ilk iki sorusu yürüyebilme ve merdiven çıkma durumlarını ölçümlemektedir. Bu iki soruda da 54 cevaptan 51'i, yürüyebilme ve merdiven çıkabilme durumlarına pozitif yanıt vermiştir. Bu durum, engebe ve merdivenin efor anlamında düz zemin ile kıyaslanmasında elde edilen verilerin gerçekçiliğini desteklemektedir.

Efor katsayılarının belirlenmesini sağlayan üç sorudan ilki; yukarıda görsel örneği verilen hafif engebeli alanlarda katedilen 10 metre yolun gerektirdiği efor ile düz zeminlerde kaç metre yol alınabileceğini ölçmektedir. Verilen yanıtların dağılımı aşağıdaki gibidir:

Soru: Sizce yukarıda örneği verilen Hafif Engebeli alanlarda 10 metre yol almanın sarf ettirdiği efor ile dümdüz bir zeminde kaç metre yol alınabilir?

- *12 metre - 13 yanıt*
- *14 metre - 21 yanıt*
- *16 metre - 9 yanıt*
- *18 metre - 11 yanıt*

Bu sayı dizisinde medyan 14'dür. Birinci çeyrek 14, üçüncü çeyrek ise 16'dır. Çeyrekler farkı 2 ve esneme payı 3'dür. Dolayısıyla aykırı olmayan veriler sayısal olarak 11 ile 19 arasında olan değerlerdir. Yani bu sayı dizisinde aykırı değer bulunmamaktadır.

Hafif engebeli alanlar için efor katsayısı, bu dizinin ağırlıklı ortalama sonucu ortaya çıkan 14.67'dir. Yani efor çizgesinin hesaplanmasında her 10 metrelik hafif engebeli alanın karşılığı, 14.67 metrelik düz yol eforudur.

Benzer şekilde ikinci soru, ağır engebeli alanlarda katedilen 10 metre yolun gerektirdiği efor ile düz zeminlerde kaç metre yol alınabileceğini ölçmektedir.

Aşağıda verilen yanıtların oluşturduğu sayı dizisinin medyanı 18'dir. Birinci çeyrek ve üçüncü çeyrek değerleri sırasıyla 16 ve 20'dir. Çeyrekler farkı 4 ve esneme payı 6'dır. Yani aykırı olmayan veriler 10 ile 26 arasındadır. Bu durumda aykırı kabul edilebilecek bir değer olan 60 metre elimine edilmiştir. Verilen yanıtlar şu şekildedir:

Soru: Sizce yukarıda örneği verilen Ağır Engebeli alanlarda 10 metre yol almanın sarf ettirdiği efor ile dümdüz bir zeminde ne kadar yol alınabilir?

- *14 metre - 9 yanıt*
- *16 metre - 17 yanıt*
- *18 metre - 6 yanıt*
- *20 metre - 14 yanıt*
- *22 metre - 2 yanıt*
- *25 metre - 5 yanıt*
- *60 metre - 1 yanıt*

Ağır engebeli alanlar için efor katsayısı, bu dizinin ağırlıklı ortalama sonucu ortaya çıkan 18'dir. Yani efor çizgesinin hesaplanmasında her 10 metrelik ağır engebeli alanın karşılığı, 18 metrelik düz yol eforudur.

Son olarak aşağıda yanıtları verilen soru ise, 10 basamak korkuluğu olan merdiven inme ya da çıkmanın gerektirdiği efor ile düz zeminde kaç metre yol alınabileceğini ölçmektedir.

Soru: Sizce korkuluğu olan ve abartılı eğimi olmayan 10 Basamak Merdiven çıkmak için gereken efor ile dümdüz zeminde ne kadar yol alınabilir?

- *16 metre - 12 yanıt*
- *18 metre - 24 yanıt*
- *20 metre - 5 yanıt*
- *22 metre - 9 yanıt*
- *30 metre - 2 yanıt*
- *40 metre - 1 yanıt*
- *50 metre - 1 yanıt*

Burada ise medyan 18'dir. Birinci çeyrek değeri yine 18, üçüncü çeyrek değeri ise 20'dir. Çeyrekler farkı ve esneme payı sırasıyla 2 ve 3'dür. Dolayısıyla bu sayı dizisinde aykırı kabul edilmeyen veriler 15 ile 23 arasındadır. Aykırı kabul edilen iki tane 30 yanıtı, bir tane 40 yanıtı ve bir tane 50 yanıtı elimine edilmiştir.

Merdiven inip çıkmanın gerektirdiği efor katsayısı, yukarıdaki dizide ağırlıklı ortalama sonucu elde edilen 18.44'dür. Bu demektir ki; 10 basamak merdiven inme ya da çıkmanın gerektirdiği efor ile düz yolda 18.44 metre yol alınabilir.

Yapılan anket çalışması sonucunda, uygulanacak algoritmadaki bazı katsayılar belirlenmiştir. Düz yol yürüme biriminden efor çizgesi elde edilirken hafif engebeli yolları, ağır engebeli yolları ve merdivenleri çevirirken kullanılacak olan nihai katsayılar aşağıdadır.

- Hafif engebeli yolun efor olarak düz yoldaki karşılığı hesaplanırken kullanılan *hafif engebe efor katsayısı*=1.47

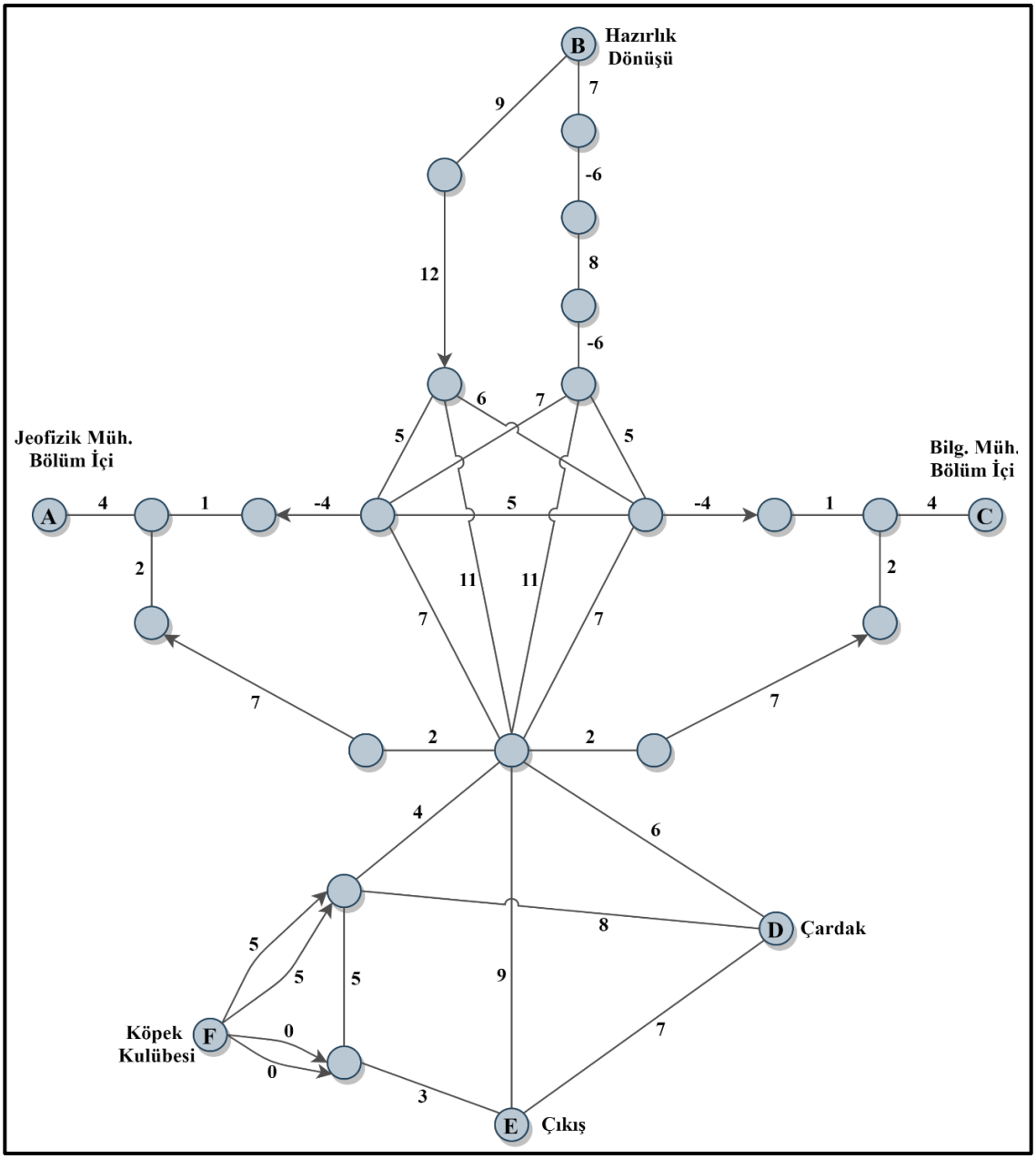
- Ağır engebeli yolun efor olarak düz yoldaki karşılığı hesaplanırken kullanılan *ağır engebe efor katsayısı*=1.8

- Merdivenin efor olarak düz yoldaki karşılığı hesaplanırken kullanılan *merdiven efor katsayısı*=1.84

Bu anket çalışması, 2012'de İtalya'da yapılan çalışma ile benzer bir amaç gütmektedir (Burrigat ve Chittaro 2012). Engelliler için geliştirilen uygulamalarda onların gerçek ihtiyaçlarının gözetilmesi, onların beklentilerine yönelik çalışmalar yapılması minvalinde yapılan bu anket çalışmasının sonuçları değerlendirilirken de aynı hassasiyet gösterilmiştir.

Elde edilen değerlerin gerçek yaşamda pilot bir alanda nasıl sonuç verdiğini gözlemlemek amacıyla Ankara Üniversitesi 50. Yıl Gölbaşı Kampüsü'nde bulunan Bilgisayar Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği bölümlerinin girişlerinin açıldığı ortak alan çizge üzerinde modellenmiştir (Şekil 4.3). Alan üzerinde düz zemin, engebeli toprak zemin, merdiven, dinlenme noktası, rampa gibi örnekler fiziksel koşullar mevcuttur. Bu koşulların tamamı çizgeye yansıtılmıştır ve modeldeki her bir kirişe, gerçekteki sayısal miktarlar ölçümlenerek atanmıştır.

Pilot bölgede bu çalışmanın gerçek sonuçlarını gözlemleyebilmek için mevcut algoritmanın tüm girdileri, gerçek hayattaki fiziksel engel durumlarına göre engelli profilleri ile belirlenmiş ve her bir profil için alan üzerindeki olası tüm ikililer çıkış ve varış olarak denenmiştir. Farklı fiziksel engellere sahip bireylerin pilot bölgede herhangi iki nokta arasındaki erişim durumları sınanmıştır.



Şekil 4.3 Ankara Üniversitesi 50. Yıl Gölbaşı Kampüsü'nde Bilgisayar Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği bölümlerinin girişlerinin açıldığı ortak alanın çizge üzerinde matematiksel olarak modeli.

Algoritmadaki kullanıcı girdilerinin farklı değerleri için 7 farklı fiziksel engelli profili belirlenmiştir. *yürüyebilme*, *merdivenDurumu*, *mesafe*, *basamak*, *engebe* parametrelerinin çeşitli değerler aldığı profillerin, fiziksel engelli bireylerin çok büyük çoğunluğunda karşılığı bulunmaktadır. Çizelge 4.1'de verilen engelli profillerinin

belirtilen parametrelerdeki değerleri, farklı anlamlar ifade etmektedir. Örneğin; Profil 3, 20 metreye kadar yürüyebilen, en fazla 10 basamak merdiven inip çıkabilen ve engebeli arazide yol alamayan bir engellilik durumunu temsil etmektedir. Bu profillerin belirtilen parametrelerde sahip oldukları değerler, günlük yaşamda ve sosyal hayatta sorunlarla karşılaşan engelli bireylerin fiziki yeterliliklerini yansıtmaktadır.

Çizelge 4.1 Farklı fiziksel yeterliliklere sahip ve çoğu engelli bireyi temsil eden örnek engelli profilleri.

	yürüyebilme	*merdivenDurumu*	*mesafe*(metre)	*basamak*	*engebe*
Profil 1	Doğru	Doğru	50	30	3
Profil 2	Doğru	Doğru	30	15	2
Profil 3	Doğru	Doğru	20	10	1
Profil 4	Doğru	Yanlış	20	-	2
Profil 5	Doğru	Yanlış	15	-	1
Profil 6	Yanlış	Yanlış	50	-	2
Profil 7	Yanlış	Yanlış	30	-	1

Verilen engelli profillerinin her birisi için, pilot alan üzerindeki tüm olası (çıkış, varış) ikililerinde algoritma uygulanmıştır. A, B, C, D ve E noktalarının olası tüm ikili kombinasyonlarında bütün profiller sorun yaşamadan yol alabilmektedir (Çizelge 4.2). Mevcut engelli profillerinin *mesafe* ve *basamak* değişkenleri pilot alanda yeterlilik göstermiştir. Bu durum göstermektedir ki; pilot bölge olan Ankara Üniversitesi 50. Yıl Gölbaşı Kampüsü'nde bulunan Bilgisayar Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği bölümlerinin girişlerinin açıldığı ortak alan, fiziksel engelli dostu bir bölgedir.

Çizelge 4.2 Pilot bölgedeki noktalar arasında erişim sağlayabilen engelli profilleri.

	A	B	C	D	E	F
A		Hepsi	Hepsi	Hepsi	Hepsi	Profil 1, 2, 4, 6
B	Hepsi		Hepsi	Hepsi	Hepsi	Profil 1, 2, 4, 6
C	Hepsi	Hepsi		Hepsi	Hepsi	Profil 1, 2, 4, 6
D	Hepsi	Hepsi	Hepsi		Hepsi	Profil 1, 2, 4, 6
E	Hepsi	Hepsi	Hepsi	Hepsi		Profil 1, 2, 4, 6
F	Profil 1, 2, 4, 6	Profil 1, 2, 4, 6	Profil 1, 2, 4, 6	Profil 1, 2, 4, 6	Profil 1, 2, 4, 6	

Bunun dışında algoritmanın uygulandığı olası ikililer arasında F noktası, yani Köpek Kulübesi olması halinde; 3, 5 ve 7 numaralı engelli profilleri, hafif engebede yol alamamaları hasebiyle bu noktaya erişememiş ya da bu noktadan çıkış sağlayamamışlardır (Çizelge 4.2).

Bu sonuçlar şunu vurgulamaktadır: Bir noktaya engelli bireylerin erişiminde, o noktaya çıkan farklı yolların farklı fiziksel özelliklere sahip olması, erişebilen kişi sayısına katkıda bulunabilir. 3, 5 ve 7 numaralı profillerin F noktasına erişimlerini engelleyen tek şey, oraya ulaşan yollar arasında engebesiz bir yolun bulunmamasıdır.

İnşa edilen yapılarda, kampüslerde, halen kullanımda olan kamu binalarında iç ve dış mekânda insanların erişim sağlayabileceği her noktaya ulaşan, engebe, basamak ve mesafe anlamında farklı fiziksel özelliklere sahip çeşitli yolların bulunması; daha çok sayıda farklı fiziksel özelliklere sahip engelli bireylerin gereksinimini karşılaması hasebiyle oldukça önem arz etmektedir.

Gerek yapılan anket çalışması, gerekse pilot bölgede örnek profillerde uygulanan algoritma sonuçları göstermektedir ki; engelliler için yaşam kolaylaştırıcı uygulamaların gelişimi, uygulanabilirliği ve yaygınlığı arttıkça gerçek yaşamda onlara sağlanan fayda da önemli ölçüde artacaktır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışması, insan yaşamını kolaylaştırma güdüsüyle ortaya çıkmış ve fiziksel engelli bireylerin daha önce erişim sağlamadıkları yerlerde yaşadıkları sorunlara çözüm önerisi sunmuştur. Fiziksel engelli bireylerin gerek günlük yaşamda daha aktif var olmalarını, gerekse sosyal hayata katılımlarını arttırmayı amaçlayan bu çalışmanın uygulanabilir olması, bu kişilerin bir başkasına olan bağımlılığını ortadan kaldırma niteliği taşımaktadır.

Çalışmada erişim sağlanacak alan çizge üzerinde modellenmiş, engelli bireyler için özelleştirilebilir parametreler doğrultusunda soru seti oluşturulmuştur. Bu parametrelerin belirlenmesinde fiziksel engelli bireylerin ihtiyaçları göz önünde bulundurulmuştur. Engelli bireyin fiziksel sınırları dahilinde uygun olmayan yollar üzerinde eliminasyon yapılmıştır. Eliminasyon akabinde eğer kişinin çıkış ve varış noktaları aynı bağlantılı bileşen üzerinde ise, çizge üzerindeki farklı türdeki kirişleri düz yol efor türüne dönüştürerek efor çizgesi elde edilmiştir. Son olarak efor çizgesi üzerinde en kısa yol algoritması aracılığıyla kişiye en az efor sarf edeceği yollar önerilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan üç aşamalı algoritma, fiziksel engelli bireylerin yaşadıkları erişim sorununun çözümünde onlara bir başka insanın sunduğu rehberlik desteğinin yerini alabilme potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmanın temelinde yatan algoritma, fiziksel engelli bireylerin kabiliyetlerini belirten bazı parametreleri girdi olarak alması hasebiyle ihtiyaçlar doğrultusunda kişiselleştirilebilirdir. Tez çalışması bu yönüyle literatürdeki çoğu çalışmadan ayrışmaktadır.

Efor çizgesi dönüşümünde farklı yol türlerinin efor katsayıları belirlenirken fiziksel engelli bireylerin gerçek ihtiyaçlarına cevap verebilme ihtiyacı doğrultusunda bir anket çalışması yürütülmüş ve sonuçları analiz edilerek elde edilen değerler çalışmaya

yansıtılmıştır. Bu durum, yapılan tez çalışmasının fiziksel engelli bireylerin ihtiyaçları konusundaki hassasiyetini göstermektedir.

Yürütülen bu çalışma sonucunda fiziksel engelli bireylerin yaşamını kolaylaştıracak, bağımlılıklarını ortadan kaldıracak ve pratikte uygulanabilir verimli bir yöntem ortaya çıkmıştır.

5.1 Öneriler

Bu tez çalışması, temelde fiziksel engelli bireylerin günlük yaşantılarında karşılaştığı erişim sorununa bir çözüm önermektedir. Bu çalışmanın önerdiği yöntem ve temelinde yatan üç aşamalı algoritma, teoride bu soruna çözüm tahsis etmektedir.

Yürütülen tez çalışması, gelecekte uygulanabilir ve kolayca kullanılabilir niteliktedir. Kişinin fiziksel yeterliliklerini gözeterek özelleştirilebilir olması, bu çalışmanın uygulamaya dönüştürülmesi halinde tercih sebebi olmasına neden olabilir.

Çalışmada erişim sağlanacak alanın matematiksel modellenmesi, halen insan marifetiyle yapılmaktadır. İnşa edilen kamu binalarının, üniversite kampüslerinin, alışveriş merkezlerinin gelecekte üç boyutlu çizimleri üzerinden işlemci gücü yordamıyla çizge üzerinde otomatik olarak modellenmesi, bu çalışmayı daha ileriye taşıyabilir.

Günümüzde yeni inşa edilen binalardaki engellilik standartlarının belirlenmesi ve inşa izinleri, yerel yönetimlerin inisiyatifindedir. Tez çalışmasında önerilen üç aşamalı algoritmanın ilk aşamasının, inşa edilecek bina çizimindeki erişilebilecek noktaların olası tüm ikili kombinasyonları üzerinde ve farklı fiziksel yeterliliklere sahip engelli bireyleri temsil eden çeşitli profiller için uygulanması halinde; o binanın fiziksel engelli bireyler için erişilebilirliği denetlenmiş olur. Bu durum, bina çizimlerinden bilgisayar gücü ile matematiksel modellenmenin başarılmasıyla verimli olabilir.

Benzer şekilde bina çizimlerinin algoritma veri tabanına yüklenmesi ile gelecekte geliştirilmesi muhtemel olan mobil uygulama üzerinde erişilebilen binaların sayısının çoğalması, kullanımı yaygınlaştırması ve daha fazla engelli bireye faydalı olması hasebiyle önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Aich, A. ve Loriette, S. 2007. Saped: System of assistance for people with disabilities. In *19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2007)* (Vol. 1, pp. 101-108). IEEE.

Beaumont, J. F. ve Rivest, L. P. 2009. Dealing with outliers in survey data. In *Handbook of Statistics* (Vol. 29, pp. 247-279). Elsevier.

Bouzoubaa, Y., Minich, C., Nagih, A. ve Pruski, A. 2015. Evaluating the adaptation of a dwelling to a disabled person: a graph-based approach. In *CIE45, Int. Conf. Computers & Industrial Engineering*.

Burigat, S. ve Chittaro, L. 2012. Mobile navigation and information services for disabled students in university buildings: a needs assessment investigation. In *Proceedings of the 2nd workshop on mobile accessibility, MOBILE HCI 2012 conference*.

Bülbül, E. 2015. *Değişen 3B ortamda en kısa yol algoritmaları* (Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı).

Bülbül, E. ve Amrahov, Ş. 2016. Simulation and Adaptation of Pathfinding Algorithms under Realistic Physical Conditions in 3D Environments. In Proceedings of the 14. Industrial Simulation Conference (ISC'2016), Bucharest, Romania (pp. 6-8).

Corley, H. W. ve Moon, I. D. 1985. Shortest paths in networks with vector weights. *Journal of Optimization Theory and Applications*, *46*(1), 79-86.

Deb, K. 2014. Multi-objective optimization. In Search methodologies (pp. 403-449). Springer, Boston, MA.

Dijkstra, E. W. 1959. A note on two problems in connexion with graphs. Numerische mathematik, 1(1), 269-271.

Džafić, D., Schoonbrood, P., Franke, D. ve Kowalewski, S. 2017. enav: A suitable navigation system for the disabled. In *Ambient Assisted Living* (pp. 133-150). Springer, Cham.

Gasilov, N., Doğan, M. ve Arici, V. 2011. Two-stage shortest path algorithm for solving optimal obstacle avoidance problem. *IETE Journal of Research*, *57*(3), 278-285.

Goetz, M. ve Zipf, A. 2011. Formal definition of a user-adaptive and length-optimal routing graph for complex indoor environments. *Geo-Spatial Information Science*, *14*(2), 119-128.

Kim, E. Y. 2016. Wheelchair navigation system for disabled and elderly people. *Sensors*, *16*(11), 1806.

Knowles, J. D. ve Corne, D. W. 2002. Enumeration of Pareto optimal multi-criteria spanning trees–a proof of the incorrectness of Zhou and Gen's proposed algorithm. *European journal of operational research*, *143*(3), 543-547.

Kulakov, K. A., Shabaev, A. I. ve Shabalina, I. M. 2015. The route planning services approach for people with disability. In *2015 17th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)* (pp. 89-95). IEEE.

Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P. ve Licata, L. 2013. Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, *49*(4), 764-766.

Mirza, R., Tehseen, A. ve Kumar, A. J. 2012. An indoor navigation approach to aid the physically disabled people. In *2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET)* (pp. 979-983). IEEE.

Shchekotov, M. 2015. Indoor localization methods based on Wi-Fi lateration and signal strength data collection. In *2015 17th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)* (pp. 186-191). IEEE.

Strug, B. ve Ślusarczyk, G. 2017. Reasoning about accessibility for disabled using building graph models based on BIM/IFC. *Visualization in Engineering*, *5*(1), 1-12.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan Buğra YILDIRIM

Doğum Yeri : Akçakent-Kırşehir

Doğum Tarihi : 09.12.1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Fethiye Kemal Mumcu Anadolu Lisesi (2010)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği (2017)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı (2020)

Çalışılan Kurumlar

Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
Bilgisayar Mühendisi, 2019-Halen

Bartın Üniversitesi
Araştırma Görevlisi, 2018-2019

HAVELSAN
Yazılım Geliştirme Mühendisi, 2017-2018