



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI ARAZİ KULLANIMLARINA DAYALI ALTERNATİF
BİSİKLET PAYLAŞIM İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN CBS TABANLI
HİBRİT BİR YAKLAŞIM

EZGİ EREN
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI ARAZİ KULLANIMLARINA DAYALI ALTERNATİF
BİSİKLET PAYLAŞIM İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN CBS TABANLI
HİBRİT BİR YAKLAŞIM

EZGİ EREN
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
PROF. DR. FARUK FIRAT ÇALIM

ADANA 2020



Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

[İmza]

Ezgi EREN

ÖZET

FARKLI ARAZİ KULLANIMLARINA DAYALI ALTERNATİF BİSİKLET PAYLAŞIM İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN CBS TABANLI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

Ezgi EREN

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

Haziran 2020, 98 sayfa

Son on yılda dünya çapında giderek yaygınlaşan Bisiklet Paylaşım Sistemleri (BPS), akıllı hareketliliği desteklemeyi amaçlayan paylaşımlı bir akıllı ulaşım sistemi (AUS) teknolojisidir. Şehirlerde trafik sıkışıklıklarının, hava ve gürültü kirliliğinin ve doğal kaynak tüketiminin azaltılması açısından BPS'lerin verimliliğinin artırılmasını sağlayacak karmaşık karar problemlerine çözüm önerilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir şehirlerde daha yaşanılabilir bir çevre için önem arz etmektedir. BPS'lerin verimliliğinin artırılması noktasında en önemli stratejik kararlardan biri sisteme ait istasyon yerlerinin belirlenmesi sürecidir. Bu çalışma, farklı arazi kullanım türüne göre alternatif istasyon yerlerinin belirlenmesi ve mevcut istasyon yerlerinin İzmir'deki bir BPS için uygunluğunun değerlendirilmesi için bilimsel bir çerçevenin sunulmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla, BPS istasyonlarının konumlandırılmasında etkili olan kriterler belirlenmiş ve kriterler farklı arazi kullanım türüne göre AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Aynı zamanda, arazi kullanım türüne göre kriter ağırlıklarındaki değişim değerlendirilmiştir. Potansiyel yolcuların, kriterlere ait tesislerden belirli bir erişim mesafesinde bulunan istasyonlarda potansiyel yolcuların gezi üretme eğiliminin belirsizliği, bulanık mantık yaklaşımını kullanarak karakterize edilmiştir. Son olarak İzmir ilinde yer alan bir BPS için ulaşım, rekreasyon ve eğitim amaçlı potansiyel istasyonlar tespit edilmiş ve mevcut istasyonlar ve potansiyel istasyonlar en iyiden en kötüye doğru VIKOR yardımıyla listelenmiştir. Çalışma sonucunda kentsel ulaşım sistemine entegre edilebilecek, rekreasyon faaliyetlerini destekleyebilecek ve eğitim alanlarına kolayca erişilebilek ulaşım, rekreasyon ve eğitim arazi kullanım türleri için 42, 28 ve 48 alternatif istasyon yerleri belirlenmiştir. Ayrıca, arazi kullanımına göre mevcut istasyonlardan 1105

numaralı istasyonun ulaşım, rekreasyon ve eğitim amaçlı gezileri en iyi şekilde destekleyeceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: bisiklet paylaşımı, ÇKKV, AHP, bulanık mantık, CBS, yer seçimi



ABSTRACT

A GIS-BASED HYBRID APPROACH FOR ALTERNATIVE BIKE-SHARING STATION SITE SELECTION BASED ON DIFFERENT LAND USE

Ezgi EREN

M.Sc., Department of Civil Engineering

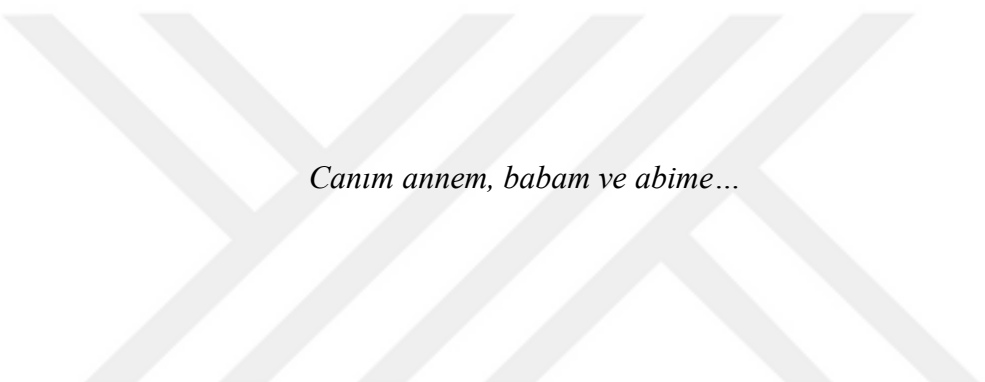
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

June 2020, 98 pages

Bike-Sharing Systems (BSS), which has become increasingly widespread in the last decade, is a shared intelligent transportation system (ITS) technology that aims to support smart mobility. Developing solutions to complex decision problems that will increase the efficiency of BSSs in order to reduce traffic congestion, air pollution, noise pollution and natural resource consumption in cities is important to create a more livable environment in sustainable cities. One of the most important strategic decisions to increase the efficiency of BSS is the process of determining the station locations of the system (site selection). In this study, a scientific framework is presented for determining alternative station locations according to different land use type and evaluating the suitability of existing station locations for a BSS in İzmir. For this purpose, the criteria that are effective in deploying BPS stations have been determined and the criteria have been weighted by using AHP method according to different land use type. Also, the change in the criterion weights according to the land use type was evaluated. The uncertainty of the impact of potential passengers on the criteria of producing trips at the stations within a certain reach from the facilities was characterized by using fuzzy logic approach. Finally, potential stations for transportation, recreation and educational use were identified for BSS in the province of Izmir, and existing stations and potential stations were listed with the help of VIKOR from the best to the worst. As a result of the study, 42, 28 and 48 alternative station locations were determined for transportation, recreation and education land use types, which can be integrated into the urban transportation system, support recreational activities and easily accessible to educational areas. In addition, it was determined that the station number 1105 from the existing stations, according to the land use, is in a position to best support the trips for transportation, recreation and education.

Keywords: bike sharing, MCDM, AHP, fuzzy logic, GIS, site selection





Canım annem, babam ve abime...

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamalarında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve değerli bilgileriyle çalışmalarına ışık tutan tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM'a teşekkürleri bir borç bilirim.

Yardımları ve önerileri ile tez çalışmama oldukça değerli katkılar sağlayan ve hiçbir zaman yardımını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Dr. Ahmet ÇİLEK'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca her an yanımda olan, tüm aşamalarında benimle ilgilenen ve moralimi en üst seviyede tutan değerli çalışma arkadaşım Arş. Gör. Burak Yiğit KATANALP'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirmegemeyen babam Arif EREN'e, annem Semiha EREN'e, abim Murat Kubilay EREN'e ve yengem Zübeyde Çaki EREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca motivasyonumu üst seviyede tutmaya çalışan, her zaman yanımda olan ve sorunlarımı sabırla dinleyen Yüksek İnşaat Mühendisi Mehmet DEMİRTOP'a, Biyolog Vesile DÖNERGÖZ'e ve İnşaat Mühendisi Esmâ AVŞAR'a sevgilerimle...

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Bisiklet paylaşım sistemlerinin akıllı ulaşım sistemleri kapsamındaki yeri ve önemi	1
1.2. Bisiklet paylaşım sistemlerinin tarihi	3
1.3. Çalışmanın amaçları, hedefleri ve literatüre katkıları.....	7
1.4. Araştırmanın çerçevesi.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	14
2.1. Bisiklet paylaşım sistemlerinde istasyon yeri optimizasyonu	14
2.2. Bisiklet paylaşım talebini etkileyen faktörler	19
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
3.1. Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP)	22
3.2. Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje-VIKOR)	26
3.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri	30
3.4. Bulanık Mantık	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Çalışma alanı : Bisim BPS	37
4.2. Kriterlerin ve erişim mesafelerinin tanımlanması	37
4.3. Kriterlerin ağırlıkların belirlenmesi: AHP yöntemi	47
4.4. CBS ve Bulanık Mantık uygulaması.....	50
4.4.1. CBS’de altlıkların oluşturulması ve bulanık erişim mesafesi tayini	51
4.5. AHP-CBS entegrasyonu.....	71
4.6. Farklı arazi kullanımlarına dayalı uygunluk haritalarının elde edilmesi.....	71
4.7. VIKOR uygulaması	79
4.7.1. Alternatif BPS istasyonlarının uygunluğunun değerlendirilmesi.....	79

4.6.2. Mevcut BPS istasyonlarının lokasyonlarının uygunluğunun değerlendirilmesi.....	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	98



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İlk ve son kilometre çözümü.....	3
Şekil 1.2. BPS tarihi gelişim süreci (DeMaio, 2009).....	4
Şekil 1.3. Beyaz Bisikletler.....	5
Şekil 1.4. Araştırmanın çerçevesi	12
Şekil 3.1. CBS platformunda kullanılan verilere örnekler.....	32
Şekil 3.2. Large üyelik fonksiyonu grafiği	34
Şekil 3.3. Small üyelik fonksiyonu grafiği	35
Şekil 3.4. Linear üyelik fonksiyonu grafiği	35
Şekil 4.1. Farklı arazi kullanımlarına dayalı alternatif bisiklet paylaşım istasyonu yer seçimi için kullanılan kriterlerin hiyerarşik yapısı	44
Şekil 4.2. Raylı sistem istasyonları	52
Şekil 4.3. Feribot iskeleleri	53
Şekil 4.4. Karayolları	55
Şekil 4.5. Bisiklet yolları.....	55
Şekil 4.6. Yapımı planlanan bisiklet yolları.....	56
Şekil 4.7. Minibüs hatlarına ait güzergâhlar	57
Şekil 4.8. Otobüs durakları	58
Şekil 4.9. Bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergâhlar	59
Şekil 4.10. Nüfus yoğunluğu.....	60
Şekil 4.11. İş merkezleri	61
Şekil 4.12. Üniversite kampüslerine giriş kapısı.....	62
Şekil 4.13. Hastane binaları	63
Şekil 4.14. Belediye binaları	64
Şekil 4.15. Kaymakamlık binaları.....	64
Şekil 4.16. Parklar.....	65
Şekil 4.17. Manzaralı yollar	66
Şekil 4.18. Müzeler	67
Şekil 4.19. Kültürel mekânlar	68
Şekil 4.20. Eğlence merkezleri	69
Şekil 4.21. Spor merkezleri.....	70
Şekil 4.22. Eğitim.....	71
Şekil 4.23. Arazi kullanım türü ulaşım için uygunluk haritası ve alternatif istasyonlar.....	73
Şekil 4.24. Arazi kullanım türü rekreasyon için uygunluk haritası ve alternatif istasyonlar ...	74
Şekil 4.25. Arazi kullanım türü eğitim için uygunluk haritası ve alternatif istasyonlar	75
Şekil 4.26. Arazi kullanım türü ulaşım için uygunluk haritası ve mevcut istasyonlar	76
Şekil 4.27. Arazi kullanım türü rekreasyon için uygunluk haritası ve mevcut istasyonlar.....	77
Şekil 4.28. Arazi kullanım türü eğitim için uygunluk haritası ve mevcut istasyonlar	78

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Saaty ikili karşılaştırma ölçeği (Wind ve Saaty, 1980)	23
Tablo 3.2. RI değerleri (Saaty, 1980)	25
Tablo 3.3. CBS tarihsel gelişim süreci ve geçmişten günümüze uygulamaları	31
Tablo 4.1. Literatürdeki BPS istasyon yeri seçim çalışmalarında kullanılan kriterlere ve yöntemlere genel bakış.....	39
Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan ana faktörler, ana kriterler ve alt kriterler.....	41
Tablo 4.3. Hiyerarşik yapıda yer alan kriterlerin tanımı, ölçü birimleri, optimum ve kabul edilebilir erişim mesafeleri.....	45
Tablo 4.4. Uzman gruba ait mesleki yetkinlikler	47
Tablo 4.5. Farklı arazi kullanımına göre kriterlere ait belirlenen ağırlıklar	49
Tablo 4.6. İzmir ili 2019 yılına ait nüfus verileri	60
Tablo 4.7. Arazi kullanım türü ulaşım: alternatif istasyonların Q_i göre sıralanması.....	80
Tablo 4.8. Arazi kullanım türü rekreasyon: alternatif istasyonların Q_i göre sıralanması.....	81
Tablo 4.9. Arazi kullanım türü eğitim: alternatif istasyonların Q_i göre sıralanması	82
Tablo 4.10. Arazi kullanım türü göre C1 koşulunun kontrolü	83
Tablo 4.11. Üç arazi kullanım türünü birlikte destekleyen ortak istasyonlar.....	84
Tablo 4.12. Arazi kullanım türü göre C1 koşulunun kontrolü	85
Tablo 4.13. Arazi kullanım türü ulaşım: mevcut istasyonların Q_i göre sıralanması	86
Tablo 4.14. Arazi kullanım türü rekreasyon: mevcut istasyonların Q_i göre sıralanması.....	87
Tablo 4.15. Arazi kullanım türü eğitim: mevcut istasyonların Q_i göre sıralanması.....	88

KISALTMALAR

AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
BPS	: Bisiklet Paylaşım Sistemleri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
VIKOR	: VİseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
TO	: Tutarlılık Oranı
TI	: Tutarlılık İndeksi
RI	: Rassallık İndeksi
C1	: Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu
C2	: Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu

1. GİRİŞ

1.1. Bisiklet paylaşım sistemlerinin akıllı ulaşım sistemleri kapsamındaki yeri ve önemi

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS); ulaşım ağlarının hizmet kalitesinin iyileşmesi, sürdürülebilir bir yapıya sahip olması ve kullanıcı ile yüksek etkileşim içerisinde bulunması için yenilikçi hizmetler sağlamayı, güvenliği ve verimliliği artırmayı amaçlayan teknolojik sistemler bütünüdür (Zhang ve diğ., 2011).

Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren bilgisayar destekli sistemlerin ve bilgi iletim tekniklerinin ulaştırma sistemlerine adapte edilmesi; trafik kontrolü ve yönetimi, toplu taşıma yönetimi, yolcu bilgilendirme sistemleri, acil yardım yönetimi, elektronik ücret toplama sistemleri, akıllı park yönetimi, akıllı ve paylaşılan hareketlilik vb. birçok alanda AUS teknolojilerinin hızla gelişmesini ve dünya genelinde yaygınlaşmasını sağlamıştır (Figueiredo ve diğ., 2001). AUS teknolojilerinin, yolculara gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak seyahatlerde süre ve/veya kilometre optimizasyonu, çok modlu seyahat seçimi ve rotalama, yakıt ve zaman tasarrufu ve hava kalitesini iyileştirme gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Dimitrakopoulos ve Demestichas, 2010). AUS teknolojilerinin sağladığı bu avantajlar göz önünde tutularak; artan nüfus ve araç sahipliği nedeniyle meydana gelen trafik sıkışıklıkları, trafik kazaları, çevre ve gürültü kirliliği, artan yakıt ihtiyacı vb. problemlerin çözülmesi noktasında akıllı şehirlerde sürdürülebilir bir ulaşım için AUS teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının gerekliliği vurgulanmaktadır (Xiong ve diğ., 2012).

AUS teknolojileri, farklı ulaşım modlarına yönelik sürdürülebilirliği hedefleyen akıllı hizmetler sunmakla beraber, kent içi ulaşım sistemlerinde de daha koordineli ve daha entegre bir ulaşım politikası ile kentsel hareketliliği desteklemeyi amaçlamaktadır (Li ve diğ., 2012). AUS teknolojileri ile sürdürülebilir şehirlerde ulaşım; modlar arası entegrasyonun sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan, kalite ve verimliliği hedefleyen, sağlıklı ve yeşil ulaşım alternatifleri ile gerçekleştirilmektedir (Donaghy ve diğ., 2004; Kenworthy, 2006; Litman, 2007). Son yıllarda, akıllı şehirlerde mülkiyet temelli ulaşım alternatifleri yerine ilk ve son kilometre çözümünü destekleyen paylaşımlı yeni mobilite ve akıllı ulaşım modelleri ortaya çıkmıştır. Nesnelerin interneti tabanlı paylaşımlı ulaşım modellerinden biri olan Bisiklet

Paylaşım Sistemleri (BPS), dünya çapında giderek yaygınlaşan bir AUS teknolojisidir (Midgley, 2011; Shaheen ve Finson, 2013).

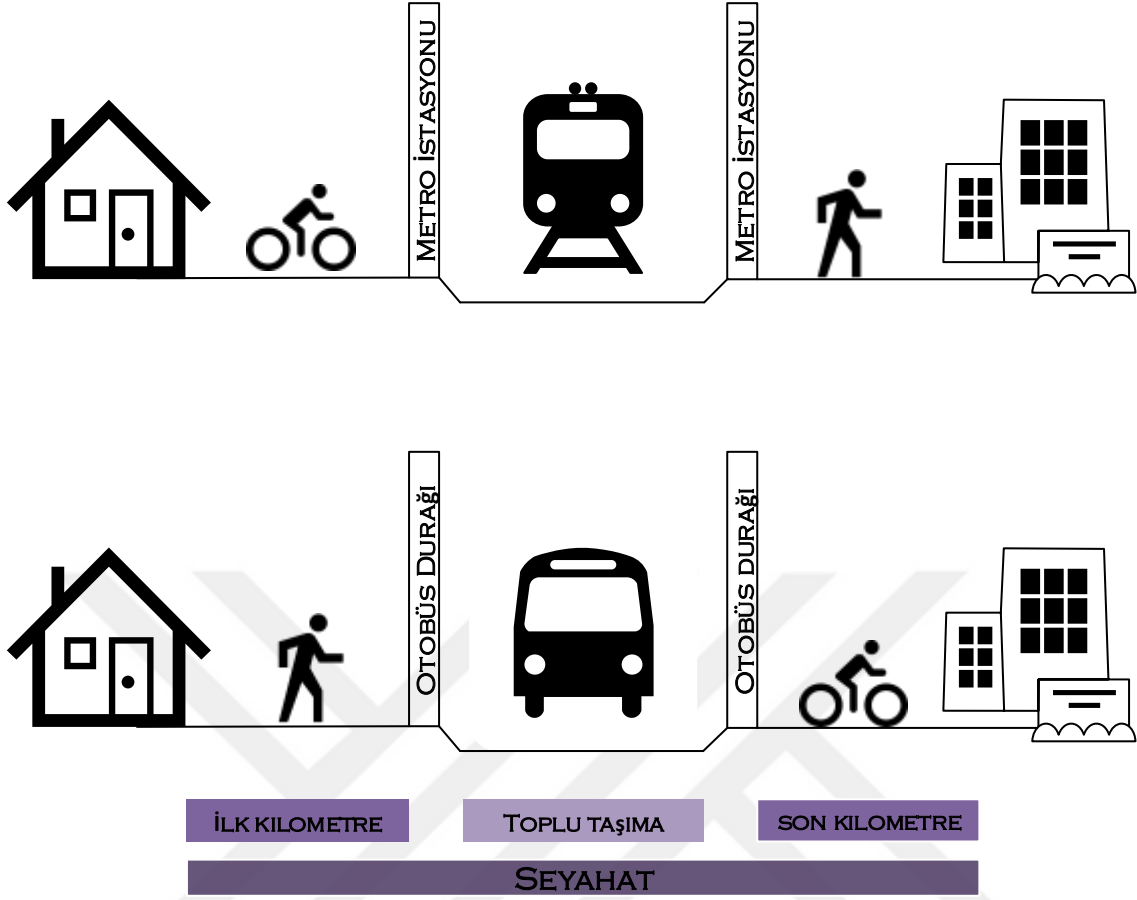
BPS, şehir sakinlerinin kısa süreli veya mesafeli seyahatleri için belirli bir ücret karşılığında bisikletlerin kiralanmasına izin veren akıllı bir bisiklet kiralama sistemidir. BPS'ler, iklim değişikliğinin ve taşıt trafiğinde meydana gelen sıkışıkların önüne geçmeyi, fiziksel aktiviteyi arttırmayı amaçlayan sistemlerdir. BPS ile toplum, daha sağlıklı ve daha çevreci bir ulaşım aracı olan bisikleti kullanabilme imkânına sahip olabilmektedir. Bisiklet, çevre dostu bir motorsuz ulaşım aracıdır ve istenildiği takdirde kolaylıkla erişilebilir, diğer toplu taşıma araçlarıyla entegre olarak çalışabilir (Midgley, 2009)

Daha akıllı, daha temiz ve daha sağlıklı bir ulaşım modeli olan BPS'ler, yalnızca şehir içi ulaşımında bir ulaşım alternatifi olarak değil, aynı zamanda farklı kentsel ulaşım modları arasındaki boşluğu doldurarak toplu taşımanın bir parçası olarakta kullanılabilir (Midgley, 2009, 2011; S. Shaheen ve diğ., 2012). BPS'ler "otomatik bisiklet park istasyonları ağı üzerinden kısa süreli kullanım için bisiklet sağlayan bir toplu taşıma türü" olarak tanımlanabilir (Gleason ve Miskimins, 2012). Ek olarak BPS'ler, ilk ve son kilometre çözümü sayesinde toplu taşıma ağını destekleyici niteliktege sahip bir ulaşım alternatifidir.

İlk ve son kilometre çözümü, transit noktalar arasındaki boşluğu doldurarak bireyleri motorlu taşıt kullanımından daha sağlıklı ve daha çevreci bir ulaşım moduna kaydırmayı ve transit yolcu sayısını arttırmayı hedefler (Shaheen ve Chan, 2016). Daha özel olarak Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi, BPS'ler ile kentlerdeki yolculuklar üç aşamada:

- BPS'den bisiklet kiralama, bisiklete binme ve toplu taşıma ağına ait durağa ulaşma (ilk kilometre çözümü),
- Toplu taşıma ile ulaşmak istenen noktaya en yakın durakta inme,
- BPS'den bisiklet kiralama, bisiklete binme ve ulaşılması istenen nihai noktaya varma (son kilometre çözümü),

gerçekleştirilmektedir.

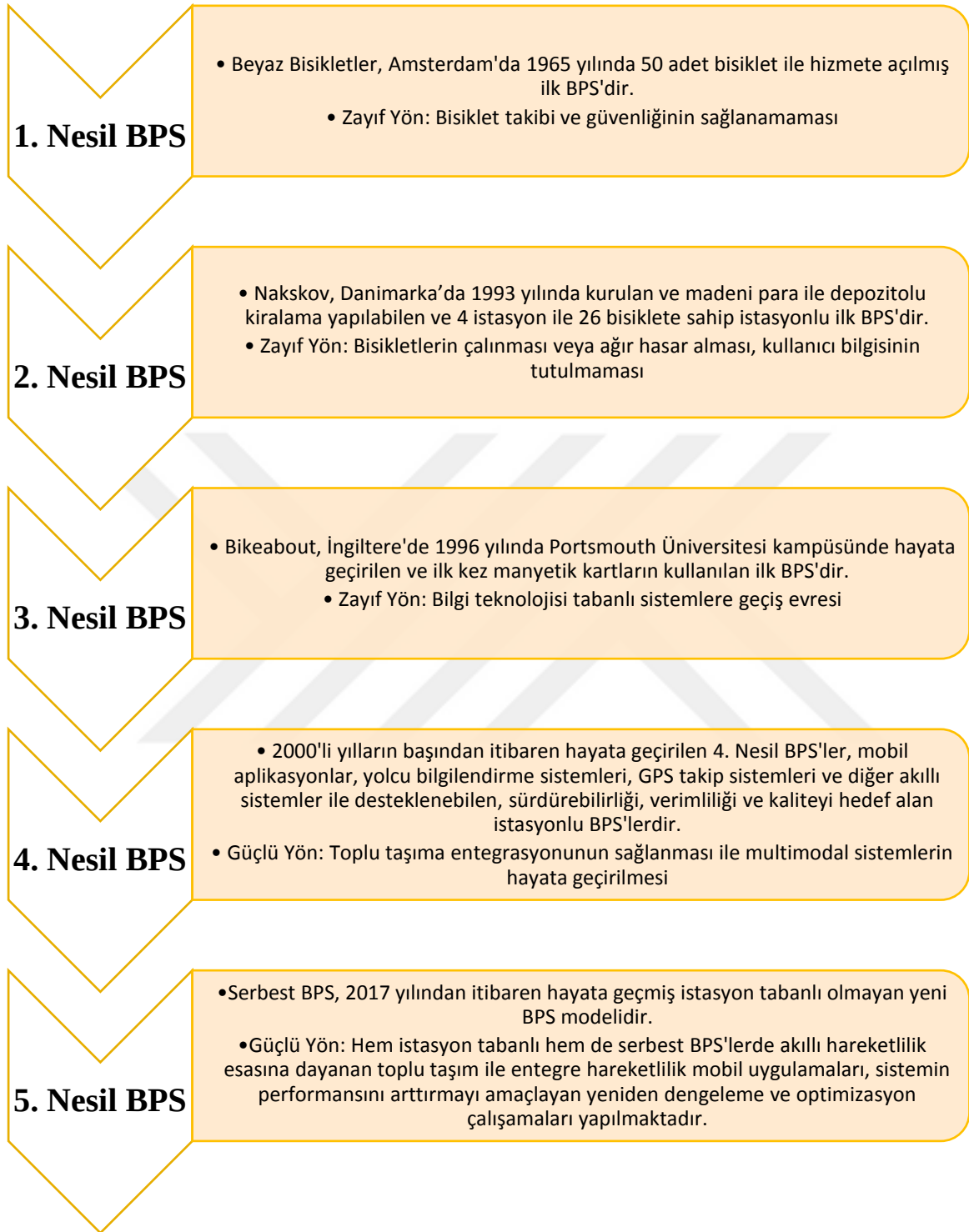


Şekil 1.1. İlk ve son kilometre çözümü

İlk ve son kilometre çözümü, kısa mesafeli seyahatlerin başlangıcında veya tamamlanmasında motorlu araç kullanımı yerini BPS'lerin alması esasına dayanır. Bu tür kısa mesafeli seyahatler, yürümek için uzun veya toplu taşıma kullanımı için kısa sürebilecek yolculukları kapsar. Örneğin, İzmir'de İzban banliyö durağına ulaşmak için kullanılan aktarma merkezleri otobüsleri yerine, toplu taşıma kartı ile BPS'den kiralanan bisikletlerin kullanılması beklenmektedir. Bu tür bir ulaşım modu değişiminin güçlü bir BPS istasyon ağına sahip şehirlerde gerçekleştirilebileceği aşikardır.

1.2. Bisiklet paylaşım sistemlerinin tarihi

İlk olarak 1960'lı yıllarda, çevre bilincinin gelişmesi ve motorlu araç kullanımından bisiklet kullanımına olan ilginin kayması bisiklet paylaşımı kavramını ortaya çıkartmış ve yıllar içerisinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler ile birlikte ilk olarak Avrupa'da ve günümüzde dünyanın birçok ülkesinde BPS'lerin kurulması ve yaygınlaştırılması hız kazanmıştır (Shaheen ve diğ., 2010). Şekil 1.2.'de BPS'lere ait tarihi gelişim süreci sunulmuştur.



Şekil 1.2. BPS tarihi gelişim süreci (DeMaio, 2009)

Birinci nesil bisiklet paylaşım sistemi olan Beyaz Bisikletler (Witte Fietsenplan), ilk olarak Amsterdam’da artan araç sayısı ile beraberinde gelen trafik sıkışıklığı, çevre kirliliği ve artan tüketicinin önüne geçmek ve şehri daha yaşanılabilir hale getirmek için Provo adındaki bir topluluğun 1965 yılında gerçekleştirdikleri bir farkındalık yaratma girişimidir (Pas, 2008). Bu amaçla, şehirdeki 50 adet bisikletin sade ve temiz bir renge yani beyaza boyanması ve halkın kullanımına ücretsiz olarak sunulması ile “Beyaz Bisikletler”, tarihteki ilk kentsel bisiklet paylaşım konsepti olma özelliğindedir (Şekil 1.3.). Fakat, bisikletlerin hasar görmesi, kanalizasyon kanallarına atılması ve çalınması nedeniyle sistem kısa sürede sona ermiştir. Birinci nesil bisiklet paylaşım sistemlerinde bisiklet takibinin bulunmaması ve bisiklet güvenliğinin sağlanamaması sistemin sürdürülebilirliğini engellemiştir (Shaheen ve Guzman, 2011).



Şekil 1.3. Beyaz Bisikletler

İkinci nesil bisiklet paylaşım sistemi olan “Bycyklen”, Kopenhagen’da 1995 yılında kurulan ve madeni para ile depozitolu kiralama yapılabilen, istasyonlu ilk BPS olma özelliğini taşıyan sistemdir. Kamu ve özel şirketin ortaklığı ile hayata geçirilen bu sistem, içerisinde 1100 adet bisiklet barındırmaktadır. Fakat birinci nesil BPS’de olduğu gibi kiralama yapan kullanıcıların sisteme kayıtlı olmaması ve bisikletlerin hasar almasının veya çalınmasının önüne geçilememesinden dolayı sistem kısa sürede sona ermiştir (Shaheen ve Guzman, 2011). Bu temel problemler, zaman içerisinde gelişen teknoloji ile üçüncü nesil bisiklet paylaşım sistemlerinde kiokslar, bisiklet kilitleri, telekomünikasyon sistemleri, cep telefonu erişimi ve akıllı kartlar ile çözüme kavuşturulmuştur.

Üçüncü nesil bisiklet paylaşım sistemlerinin ilk örneği olan “Bikeabout”, 1996 yılında İngiltere’nin Portsmouth Üniversitesi’nde hayata geçirilen istasyon tabanlı bir BPS’dir. Sistemin kuruluş amacı, manyetik kartlar ile potansiyel yolcuların bisikletleri kiralaması ve üniversite kampüsü içerisindeki ulaşımın bisiklet ile sağlanmasıdır (DeMaio, 2009). Ayrıca XXI. yüzyılın ilk on yılında içerisinde akıllı kartlar barındıran Lyon’daki “Velo’v” ve Münih’de “Call a Bike” gibi üçüncü nesil BPS’lerin sayısı Hollanda, Almanya, Avusturya, Belçika, İtalya, Çin, ABD, Avustralya gibi birçok ülkede dramatik bir şekilde artmıştır. Üçüncü nesil BPS’ler, içerisinde kullanıcı bilgilerini, bisikleti kiralama günü/saati/dakikası ve seyahat süresini, kiralama ve bırakma istasyon numarasını barındıran ve sisteme ait tüm verileri kaydedebilen bilgi teknolojisi tabanlı sistemlerdir (Shaheen ve Guzman, 2011).

Dördüncü nesil BPS’ler, dünya çapında son on yılda giderek yaygınlaşan içerisinde mobil uygulamalar, yolcu bilgilendirme sistemleri, GPS takip sistemleri ve akıllı sistemler ile desteklenen, sürdürülebilirliği, verimliliği ve kaliteyi hedef alan sistemlerdir (Shaheen ve diğ., 2013). Bu sistemler esas olarak; BPS’lerin bir ulaşım modu olarak kısa mesafeli seyahatlerde kullanılmasını ve farklı ulaşım modları arasında entegrasyonu sağlayarak multimodal ulaşımı desteklemeyi amaçlayan teknolojik sistemlerdir. Bu amaçla özellikle toplu taşıma kartlarının bisiklet kiralamalarında geçerli olması ve kiralama işlemlerinin kolaylaştırılması, sisteme üye olma işlemlerinin basitleştirilmesi, mobil uygulamalar aracılığı ile boş park yeri ve/veya kiralanabilecek bisiklet sayısının online olarak yolcular ile paylaşılması gibi sisteme olan kullanıcı talebini artırıcı yenilikler, dördüncü nesil bisiklet paylaşım sistemlerinin bir ulaşım modu olarak toplum tarafından benimsenmesini sağlamıştır. Ayrıca istasyon tabanlı dördüncü nesil BPS’lerde istasyon ağının enerji ihtiyacı güneş panelleri ile sağlanabilmektedir.

Beşinci nesil BPS’ler, kent içerisinde akıllı hareketliliği desteklemeyi amaçlayan farklı ulaşım modları ile entegre çalışarak kent içerisinde toplu taşıma ile bütüncül bir ağına sahip olmasını ve kısa süreli/mesafeli seyahatlerde bisikletin bir ulaşım modu olarak kullanılmasını sağlamak için geliştirilen, tüm ulaşım modlarının kombinasyonunu mobil uygulamalarında sunan akıllı sistemlerdir. Dördüncü nesil BPS’lerin sahip olduğu avantajlara ek olarak, bu sistemlerin oluşturulması ve/veya yapılandırılması sürecinde; istasyon yeri optimizasyon çalışmaları, yeniden dengeleme problemlerinin çözümü için algoritmaların geliştirilmesi, talep tahminleri ve optimizasyon çalışmaları, sistem performansının artırılması için teşvik edici veya caydırıcı

politikaların geliştirilmesi ve karın arttırılmasına yönelik iş modellerinin geliştirilmesi yer almaktadır (Si ve diğ., 2019).

Mevcut durumda, BPS'lerin serbest ve istasyon tabanlı olmak üzere iki bisiklet paylaşım modu vardır. Serbest BPS'ler yani istasyonsuz BPS'ler dünya çapında ve özellikle de Çin'de yaygınlaşmaktadır (Eren ve Uz, 2019). Serbest BPS'lerde, bisiklet üzerinde yer alan kilitleme/bırakma sistemine cep telefonuna gelen QR kodun okunması sağlanarak kolaylıkla kiralama ve bırakma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Serbest BPS'lerin istasyon tabanlı sistemlere kıyasla en önemli avantajları; özellikle istasyon kurulum maliyetini ortadan kaldırması ve bisikletleri alma/bırakma faaliyetlerinde herhangi bir istasyona bağlı kalınmasının önüne geçerek kullanıcılara daha esnek bir ulaşım sağlamasıdır. Fakat serbest BPS'ler yeni bir bisiklet paylaşım modeli olduğundan bisiklet hırsızlığı, vandalizm, bisiklet izleme eksikliği gibi bazı problemlere sahiptir. Örneğin, 2017 yılında ABD'deki paylaşılan bisikletlerin %44'ü serbest bisiklet paylaşım sistemlerine ait olmasına rağmen, seyahatlerin % 96'sı istasyon bazlı BPS'lere ait bisikletler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Guide, 2011).

1.3. Çalışmanın amaçları, hedefleri ve literatüre katkıları

İstasyon tabanlı BPS'lerin planlama veya yapılandırma sürecinde; optimum istasyon yeri tespiti, yeni istasyonların eklenmesi ve çıkarılması veya istasyon kapasitesinin artırılması ve azaltılması gibi karar süreçleri literatürde yer alan araştırma konularındandır (Cetinkaya, 2017; Chen ve diğ., 2015). BPS'lerin başarısı için sistemlerin planlanması ve yapılandırılmasındaki en önemli stratejik problemlerden biri, istasyonlarda oluşabilecek seyahat taleplerini etkileyebilecek mekânsal bilgileri (yapılı çevre, ulaşım altyapısı, doğal çevre vb.) dikkate alarak optimum istasyon yerlerini belirlemektir (Kabak ve diğ., 2018). Optimum istasyon yeri karar verme süreçlerinde, bisiklet paylaşımını etkileyen mekânsal bilgiler coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak birleştirilebilmektedir (Aultman-Hall ve diğ., 1997). Bununla birlikte, başarılı bir BPS istasyon ağı kurmak için metro istasyonları ve otobüs durakları gibi kent içi ulaşım altyapı özelliklerinin yanı sıra üniversiteler, spor ve alışveriş merkezleri gibi yapılı çevre özelliklerini de dikkate almak gerekmektedir (García-Palomares ve diğ., 2012).

Literatürde, BPS istasyon yeri seçimi için CBS tabanlı birçok istatistiksel yöntem ve karar verme teknikleri bulunmaktadır. Literatürdeki metodolojilerin çoğu uzamsal olarak dağıtılmış

verilerin yönetilmesine yardımcı olmak amacıyla CBS'yi bir araç olarak kullanmış, ardından BPS ağına ait en uygun istasyon yerine karar vermek amacıyla birden fazla uzamsal ve uzamsal olmayan veriyi anlamlı bir bilgiye dönüştüren CBS tabanlı çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden yararlanmıştır (Unal ve diğ., 2019).

Bu çalışmada, istasyon yeri optimizasyonu kapsamındaki mekânsal analizlerde uzamsal referanslı verilerin CBS aracılığı işlenmesi ile uzamsal veriler ile değerlendirme kriterleri arasında güçlü bir entegrasyon sağlanmış ve CBS tabanlı ÇKKV tekniklerinin kullanımı ile alternatif istasyon yeri tespiti için bir karar verme mekanizması geliştirilmiştir. Ek olarak, istasyon kullanımını etkileyebilecek yapısal çevre, ulaşım altyapısı ve doğal çevre faktörlerinin içerdiği birden fazla kriterin çelişen ve/veya çakışan hedeflerini değerlendirerek BPS ağına ait istasyonların konumlarının belirlenmesi, bu sorunun ÇKKV problemi olarak tanımlanmasını sağlamıştır. BPS'lerde istasyon yeri optimizasyon çalışmalarındaki yeni sistemlerin oluşturulması ve/veya mevcut sistemin yeniden yapılandırılması işlemleri karmaşık ve kompleks karar süreçlerini içermektedir.

İstasyon tabanlı BPS'lerin başarısı; kullanıcı taleplerini en üst seviyeye çıkarabilecek ve toplu taşımayı destekleyecek veya yerini alabilecek sistemler oluşturmaya dayanmaktadır. Başarılı bir istasyon ağının oluşturulması noktasında, Shu ve diğ. (2019) tarafından farklı arazi kullanım türlerinin ve arazi kullanım türlerinin kullanım yoğunluğunun yolcuların istasyon seçim davranışlarını etkileyebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, Faghih-Imani ve diğ. (2017) göre farklı arazi kullanım türleri üzerine konuşlandırılmış istasyonlarda farklı seyahat talepleri gözlemlenmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada kent içi arazi kullanım türü üç sınıfa ayrılmıştır:

1) Ulaşım: Kent içi ulaşım ağlarına (metro istasyonu, otobüs durağı, tramvay durağı vb.) yakın konuşlandırılmış istasyonlar;

- Yıl boyunca sisteme ait talebin maksimizasyonunu,
- Toplu taşıma modları arasındaki boşluğu doldurarak transit yolcu sayının artırılmasını,
- Kentsel hareketlilikte ilk ve son kilometre sorununun çözülmesini,
- Daha temiz ve daha sağlıklı bir ulaşım alternatifi olan bisikletin kısa mesafeli yolculuklarda kullanılmasını ve toplu taşıma üzerindeki yükün azaltılmasını, sağlayacaktır.

2) Rekreasyon: Bisiklet yalnızca ulaşım amaçlı değil, kentlilerin boş vakitlerinde eğlence amaçlı kullanabileceği bir araçtır. Bu nedenle, tarihi/turistik, eğlence ve rekreasyon alanlarına yakın konuşlandırılmış istasyonlarda yüksek gezi üretimi ve çekimi gözlenmektedir. Bu tür cazibe merkezlerine ulaşımın BPS istasyon ağı ile kolaylaşması, hem bisiklet kullanımının yaygınlaşmasını hem de sisteme ait talebin artmasını sağlamaktadır.

3) Eğitim (üniversiteye ulaşım) : Genç ve eğitim düzeyi yüksek kentli bireyler, bisiklet kullanımına eğilimlidir. Bisiklet kullanımının çevresel, sosyal ve ekonomik katkıların varlığı, ulaşımında bilinçli bireyleri motorlu araç kullanımından BPS kullanımına yönetebileceği düşünülmektedir. Sistemin 18 yaş ve üzeri bireyler tarafından kullanılabilir olması nedeniyle, bu çalışmada “eğitim alanlarına ulaşım” kapsamında yalnızca üniversite bölgeleri değerlendirilmiştir.

Farklı arazi kullanım türüne göre üç gruba ayrılmış istasyonlarda; yıla, aya, güne ve saate göre farklı talep desenleri gözlenmesi mümkündür. Örneğin; şehir içi ulaşım ağına yakın konuşlandırılmış BPS istasyonlarında yıl boyunca hafta içi pik saatlerde yüksek talep gözlenirken, rekreasyon alanlarına yakın konuşlandırılmış istasyonlarda hafta sonu güneşli günlerde yüksek talep gözlenmektedir (El-Assi ve diğ., 2017; Eren ve Uz, 2019; Kim, 2018; Mahmoud ve diğ., 2015). Farklı arazi kullanım türüne göre, yolcuların istasyonlara erişim mesafeleri de birbirinden farklıdır (Shu ve diğ., 2019). Farklı arazi kullanım türüne göre istasyonların ulaşım ağlarına, rekreasyon alanlarına ve üniversite kampüslerine uygun mesafelerde konumlandırılması sistem talebinin maksimizasyonu noktasında önem arz etmektedir.

Bu çalışmasının amaçları arasında;

- Farklı arazi kullanım türlerine göre alternatif istasyon yer seçimi problemi için CBS tabanlı AHP, bulanık mantık ve VIKOR yöntemlerini içeren hibrit bir yaklaşım sunmak,
- Farklı arazi kullanım türlerine göre yapısal çevre, ulaşım ağı ve doğal çevre kriterlerini AHP yöntemi ile ağırlıklandırmak,

- Farklı arazi kullanımı üzerindeki tesislere ait optimum ve kabul edilebilir bir mesafe içerisindeki istasyonlarda, kullanıcının gezi üretme eğilimindeki belirsizliği bulanık bir metodoloji kullanarak karakterize etmek,
- Farklı arazi kullanım türlerine göre ağırlıklandırılmış kriterler ile CBS tabanlı ÇKKV yöntemlerini kullanmak,
- Önerilen yaklaşımın performansını göstermek için farklı arazi kullanım türlerine göre mevcut ve alternatif istasyon konumlarını sıralamak,

Bu çalışmasının hedefleri arasında;

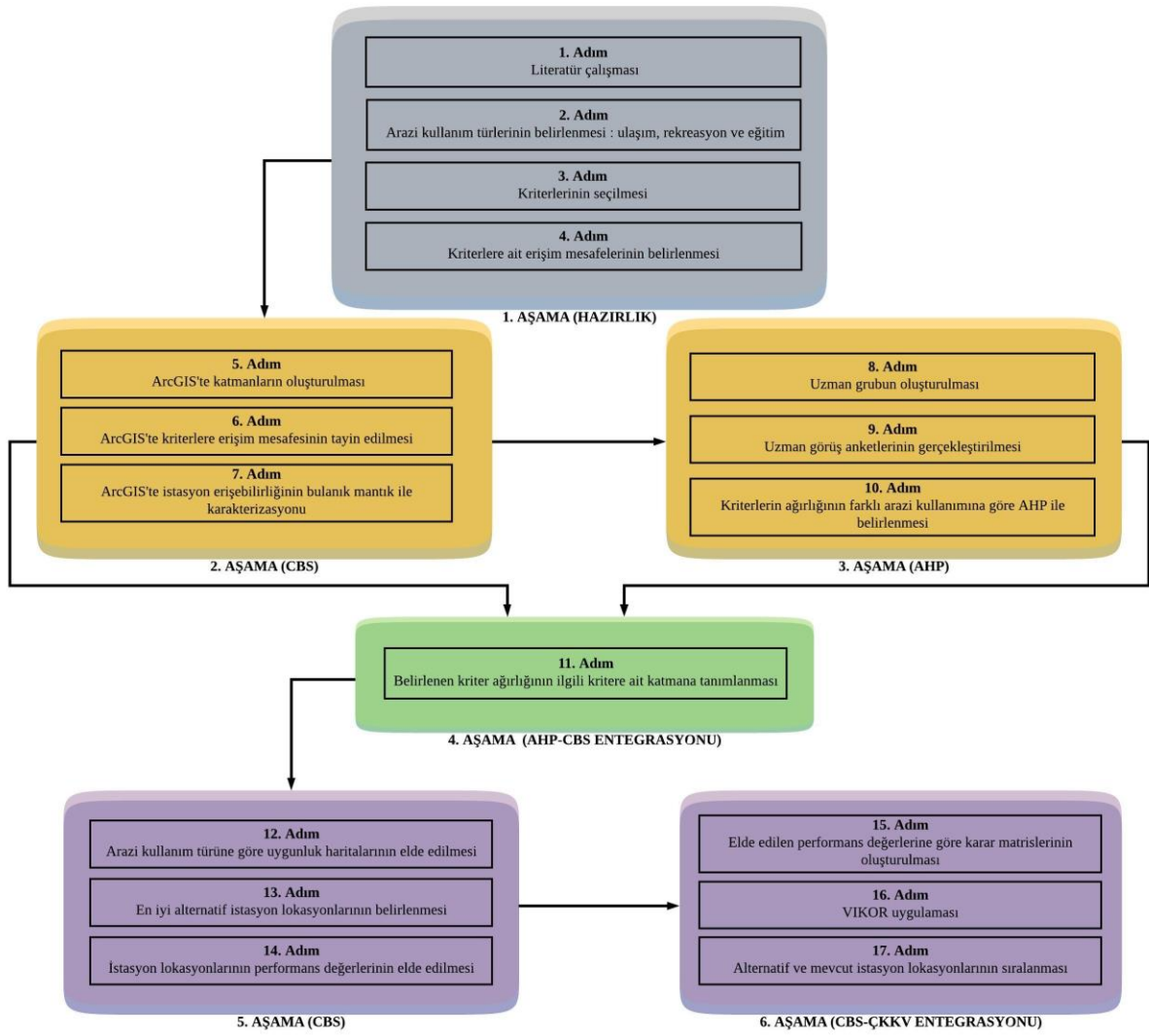
- BPS ağının genişletilmesi veya yapılandırılması aşamalarında farklı arazi kullanımları için uygunluk haritasına dayalı politika önerileri sunmak,
- BPS sistemdeki mevcut istasyonların konumlarının kullanıma uygunluğunu belirlemek,
- BPS'e ait talebin maksimizasyonunun sağlanması noktasında istasyon seviyesindeki kritik öneme sahip faktörlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak,
- Toplu taşıma sistemine entegre çalışabilecek BPS ağının oluşturulmasına katkı sağlamak,
- Eğitim ve rekreasyon amaçlı seyahatlerde bisiklet kullanımının yaygınlaştırılmasına katkı sağlamak,
- Bisikletin toplum tarafından bir ulaşım aracı olarak kabul edilebilirliğini kolaylaştırmak,

yer almaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkıları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Farklı arazi kullanım türlerine (ulaşım, rekreasyon, eğitim) göre; gezi üretimi için eğilim gösterilen erişim mesafelerini ve kriter ağırlıklarını dikkate alarak alternatif BPS istasyonu yer tespiti yapan yeni ve kapsamlı bir çalışmadır.
- Literatürde BPS'lerdeki alternatif istasyon yer seçim problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalar, en yakın istasyona olan mesafe ile yolculuk yapma kararı arasındaki karmaşık ilişki göz adı edilerek, sabit bir istasyon erişim mesafesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada; BPS istasyonlarının konuşlandırıldığı arazi kullanım türüne göre, her bir tesisin BPS istasyonuna optimum ve kabul edilebilir erişim mesafesi bulanık bir metodoloji ile kavramsallaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan bulanık metodoloji, potansiyel yolcuların mevcut konumları ile bu konuma en yakın BPS istasyonu arasındaki mesafenin yolcuların sistemi kullanma eğilimlerine etkisini, yani yolcuların ilgili istasyonda seyahat üretme kararlarını karakterize eden belirsizliği yansıtmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma özellikle BPS'lerde alternatif istasyon yer seçimi karar problemlerinde literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.
- Çok kriterli karar verme için CBS tabanlı AHP, bulanık mantık ve VIKOR yöntemlerini içeren hibrit bir yaklaşım önerilmiştir.
- BPS istasyonu yer tespitinde etkili olduğu belirlenen 21 adet kriter, AHP yöntemi ile arazi kullanım türüne göre ağırlıklandırılmıştır. Arazi kullanım türüne göre optimum istasyon yerlerinin belirlenmesi için kriterlere ait katmanlara AHP yöntemi ile belirlenen ağırlıklar tanımlanarak CBS ve AHP yönteminin entegrasyonu sağlanmıştır.
- Önerilen yaklaşımın performansını değerlendirmek amacıyla mevcut ve potansiyel BPS istasyonları, belirlenen kriterlere göre en iyiden en kötüye doğru VIKOR yöntemi ile sıralanmıştır.

1.4. Araştırmanın çerçevesi

Farklı arazi kullanımı üzerinde konuşlandırılacak BPS istasyonlarının optimum konumlarının belirlenmesi üzerine yapılan araştırmanın çerçevesi Şekil 1.4.'de sunulmuştur.



Şekil 1.4. Araştırmanın çerçevesi

Daha spesifik olarak yapılan araştırmanın metodolojisi aşağıdaki gibi 6 aşama içermektedir:

- 1. Aşama (Hazırlık):** Literatür çalışması ile BPS istasyon yeri seçimi üzerinde etkili olan kriterlerin ve kriterlere ait erişim mesafelerinin belirlenmesi,
- 2. Aşama (CBS):** Belirlenen her bir kriter için ArcGIS'te katmanların oluşturulması, kriterlere ait erişim mesafelerinin tanımlanması, optimum ve kabul edilebilir erişim mesafesi içerisinde tesislerden en yakın istasyona erişebilirliğin bulanıklaştırılarak karakterize edilmesi,
- 3. Aşama (AHP):** Farklı arazi kullanım türüne göre kriter ağırlıklarının uzman görüşü ile AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi,

4. **Aşama (AHP-CBS Entegrasyonu):** Erişim mesafesi bulanıklaştırılmış kriterlere ait katmanlara kriterler ağırlıklarının tanımlanarak AHP-CBS entegrasyonunun sağlanması,
5. **Aşama (CBS):** Farklı arazi kullanımlarına göre toplamda üç adet uygunluk haritasının oluşturulması,
6. **Aşama (CBS-ÇKKV Entegrasyonu):** Arazi kullanım türüne göre, hem alternatif hem de mevcut istasyonların CBS analizleri sonucunda elde edilen performans değerlerinden karar matrislerinin oluşturulması, farklı arazi kullanımlarına göre belirlenen optimum konumları değerlendirmek ve karşılaştırmalı analiz yapmak amacıyla ÇKKV yöntemlerinin uygulanması: VIKOR yönteminin kullanılması

Bu araştırma, BPS istasyonlarının farklı arazi kullanımı üzerine konuşlandırılmasında etkili olan kriterleri ve arazi kullanım türüne göre kriter ağırlıklarındaki değişimi değerlendirmeyi, kriterlere ait tesislerden belirli bir erişim mesafesinde bulunan istasyonlarda potansiyel yolcuların gezi üretme eğiliminin belirsizliğini karakterize etmeyi, CBS tabanlı çok kriterli analizin nihai değerlendirme sonucuna dayanarak; BPS'lerin ulaşım, rekreasyon ve eğitim amaçlı kullanılmasına yönelik belirlenen mevcut ve potansiyel istasyon lokasyonlarının en iyiden en kötüye sıralamasını bulmayı amaçlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Bisiklet paylaşım sistemlerinde istasyon yeri optimizasyonu

Jahanshahi ve diğ. (2019), Mashhad BPS'sine ait istasyonların mevcut konumlarını araştırmak ve alternatif istasyon konumları belirlemek amacıyla CBS tabanlı ÇKKV modeli geliştirmiştir. “Diğer istasyonlara yakınlık - 300 m” kriterini de içeren toplamda yedi adet kriteri (bisiklet yolu, metro istasyonu, eğlence merkezleri, endüstri-ticari alanlar, kamu kurumları, nüfus yoğunluğu, topoğrafya) bulanık üyelik fonksiyonları kullanarak özellikler atamış ve AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Aynı zamanda, 128 adet mevcut BPS istasyonunu VIKOR yöntemi ile sıralanmıştır. Jenks doğal sınıflandırma yöntemiyle 128 adet istasyonun kullanımının tatmin ediciliği de belirlenmiştir. Ek olarak, Mashhad BPS'i için 22 adet optimum alternatif istasyon yeri de tespit edilmiştir.

Zhang ve diğ. (2019), Chicago'da bulunan Divvy BPS'sine için en uygun istasyon yer seçimi problemi için bisiklet paylaşım talebini etkileyen ulaşım, yapılı çevre ve sosyo-ekonomik özellikler ile ilgili bağımsız değişkenler tanımlamıştır. En iyi istasyon yeri seçimi için oluşturdukları doğrudan talep modellerinde; ArcGIS ile 200 m ile 800 m içerisinde 100 m aralıklarla farklı istasyon etki yarıçapları ayrı ayrı oluşturulmuştur. İstasyon etki yarıçapına göre; bağımsız değişkenlerin Temmuz 2014'te Divvy istasyonlarında meydana gelen tüm talebe etkisini değerlendirmişlerdir. Doğrudan talep modellerinin sonuçları, farklı istasyon etki yarıçapına göre belirlenmiş optimum istasyon alanları arasında bir farklılık olmadığını göstermektedir.

Conrow ve diğ. (2018), BPS istasyonlarının yüksek yoğunluklu ve varlıklı hane halkına sahip bölgelerde yoğunlaşması nedeniyle sisteme ait istasyon ağının daha adaletli bir dağılıma sahip olmasını amaçlanmıştır. Çalışmalarında, Arizona'nın düşük gelirli bölgeleri göz önüne alınarak oluşturulan CBS tabanlı kapsama optimizasyon modelinde farklı erişim mesafeleri; bisiklet yoluna 0.5 mil, otobüs durağına 0.25 mil, düşük-orta gelir bölgesine 0.5 mil, nüfus yoğunluğuna 0.5 mil tanımlanmıştır. Sonuç olarak, sistem için optimum istasyon konumlarını CBS tabanlı bir kapsama modeli ile belirlemişlerdir.

Kabak ve diğ. (2018), İzmir'deki bir BPS'e ait dokuz istasyonun mevcut durumlarını değerlendirmek ve alternatif istasyon yerleri sunmak için ÇKKV yöntemleri ile CBS'yi birleştiren bir model önermişlerdir. Çalışmalarında, toplu taşıma sistemi kriterlerini de içeren toplam on iki adet kriter (banliyö durağı, bisiklet yolu, feribot iskelesi, tramvay ağı, alışveriş merkezi, deniz kenarı yollar, kamu kurumları, nüfus yoğunluğu, rekreasyon alanları, spor merkezleri, tarihi-turistik alanlar), uzman görüşü ve literatür ışığında AHP kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılmış kriter haritaları CBS kullanılarak birleştirilmiş ve on adet alternatif istasyon yeri belirlenmiştir. Ayrıca, mevcut ve potansiyel alternatifleri değerlendirmek için oran analizi ile çok amaçlı optimizasyon metodu kullanılmıştır.

Deveci ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada, araba paylaşım sistemine ait alternatif istasyon yeri seçimi problemi için tipi-2 bulanık ÇKKV modeli geliştirmişlerdir. Beş adet ana kriter ve dokuz adet alt kriterle göre belirlenen dört adet potansiyel araç paylaşım istasyon lokasyonlarını değerlendirmek ve en iyi alternatifi seçmek üzere WASPAS ve TOPSİS tabanlı yöntem önermişlerdir. Belirlenen dokuz adet alt kriter; toplu taşıma istasyonlarına ve duraklarına yakınlığı, yatırım maliyetleri, araç kullanım yoğunluğu gibi birçok kriteri içerisinde barındırmaktadır. Çok kriterli karmaşık problemlerinin çözümü için önerilen yöntemin performansını değerlendirmek amacıyla İstanbul'da yer alan mevcut araba paylaşım sistemine ait veriler kullanılmıştır.

Park ve Sohn (2017), kentlerdeki kısa seyahatlerin otomobil yerine BPS bisikletleri kullanılarak gerçekleştirilmesi için bisiklet kullanım düzenine benzeyen taksi yörüngesi verisi dikkate alınarak minimum empedans-maksimum kapsama alanı modeliyle Kore'de bisiklet paylaşım istasyonu olmayan ve yoğun trafik sıklığı çeken Gangnam-gu kenti için optimum istasyon yer tespiti yapılmıştır. Modelde, metro istasyonlarında ve alışveriş merkezlerinde 100 m, konutlarda 200 m ve parklarda 300 m yarıçapında potansiyel talep bölgeleri oluşturulmuştur.

Wuerzer ve Mason (2016), ABD'de yeni kurulacak bir BPS istasyonlarına konumların belirlenmesinde CBS tabanlı bir perakende yerçekimi modellerinin uygulanabilirliğini incelemiştir. Model oluşturulurken endüstri-ticari alanlara 800 m yarıçap içerisinde potansiyel talep bölgesi tanımlanırken aynı zamanda hastaneler, kamu kurumları, müzeler, restoranlar, sinemalar ve yeşil alanlar da dikkate alınmıştır. Bu çalışmada, araştırmacılar Huff modelinin

pazar potansiyellerini daha fazla analiz edebilmesi nedeniyle Reilly modeline göre daha üstün bir performans gösterdiğini vurgulamıştır.

Lopez Gonzalez (2016), Kalamazoo şehri için bir BPS geliştirmek amacıyla en iyi istasyon yerlerini, CBS tabanlı kapsama alanını maksimize eden ve tesis sayısını en aza indirgeyen konum tahsis modellerini kullanarak belirlemiştir. Oluşturulan modelin ana kısıtı 400 m'lik bir yürüyüş alanı içerisinde istasyonların yerleştirilmesidir. Ayrıca geliştirilen modelde aktarma merkezleri, bisiklet yolu, nüfus ve işçi yoğunluğu, kamu kurumları, topoğrafya vb. kriterler de yer almaktadır.

Frade ve Ribeiro (2015), bütçe kısıtlamaları altında alternatif bisiklet istasyonlarının optimum konumunu, bisiklet filosunun büyüklüğünü, istasyonların kapasitesini belirlemek amacıyla bir maksimum kapsama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, Portekiz'de bulunan Coimbra kenti, herhangi iki nokta arasında yürümeyi izin verecek kadar küçük veya maksimum 500 m olacak şekilde 29'u kentsel alanı kapsayan 61 trafik zonuna ayrılmıştır. Çalışma, her bir bölge için bölge başına düşen istasyon sayısını, istasyon kapasitesini ve kapsanan gezi sayısını bütçeye göre dört senaryo geliştirilerek belirlemektedir. Fakat diğer araştırmalardan farklı olarak bu çalışmada, istasyon konumlarının kesin yerleri tanımlanmamış ve toplu taşıma hizmetleri ile sistemde meydana gelebilecek talep artışlarının etkisi göz ardı edilmiştir.

Liu ve diğ. (2015), BPS istasyon ağında dengeli bir toplama ve bırakma faaliyetlerinin gerçekleşebilmesi için bir bisiklet paylaşım ağı optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Yapılan çalışmada, Voronoi tabanlı bir ızgara yöntemi kullanarak istasyonlar servis alanlarına ayrılmış, ilgi noktaları (alışveriş merkezleri, eğlence merkezleri, idari alanlar, restoranlar) ve ulaşım ağı ile ilgili özellikler (BPS istasyonundan en yakın otopark ve metro durağı yürüme mesafesi, daha hızlı bisiklet yolu sayısı, taksi alma yoğunluğu) talep ve denge tahmin modellerini geliştirmek için dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, BPS istasyonu ile en yakın otoparka veya metro durağına yürüme mesafesinin artmasının bisiklet paylaşımına olan talebi olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Deng ve diğ. (2015) çalışmalarında, BPS istasyonlarında meydana gelen talebin düşük olmasının nedenini, sisteme ait istasyon ağının dağılımının düzensizliğinden kaynaklandığını savunmaktadırlar. Yaptıkları çalışmada, istasyon kullanımından maksimum verim elde

edilmesi amacıyla potansiyel istasyonların konuşlandırılabilir azai kullanım tipi ticari alanlar, yerleşim bölgeleri ve rekreasyon alanları şeklinde literatürden yararlanılarak üçe ayrılmıştır. Çalışmada yer alan karar kriterleri; araç memnuniyeti (model, tipi vb.), seyahat talep derecesi, seyahat güvenliği (yol tipi, ayrılmış şeritler) , arazi durumu (topoğrafya vb.), tanıtım derecesi, diğer ulaşım modları (otobüs, metro vb.) şeklinde tanımlanmıştır. Wuhan BPS'sine ait istasyonlarında gerçekleşen gezi üretimlerinin arttırılması için belirlenen karar kriterleri; AHP yöntemi kullanılarak arazi kullanım tipine göre ağırlıklandırılmış ve verimliliği arttırıcı arazi kullanım türü sıralaması elde edilmiştir. ÇKKV analizi sonucuna göre; yerleşim bölgeleri, ticari alanlar ve rekreasyon alanları şeklinde önem sırası elde edilmiştir. Sonuç olarak, istasyonlarda meydana gelecek kullanımın arttırılması noktasında öncelik olarak yoğun yerleşim alanlarına yakın noktalara istasyonların konuşlandırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Rossi Croci ve Rossi (2014), rasgele efektli doğrusal panel veri modellerini kullanarak hangi çekici faktörlerin yakınlığının ve görünürlüğünün Milano'daki BikeMi BPS istasyonlarının kullanımını etkilediğini belirlemişlerdir. Çalışmalarında, CBS kullanılarak istasyon konumları ve çekicilerin konumlarına ilişkin veriler 100 m uzaklık içerisinde değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçları, metro ve tren istasyonlarının istasyon kullanımını artırırken, tramvay ve otobüs duraklarının etkilemediğini, ancak görünürlük açısından tramvay, otobüs ve metro istasyonlarının olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Ghandehari ve diğ. (2013) çalışmalarında, İran şehrinde şehir içi ulaşımında kiralık bisiklet kullanımının desteklenebilmesi için istasyon konumunun önemini vurgulamış ve en iyi bisiklet kiralama istasyon yerinin belirlenmesinin kentsel ulaşımında bisiklet kullanımını arttıracağını öngörmüşlerdir. Bu doğrultuda, ÇKKV tekniklerinden AHP kullanılarak kriter ağırlıklandırılması yapılmış ve matematiksel programlama ile optimum bisiklet istasyonu yerleri belirlenmiştir. Çalışmada kriterler dört ana grupta toplanmıştır: bisiklet yoluna yakınlık, ulaşım ve yol ağları (ana arterlere iyi erişim, toplu taşıma ağı, otomobil park sayısı), talep çekim alanları (yerleşim alanları, endüstri alanları, ticari alanlar) ve kullanım türü (okul sayısı, tarihi-turistik alanlar ile çekim alanlarının sayısı, park alanlarının sayısı) .

Lin ve diğ. (2013), bisiklet istasyonlarının sayısı ve lokasyonunu, istasyonlar arası bisiklet şeritlerinin oluşturulmasını ve istasyonlardaki bisiklet envanter seviyelerini göz önünde

bulunduran bir lokasyon-envanter modeli oluşturulmasına dayanan çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, sistem tasarımında yer alan tesislerin (istasyon, bisiklet şeridi, bisiklet filosu) kurulum maliyetleri ile kullanıcı seyahat maliyetleri ve hizmet seviyeleri dikkate alınmıştır. Ayrıca bisiklet istasyonlarının konumlarının belirlenmesi sürecinde, istasyonlarının önemli çekim noktalarından 300 ila 500 m'den daha uzakta olmaması gerektiğini savunmuşlar ve çalışmalarında aday istasyonların kapsama mesafesini 300 m olarak kabul etmişlerdir.

García-Palomares ve diğ. (2012), BPS için optimum istasyon yeri ve istasyon kapasitesini tespit etmek ve sisteme ait talebin mekânsal özelliklerini belirlemek için CBS tabanlı maksimum kapsama alanı ve minimum empedans yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmalarında ana arter yol, metro istasyonu ve banliyö durağı gibi ulaşım altyapısı ile ilgili özellikleri de göz önünde bulundurmuşlardır. Ayrıca diğer çalışmalardan farklı olarak; istasyonun mekânsal özellikleri istasyon kullanımında etkili bir faktör olduğundan, düşük talebe sahip istasyonları tespit amacıyla ek bir istasyon erişebilirliği analizi de yapılmıştır.

Wuerzer ve diğ. (2012), Boise şehir merkezinde 3620 m yarıçaplı bir alanda optimum bisiklet istasyonu sayısını ve istasyon kapasitesini belirlemek için coğrafi bilgi sistemi optimizasyon analizini kullanmışlardır. Oluşturulan coğrafi bilgi sistemi modelinde; üniversite alanı ve ulaşım ağına ilişkin kriterlere verilen ağırlık, park, restoran ve ATM gibi kriterlerin ağırlığının iki katı alınmıştır. Ayrıca araştırma, farklı erişim mesafeleri (250 ve 500 m) göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, Merkezi Bölge Sağlık Bakanlığı tarafından proje için sağlanan mevcut potansiyel kaynaklar göz önüne alındığında, optimum bisiklet istasyonu sayısı 14 ve istasyon kapasiteleri 140 olarak belirlenmiştir.

Luo-ke (2010), çalışmasında, ilk olarak BPS istasyon yer seçimini etkileyen faktörleri tanımlamıştır. Ardından, Çin'in Hangzhou şehrinde yer alan Desheng Community BPS'si için alternatif istasyon yer seçim probleminin çözümünde AHP yöntemini, bisiklet paylaşım istasyonlarının yer seçimini etkileyen faktörlerinin ağırlıklandırılmasında kullanmıştır. Ayrıca, problemin çözümü için bulanık kapsamlı değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Çalışmasında son olarak, modelin performansını, geçerliliğini ve güvenilirliğini test etmiştir.

Leigh ve diğ. (2009), Avusturalya’da bulunan Monash Üniversitesi kampüsündeki bir BPS’e ait istasyon tesis yeri seçimi için CBS tabanlı bir genel model önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada, Avustralya düzenleme standartları göz önünde bulundurulmuş ve daha spesifik olarak; istasyon yakınında bulunabilecek karayolundaki ortalama hız 60 km/sa’ten küçük ise istasyonun ilgili karayolundan minimum 600 mm, büyükse minimum 1000 mm uzakta olması gerektiği vurgulanmıştır.

2.2. Bisiklet paylaşım talebini etkileyen faktörler

Günümüzde, BPS'lerin gelişiminin daha yaşanabilir bir çevre için gerekli olduğu düşünülmektedir (Zhang ve diğ., 2015). Son 50 yılda, BPS'ler teknolojinin gelişmesiyle birlikte iyileşmiş ve bugün aşırı doğal kaynak tüketimi, trafik sıkışıklığı ve hareketsiz yaşam tarzları gibi sorunları çözmek için önemli "yeni bir ulaşım alternatifi" haline gelmiştir (Efthymiou ve diğ., 2013). BPS’ler toplum, çevre ve sağlık açısından diğer ulaşım modlarına göre farklı birçok avantaj sunar (Spinney ve Lin, 2018). Bu nedenle, son yıllarda araştırmacıların ve planlamacıların BPS kullanımını teşvik edici çalışmalara olan ilgileri artmıştır. Bisiklet paylaşımını arttıran politikalar geliştirmek için, bisiklet paylaşım davranışını etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılması gerekir (Eren ve Uz, 2019).

BPS istasyonu konumu, potansiyel yolcuların istasyonlara kısa sürede erişmesine izin verecek kadar yakın veya istasyonlardaki bisiklet paylaşım taleplerinin aşırı derecede düşük olmasını önleyecek kadar uzak olmalıdır (Wang ve diğ., 2016). Yeni istasyonlar ekleyerek veya mevcut istasyonların kapasitesini artırarak, bisiklet kullanıcılarının BPS istasyonlarına yakınlığı artırılabilir, böylece yoğun kullanılan istasyonlarda boş park alanları kolayca bulunabilir. Optimum talep çekim mesafesi içerisinde yeni istasyonların eklenmesi, yoğun talep gören istasyonların esnekliğini ve mevcut istasyonlarda bisiklet paylaşımını artırabilir (Eren ve Uz, 2019). Potansiyel yolcular BPS istasyonlarına kolayca erişebilir, kiralık bisiklet veya park alanı rahatlıkla bulabilir, aynı zamanda basit ödemeler yapabilirse, bisiklet paylaşım talebinin arttığı gözlemlenebilir (Li ve diğ., 2015; Shaheen ve diğ., 2011). Ancak istasyon ağı planlama ve düzenleme sürecinde unutulmamalıdır ki, mevcut istasyonun çok yakınındaki başka bir istasyon veya istasyon kapasitesi mevcut istasyonlara olan talebi azaltabilir.

Bugüne kadar, birçok çalışma yapılmış çevrenin ve arazi kullanımının istasyonlarda meydana gelen bisiklet paylaşım talebi üzerindeki etkisini incelemiştir (El-Assi ve diğ., 2017; Faghih-Imani ve diğ., 2014; Mahmoud ve diğ., 2015; Tran ve diğ., 2015). Turizm ve rekreasyon alanlarının bisiklet paylaşım talebi için çekici bir güç olduğu, zayıf bisiklet altyapısının ise bisiklet paylaşım talebi için engelleyici bir güç olduğu dikkat çekicidir (Zhou, 2015). Aynı zamanda, oteller, parklar, restoranlar, okullar, üniversiteler, BPS istasyonu yakınındaki yoğun konutların varlığı, bisiklet paylaşımının üretimini ve çekiciliğini olumlu yönde etkilemektedir (Eren ve Uz, 2019; Wang ve diğ., 2016). Ayrıca, doğal çevrenin bisiklet paylaşımı üzerindeki etkisi de göz ardı edilmemelidir. BPS kullanıcılarının % 4-6 eğimli arazideki aşırı çaba nedeniyle kiralık bisikletleri geri bırakmak istememeleri şaşırtıcı değildir. Doğal arazi yapısı, bisiklet altyapı ağının sürekliliği ve trafik yoğunluğunun bisiklet paylaşım davranışını etkilediği bulunmuştur (Buck ve Buehler, 2012; McCormack ve Rowe, 2014; Ricci, 2015). Kullanıcılar yolculuklarında yüksek yoğunluğa sahip trafikle etkileşim halinde bulunan bisiklet şeritlerini tercih etmek istememektedir, ancak bunun bisiklet paylaşım sıklığını etkileyip etkilemediği belirsizliğini korumaktadır (Eren ve Uz, 2019). Özellikle, güvenlik algısının bisiklet altyapısının sürekliliğine bağlı olarak kullanıcıların rota seçimleri ve bisiklet paylaşım kararları üzerinde etkisi olduğu bilinen bir gerçektir. Araştırmalar, izole bisiklet yollarının özellikle kadın kullanıcılar için sürüş sırasında güvende hissettirebilecek bir faktör olduğunu göstermiştir (Long ve Zhao, 2020; Sun ve diğ., 2018; VE ve Cho, 2020).

Ek olarak, bisiklet paylaşım davranışını etkileyen faktörlere ilişkin literatürden çıkarılabilecek temel kanıtlar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Olumsuz hava koşulları: yağmur, kuvvetli rüzgar, yüksek sıcaklık ve nem bisiklet paylaşımını azaltır (Heinen ve diğ., 2010; Miranda-Moreno ve Nosal, 2011; Wang ve diğ., 2018). İlkbahar ve yaz aylarındaki gezi talebi sonbahar ve kış aylarına göre daha fazladır (Godavarthy ve Taleqani, 2017). 20-30 derecedeki hava sıcaklıkları yağış mevcut değilse, diğer hava koşullarına göre bisiklet paylaşım sayısını artırma olasılığı daha yüksektir (Gebhart ve Noland, 2014; Kim, 2018).
- Yapılı çevre bisiklet paylaşımına olan talebi, rota seçimini, güvenlik algısını etkiler (Faghih-Imani ve Eluru, 2015). Bisiklet paylaşımı bisiklet yolu uzunluğu, izole bisiklet şeritleri, bağlantı yolları, trafik hacmi, istasyon erişebilirliği vb. faktörlerden

etkilenir (Kabra ve diğ., 2019; Sun ve Chen, 2017). İzole edilmiş bisiklet şeritleri/yolları güvenlik algısını iyileştirir ve bisiklet paylaşımını artırır (Dill ve Voros, 2007).

- BPS istasyonları genellikle yüksek gelirli ve yoğun nüfuslu bölgeler, çekim noktaları, şehir merkezleri ve rekreasyon alanları olan bölgelerde konuşlandırılmaktadır (Ogilvie ve Goodman, 2012; Rixey, 2013). Toplu taşımayı desteklemek amacıyla, BPS istasyonları genellikle toplu taşıma duraklarına, metro, banliyö, tren, feribot aktarma merkezlerine yakın konuşlandırılmalıdır (Griffin ve Sener, 2016; Ji ve diğ., 2017). Toplu taşımadaki kısa süreli kesintiler veya aksaklıklar BPS kullanımını arttırabilir. BPS'ler toplu taşımadaki seyahat sürelerini azaltabilir (Jäppinen ve diğ., 2013). BPS istasyonlarının dağılımında ve istasyonlara erişimde sosyal eşitsizliğe son zamanlarda dikkat çekilmektedir.
- BPS üyeleri zengin, eğitilmiş ve genç erkek olma eğilimi göstermektedir.(S. A. Shaheen ve diğ., 2012). BPS'lerdeki kadın üye sayısı erkeklere oranla çok düşüktür.
- Hafta sonu, hafta içi, resmi tatiller gibi takvim olayları bisiklet paylaşımını etkiler (Sun ve Chen, 2017). BPS'ye üye olmak için getirilen yaş sınırlaması nedeniyle, okul tatillerinin bisiklet paylaşımı talebi üzerinde etkisi belirsizdir (Eren ve Uz, 2019; Mateo-Babiano ve diğ., 2016). BPS'lere üye olma yaşı, BPS'lerin 18 yaş altı bireylerde bisiklet kullanım alışkanlıklarının geliştirilmesinin önünde bir engel olabilir (Eren ve Uz, 2019).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, İzmir ilinde yer alan Bisim BPS'nin farklı arazi kullanımı üzerine konuşlandırılacak alternatif istasyon yerlerinin seçilmesi problemini çözmek için CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Alternatif istasyonların potansiyel lokasyonları belirlenirken İzmir ilinin ulaşım altyapısı, yapılı çevre ve arazi kullanım durumu ve coğrafi koşulları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmada, mevcut ve alternatif BPS istasyon lokasyonlarının mekânsal değerlendirmesinde CBS kullanılmıştır. Aynı zamanda CBS aracılığı ile belirlenen alternatif istasyon lokasyonlarının analizi, kapsamlı incelemeler sonucunda belirlenen karar kriterlerine göre ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

3.1. Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP); yalnızca belirli bir amaca hizmet edebilecek göstergelerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi için değil, aynı zamanda alternatiflerin en iyiden en kötüye sıralanması ve en iyi alternatifin seçilmesi amacıyla literatürde oldukça sık tercih edilen bir ÇKKV yöntemidir (Satty, 1980).

AHP yöntemi, çoğunlukla en uygun tesis yerinin belirlenmesi veya seçilmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Messaoudi ve diğ. (2019) rüzgarla çalışan hidrojen yakıt ikmal istasyon lokasyonu için en iyi yerleri değerlendirmeyi ve seçmeyi amaçladıkları çalışmalarında, CBS ve ÇKKV tekniklerinden yararlanmışlardır. Çalışmalarında AHP'yi, kriterleri ağırlıklandırmak ve potansiyel bölgeleri değerlendirmek için bir arazi uygunluk endeksini hesaplamak için uygulamışlardır. Sennaroglu ve Celebi (2018) askeri bir havaalanına ait en uygun yeri seçmek ve belirlenen dört adet alternatif yeri değerlendirmek amacıyla AHP, PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerini içeren bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada iklim, coğrafya, altyapı, güvenlik ve ulaşım gibi birçok kriteri içeren dokuz ana kriter ve otuz üç alt kriter AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Neisani Samani ve diğ. (2018), Tahran'da otopark alanı yer seçim problemi için AHP tabanlı bir ÇKKV yöntemi önermişlerdir. Potansiyel otopark alanlarını belirlerken kriterleri ağırlıklandırmak için AHP yöntemini kullanmışlardır. Anketler 50 adet uzman, 25 kent yöneticisi ve 150 kullanıcı ile gerçekleştirilmiştir. Leigh ve diğ. (2009) yangına karşı müdahalede yeteneklerin iyileştirilmesini sağlayan itfaiye istasyonlarının yerlerini belirlemek için AHP ve ağ analiz

tekniklerini ArcGIS programıyla birleştirilmiş ve alternatif itfaiye istasyon yerleri belirlemiştir.

AHP yöntemi, Profesör T. L. Saaty tarafından 1970'li yıllarda önerilmiştir (Satty, 1980). Öznel ölçüme izin verebilen AHP, karmaşık kararları organize etmek ve karar kriterlerinin ağırlıklarının tayin etmek için geliştirilmiş teorik bir yöntemdir (Achu ve diğ., 2020). Yöntemde karar vericilerin bilgi birikimi, ikili karşılaştırmalar yoluyla belirlenen kriterlerin göreceli büyüklüklerini tahmin edilmesinde kullanılmaktadır.

Yönteme başlaman önce ilk olarak, karar probleminin tanımlanması gerekmektedir. Ardından probleme ilişkin ana kriterler ve alt kriterler literatür ve uzman görüşleri ile tespit edilir. Ardından, problemin yapısına bağlı olarak alt kriterler ve ana kriterler olmak üzere çok seviyeli bir hiyerarşik yapı oluşturulur. Daha sonra, oluşturulan hiyerarşik yapı baz alınarak “Saaty” ölçeğine göre anketler hazırlanır (Wind ve Saaty, 1980). Saaty ikili karşılaştırma ölçeği Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Saaty ikili karşılaştırma ölçeği (Wind ve Saaty, 1980)

Saaty Ölçeği	Tanım
1	Kriter i kriter j ile eşit önemlidir.
3	İki kriter karşılaştırıldığında, faktör i faktör j'den biraz daha önemlidir.
5	İki kriter karşılaştırıldığında, faktör i faktör j'den daha önemlidir.
7	İki kriter karşılaştırıldığında, faktör i faktör j'den çok daha önemlidir.
9	İki kriter karşılaştırıldığında, faktör i faktör j'den mutlak önemlidir.
2,4,6,8	Ara değerlerdir.
Değerlendirme	Kriter i'nin kriter j ile karşılaştırıldığında yargısı a_{ij} ise, kriter j ile karşılaştırıldığında kriter i'nin yargısı $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ 'dir.

İkili karşılaştırma matrisleri, karar vericilerin bilgi birikiminden yararlanılması amacıyla özel olarak hazırlanmış anketlerde yer almaktadır. Hazırlanan karşılaştırma matrislerinde uzmanlar, tüm değerleri 1 olan köşegeninin üzerinde kalan matris elemanlarını karşılaştırmaktadır. Daha spesifik olarak, uzmanlar satırda yer alan kriteri sütunda yer alan kriter ile karşılaştırarak önem derecesini ne olduğu konusunda deneyimine dayanarak muhakeme uygular ve Saaty ölçeğinde yer alan puanlara göre bir değer atar. Hiyerarşik yapıda yer alan her bir alt elemanın yer aldığı kriter grubu içerisinde ikili karşılaştırmalar uzmanlar tarafından gerçekleştirilmektedir. İkili karşılaştırmalar, hiyerarşik yapı içerisinde yer

alan her grubun önem derecesinin hiyerarşik yapıda yer alan diğer tüm gruplar ile karşılaştırılmış olması durumunda son bulmaktadır.

İkili karşılaştırma puanlarının uzmanların bireysel deneyimlerine dayanması, yapılan karşılaştırmalarda tutarsızlıklara neden olabilir. Bu nedenle, karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranının (TO) hesaplanması gerekmektedir. TO değeri, Tutarlılık İndeksinin (TI) Rassallık İndeksine (RI) bölünmesi ile elde edilir (Saaty, 1980).

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (1)$$

TO için öncelikle TI ve RI değerlerinin bilinmesi şarttır. TI değeri, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Saaty, 1980).

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad TI \geq 0 \quad (2)$$

Denklem (2)'de yer alan “ λ_{max} ” maksimum özdeğerdir. Hiyerarşik yapıda her seviyede yer alan kriterlerin ağırlığını ve maksimum özdeğerini hesaplamak için Denklem (3) kullanılmaktadır (Saaty, 1980).

$$A\omega = \lambda_{max}\omega \quad (3)$$

Burada, A; n x n boyutunda karşılaştırma matrisini, ω ; n x 1 boyutunda kriterlerin ağırlık vektörünü, λ_{max} ; maksimum özdeğeri temsil etmektedir. Yani, ikili karşılaştırma matrisi “A” ile matrise ait öncelik vektörü “ ω ” çarpılarak ağırlıklı toplam vektörü “ $A\omega$ ” elde edilir. Elde edilen n x 1 boyutundaki ağırlıklı toplam vektörü “ $A\omega$ ”, yine n x 1 boyutundaki “ ω ” ağırlık matrisindeki aynı indise sahip elemanlara bölünmektedir. Ardından, elde edilen tüm değerlerin toplamı karşılaştırma matrisinin boyutuna “n” bölünmektedir. Böylece, λ_{max} değeri elde edilmiş olur. Bu değer elde edilmesi aşamaları aşağıdaki gibi formülize edilebilir (Saaty, 1980):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right] \quad (4)$$

RI değeri, TO'nun hesaplanabilmesi için gerekli bir diğer parametredir. 15 sayısına kadar boyutu sınırlandırılmış karşılaştırma matrisleri için RI değerleri Tablo 3.2.'de sunulmaktadır.

Tablo 3.2. RI değerleri (Saaty, 1980)

n	RI	n	RI	n	RI
1	0	6	1.24	11	1.51
2	0	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

Matris boyutunun 15'ten fazla durumunda, RI değerinin elde edilmesi için aşağıda sunulan formülün kullanılması literatürde önerilmektedir (Alonso ve Lamata, 2006).

$$RI(n) = 0,00149n^3 - 0,05121n^2 + 0,59150n - 0,79124 \quad (5)$$

TI ve RI değerlerinin elde edilmesinin ardından Tutarlılık Oranı, Denklem (1) kullanılarak hesaplanır. Elde edilen TO'nun 0 veya 0'a yakın olması, ikili karşılaştırmalar arasında yüksek tutarlılık olduğu anlamına gelmektedir. TO'nun literatürde yer alan kabul edilebilir aralığı Denklem (6)'da verilmiştir. TO değerinin 0.10 değerinden yüksek çıkması durumunda, anketlerde yer alan ikili karşılaştırmaların yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir (Saaty, 1980).

$$0 \leq TO \leq 0.1 \quad (6)$$

Karşılaştırma matrislerinde tutarlılık oranının istenilen aralıkta (0 ila 0.10) olması durumunda, ikili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu gerçekleştirilir. İkili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu, sütunda yer alan elemanların toplamının ilgili sütundaki her bir elemana bölünmesi ile yapılmaktadır. Normalizasyon yapılan ikili karşılaştırma matrisinin her

bir sütunun toplamı 1 olmaktadır. Normalizasyon işleminin ardından, her bir kritere ait ağırlığın hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisinin satır toplamı matris boyutuna bölünmektedir. Elde edilen bu değerler, karşılaştırma matrisinde yer alan kriterlerin öncelik değerleri yani ağırlıklarıdır.

AHP yönteminin uygulanmasında sırasında aşağıdaki adımlar:

- ✓ İstasyon yeri belirleme çalışmasında etkili olan kriterlerin belirlenmesi ve hiyerarşik yapının oluşturulması,
- ✓ Hiyerarşik yapının düzeylerine göre oluşturulmuş karşılaştırma matrislerini içeren anketlerin hazırlanması,
- ✓ Anketlerin alanında uzman kişilere uygulanması: Saaty ölçeğine göre ikili karşılaştırmaların yapılması,
- ✓ Karşılaştırma matrislerinin TI ve RI değerlerinin hesaplanması ve Denklem (1) kullanılarak TO değerinin elde edilmesi,
- ✓ Karşılaştırma matrislerinin TO değerlerinin 0.10 değerini aşp aşmadığının kontrol edilmesi,
- ✓ İkili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu,
- ✓ Kriterlere ait ağırlıkların elde edilmesi,

izlenmiştir.

3.2. Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje-VIKOR)

Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü yöntemi (VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje- VIKOR), 1997 yılında geliştirilmiş bir ÇKKV yöntemidir (Opricovic ve Tzeng, 2004). VIKOR, önemli ve sürdürülebilir alternatifleri belirlemek, karar vericilere karar desteği sağlamak amacıyla önerilmiş bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, ÇKKV problemlerinde yer alan birden çok kritere göre alternatiflerin sıralanmasını veya en iyisinin seçilmesini sağlamaktadır (Gao ve diğ., 2019). VIKOR yöntemi, ideal çözüme yakınlık ölçüsünü temel alarak karar vericilerin sıralama veya seçim kararlarına yardımcı olmaktadır. Yani, her bir alternatif belirlenen karar kriterlerine göre değerlendirilir ve ideale en yakınlık değerlerine göre alternatifler sıralanmaktadır. Diğer bir deyişle VIKOR yöntemi bir dizi alternatif arasından en iyi olanın seçilmesini veya alternatiflerin en iyiden en kötüye

sıralamasının elde edilmesini sağlayarak, karar vericilerin nihai yargılarına varmasında uzlaşmacı çözümler ortaya koymaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2007). Ek olarak VIKOR yönteminde dikkat çekilmesi gereken önemli bir diğer nokta ise, belirlenen karar kriterlerinin ağırlıklarının AHP gibi bir analitik yöntemle belirlenmiş olup yönetime başlamadan önce biliniyor olması gerektiğidir. VIKOR yöntemi, çoğunlukla en uygun tesis yerlerinin belirlenmesi veya seçilmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Abdel-Baset ve diğ., 2019; Wu ve diğ., 2019). Kaya ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının en uygun konumlarını belirlemek amacıyla CBS tabanlı ÇKKV yaklaşımlarını kullanmışlardır. ÇKKV için ilk olarak, belirlenen ölçütler AHP ile ağırlıklandırmış, ardından AHP-CBS entegrasyonu sağlanarak belirlenen en uygun istasyon konumlarını VIKOR, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak en iyiden en kötüye sıralamışlardır. Shah ve diğ. (2020), Hindistan Gujarat eyaletinde güneş enerjisi santralinin kurulması için en uygun yeri belirlemek amacıyla bulanık mantık ve VIKOR yöntemine dayalı bir hiyerarşik ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir. Wu ve diğ. (2018), büyük ticari çatı üstü fotovoltaiik sistem projeleri gerçekleştirilmesi için en uygun yerin seçilmesi amacıyla bulanık Analitik Ağ Süreci ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır.

VIKOR yönteminin tesis yeri belirleme çalışmalarındaki işlem adımları aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Karar verici grubun oluşturulması, karar vericiler tarafından karar kriterlerinin (n adet) ve alternatif tesis yerlerinin (m adet) belirlenmesi,
- ✓ Karar vericiler tarafından belirlenen alternatiflerin satır kısmında, karar kriterlerinin ise sütun kısmında yer aldığı karar matrisinin (X) oluşturulması,
- ✓ Karar kriterlerine ait ağırlıkların yer aldığı ağırlık matrisinin (W) oluşturulması,
- ✓ Her bir kriter ($i = 1, \dots, n$) ile alternatiflerin ($j = 1, \dots, m$) değerlendirilmesinin en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerlerinin kriterlerin maliyet ve fayda yönlü olmasına göre belirlenmesi:

$$j. \text{ fayda yönlü ise; } f_j^* = \max_i (x_{ij}) \text{ ve } f_j^- = \min_i (x_{ij})$$

$$j. \text{ maliyet yönlü ise; } f_j^* = \min_i (x_{ij}) \text{ ve } f_j^- = \max_i (x_{ij})$$

- ✓ S_i değeri, i. alternatif için ortalama grup değeri olup ortalama grup faydasını ifade ederken, R_i değeri ise i. alternatif için en kötü grup değeri olup en büyük pişmanlığı ifade etmektedir. S_i ve R_i değerleri aşağıda yer alan formüllerle hesaplanmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (7)$$

$$R_i = \max_j \left[w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (8)$$

- ✓ Karar vericiler tarafından alternatiflerin belirlenen kriterlere göre sıralanmasında kullanılacak Q_i değerinin hesaplanması için kullanılan denklem aşağıda verilmiştir:

$$Q_i = \frac{v (S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - v) (R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (9)$$

Denklem (7)'de yer alan beş adet parametre aşadaki gibi elde edilebilmektedir;

$$S^* = \min_i S_i$$

$$S^- = \max_i S_i$$

$$R^* = \min_i R_i$$

$$R^- = \max_i R_i$$

v değeri maksimum grup faydasının sağlanmasında kullanılan uzlaşma oyu olarak ifade edilebilmektedir.

- ✓ Son adım olarak elde edilen S_i , R_i ve Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Belirlenen alternatifler karar kriterleri açısından üç grup altında (S_i , R_i ve Q_i) sıralanmaktadır.

Uzlaşık çözüm kümesine ulaşılabilmesi için elde edilen sonuçlar iki sınımaya tabi tutulmaktadır: ilk koşul, kabul edilebilir avantaj (C1) iken, ikinci koşul karar vermede kabul edilebilir istikrar (C2)'dir. C1 ve C2 sınaması sağlandığı durumda, minimum Q_i değerine sahip alternatif en iyi uzlaşık çözümü ifade etmektedir.

1. Koşul: Kabul edilebilir avantaj (C1) koşulu incelenirken,

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (10)$$

formülü dikkate alınmaktadır. Burada,

a' : Q_i değerine göre yapılan küçükten büyüğe doğru sıralamada en küçük Q_i değerine sahip olan alternatiftir yani bu alternatif, karar problemi için en iyi uzlaşık alternatifi ifade etmektedir.

a'' : Q_i değerine göre yapılan küçükten büyüğe doğru sıralamada en küçük ikinci Q_i değerine sahip olan alternatiftir.

Ayrıca denklemde yer alan DQ parametresi ise;

$$DQ = \frac{1}{m - 1} \quad (11)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada m parametresi alternatif sayısını temsil etmektedir.

2. Koşul: Karar vermede kabul edilebilir istikrar (C2) koşulu incelenirken, S_i ve R_i değerlerine göre yapılan sıralamaya dikkat edilmektedir. a' alternatifi S_i ve R_i değerlerinden en az birinde en iyi uzlaşık çözüme sahip olması gerekmektedir. Aksi durumda, birinci ve ikinci alternatif uzlaşık çözüm kümesini ifade etmektedir.

Eğer C1 koşulu sağlanamazsa, aşağıda yer alan denklemdeki koşulu sağlayan alternatifler uzaklık çözüm kümesi içerisinde yer almaktadır.

$$Q(a^m) - Q(a') < DQ \quad (12)$$

a^m : m adet alternatif arasından maksimum Q_i değerine sahip alternatifi ifade etmektedir.

3.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesini sağlayan sistemlerdir (Castro-Santos ve diğ., 2020). Bu sistemler kullanılarak veriler toplanır, işlenir, çalışmanın amacı doğrultusunda depolanır ve analiz edilir. CBS analizleri gerçekleştirilirken altık adı verilen haritalardan faydalanılır. Bu haritalar üzerine noktasal ve çizgisel veriler (vektör veri) ve vektör verilerin CBS' ye uygun olarak tanımlanmış hali olan raster veri türleri kullanılmaktadır (Alesheikh ve diğ., 2002).

Günümüzde CBS meteorolojik analizler, ulaştırma planlamaları, su kaynaklarının yönetimi, askeri ve stratejik uygulamalar, yönetim süreçleri gibi pek çok alanda sıklıkla uygulanan sistemlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır (Chan, 1999; Singh ve diğ., 2017; Wang ve Chen, 2015; Wang, 2014). CBS' nin kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarının hem sayısal hem de görsel olarak raporlanabilmesi CBS' yi sık kullanılan ve geniş bir uygulama alanına sahip bir platform haline getirmiştir.

CBS'nin tarihsel gelişim sürecine bakıldığında bu sistemlerin ilk uygulamalarının ve altyapı çalışmalarının 1960'larda başladığı görülmektedir. Bu dönemde CBS Kanada topluluğu kurulmuş ve Esri ile Intergraph şirketlerinin temelleri atılmıştır. 1980 – 1990 yılları arasında CBS faaliyetleri hız kazanmış ve Esri firmasının piyasaya sürdüğü ArcInfo yazılımı sayesinde CBS' nin uygulanabilirliği artmıştır. Yine bu dönemde Grass Software, MapInfo, TransCAD, NetCAD gibi CBS tabanlı yazılımları piyasaya sürülmüştür (Dewan ve Yamaguchi, 2009).

1990'lar sonrasında gelişen teknoloji ve akıllı cihazların insan hayatına girmesi ile beraber CBS'nin mobil uygulamalarına yönelik çalışmalar artarak kullanıcının kolaylıkla erişebileceği uygulamalar üzerinde durulmuştur (Roberts ve diğ., 2014). Bu uygulamalar için

en önemli örnek ArcPAD Mobil olarak gösterilebilir (Knowles ve Hillier, 2008). CBS' nin tarihsel uygulamaları ve gelişim süreci Tablo 3.3' te verilmiştir (Dewan ve Yamaguchi, 2009; Hathout, 2002).

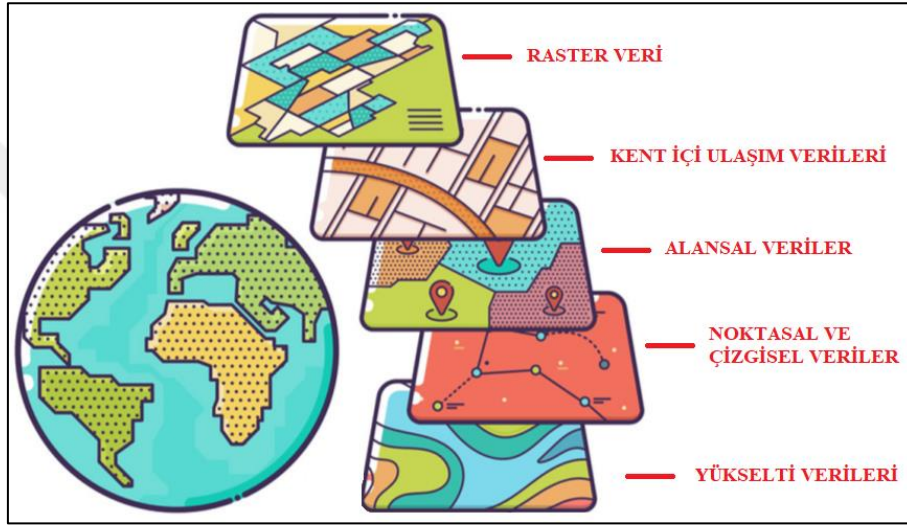
Tablo 3.3. CBS tarihsel gelişim süreci ve geçmişten günümüze uygulamaları

1960 – 1980	CBS Kanada, Esri ve Integraph kurulumu, ERDAS kurulumu
1980 – 1990	Esri (ArcInfo), Grass Software, MapInfo, TransCAD, EGHAS Türkiye, NetCAD
2000 ve sonrası	ArcGIS Online, ArcGIS 8.1 – 10.6, QGIS 3.10, ArcPAD mobil CBS

CBS'de analizlerin gerçekleştirilmesi altık haritalar ve sayısal veriler aracılığı ile yapılmaktadır. Altık haritalar, kullanıcı tarafından çalışma amacına uygun olarak kendi kendine oluşturabileceği gibi bu konuda çalışmalar yapan kurum ve kuruluşlardan da temin edilebilir. Ayrıca açık erişime sunulmuş, amaca yönelik, birçok altık da bulunmaktadır. Altıklar üzerine işlenen sayısal veriler vektör ve raster veri olarak ikiye ayrılmaktadır (Winter, 1998).

Vektör veri harita üzerinde koordinatları belli olan veri türüdür. Tek bir x, y koordinat çiftinden oluşan vektör veri türüne noktasal veri denilmektedir. Noktasal verilerin sürekli olarak birbirlerini takip etmesi ile oluşturduğu veriler çizgisel veriler olarak tanımlanmıştır. Noktasal verilere örnek olarak kaza yeri, otobüs durağı yeri, bisiklet paylaşım istasyonu yeri, elektrikli araç şarj istasyonu yeri verilebilir. Çizgisel veriler kent içi ulaşım ağları, toplu taşıma güzergâhları, bisiklet yolları, taşıt yolları gibi örnekler ile çeşitlendirilebilir. Harita üzerinde minimum üç tane noktasal verinin çizgisel veriler ile birleştirilmesi ile kapalı bir alan oluşturabilen verilere alansal veri denilmektedir (Piwowar ve diğ., 1990). Alansal verilere örnek olarak göller, binalar ve parseller verilebilir. Mekânsal verilerin CBS platformunda hücreler aracılığı ile ifade edilmesi ile oluşan veri türüne raster veri adı verilir. Vektörel bir verinin raster veriye dönüştürülmesi işlemi ise Rasterlama olarak adlandırılır.

Raster veri, raster adı verilen hücrelerden oluşturulur ve bu hücreler kullanıcının talebi doğrultusunda eşit ölçüde satır ve sütunlardan meydana gelir. Mekânsal verilerin raster hücreler ile ifade edilmesi sırasında mekânsal verinin coğrafi özelliğine göre raster hücresi renklendirilir. Hücreler birleştirilir ve ızgara yapısı oluşturulur. Mekânsal analizlerin raster veriler kullanılarak gerçekleştirilmesi kullanıcıya daha pratik bir uygulama avantajı sunmaktadır. CBS platformunda faydalanan veri tiplerine örnekler Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. CBS platformunda kullanılan verilere örnekler

Noktasal ve çizgisel veriler, raster veriler, yükselti verileri ve diğer tüm mekânsal verilerin işlendiği altlıkların yani CBS katmanlarının bir araya getirilerek birleştirilmesi işlemi katman birleştirme olarak tanımlanmaktadır. Katman birleştirme işleminden önce farklı türdeki verilerin standardizasyonunun yapılması gerekmektedir. Standart hale getirilmiş verilere ait katmanlara, katman ağırlıkları atanabilmektedir. Standartlaştırılmış verilere ait ağırlıklandırılmış katmanlar da CBS ortamında birleştirilebilmekte, işlenebilmekte ve görselleştirilebilmektedir.

CBS özellikle ulaştırma ve altyapı mühendisliği alanında yaygın olarak kullanımına başvurulmuş bir platformdur. Ulaştırma mühendisliği alanında başlıca CBS uygulamaları kaza analizleri, optimum güzergah belirleme, optimum istasyon yeri belirleme, trafik yönetimi, rota planlamaları, trafik izleme, araç takibi ve ulaşım planlaması olarak sıralanabilir (Guo ve diğ., 2020). Bu doğrultuda CBS’nin ulaştırma mühendislerine sunduğu katkılar büyük ölçekli

Çalışma imkânı, kolay ve pratik uygulama, açık kaynak kodlu yazılımlar aracılığı ile bilgiye rahat erişim vb. olarak değeriendirilebilir. Günümüzde mekânsal analizlerin kolaylıkla gerçekleştirilmesine olanak sağlayan QGIS, SAGA GIS ve ArcGIS gibi çeşitli CBS yazılımları bulunmaktadır. Bu çalışmada mekânsal verilerin haritalanması, katmanların oluşturulması ve birleştirilmesi, katmanların ağırlıklandırılması ve nihayetinde mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesi işlemlerinin tümünde ArcGIS yazılımından faydalanılmıştır.

3.4. Bulanık Mantık

Bulanık mantık yaklaşımı; karmaşık sistemleri, belirsiz gerçek yaşam problemlerini tanımlamak ve çözmek için ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Ayrıca bulanık mantık yaklaşımı, girdiler ve çıktılar arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğu problemlerin çözümünde de kullanılmaktadır (He ve diğ., 2016). Tipik bir bulanık mantık sistemi; bulanıklaştırma, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Mugisha ve diğ., 2015). Birinci aşamada, gerçek veriler nitel değerieler veya dilsel terimlerle ifade edilir. Ayrıca, üyelik işlev türü ve bulanık kümelerin sayısı belirlenir ve bu bulanık kümeler 0 ile 1 arasında herhangi bir sayı alır. Bu alışmada, ArcGIS programı içerisinde yer alan bulanık üyelik fonksiyonu özelliği kullanılarak bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmıştır.

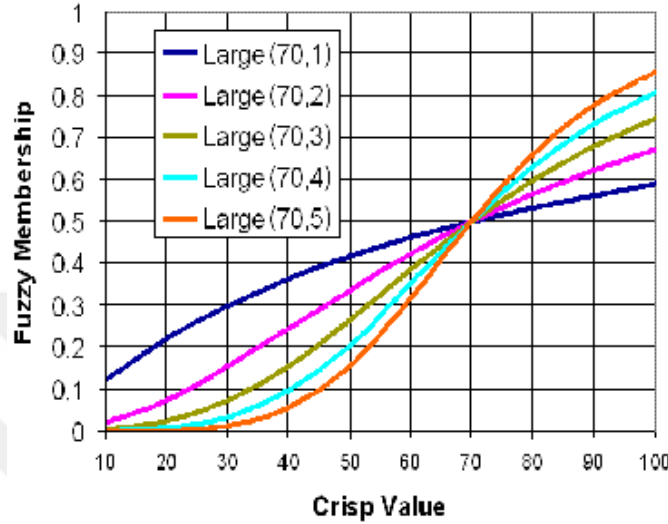
ArcGIS programının içerisinde yer alan bulanık üyelik fonksiyonu aracı ile tanımlanabilecek üyelik fonksiyon türleri;

- Gaussian,
- Large,
- MS Large,
- Linear,
- Small,
- MS Small ve
- Near

olarak sıralanabilir ("ArcGIS 10.3 Help, "). Üyelik işlev türleri araştırmayı gerçekleştirecek araştırmacılar tarafından problemin yapısına bağlı olarak belirlenir (Bahrani ve diğ., 2016). Bu alışma kapsamında kullanılan “Large, Small ve Linear” üyelik fonksiyon türleri ile ilgili detaylar aşağıda sunulmuştur.

- Large üyelik fonksiyonu

“Large” üyelik fonksiyonu, daha büyük giriş değerlerinin kümenin üyesi olma olasılığı daha yüksek olduğunda kullanıcılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Large üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 3.2’de sunulmuştur ("ArcGIS 10.3 Help,").



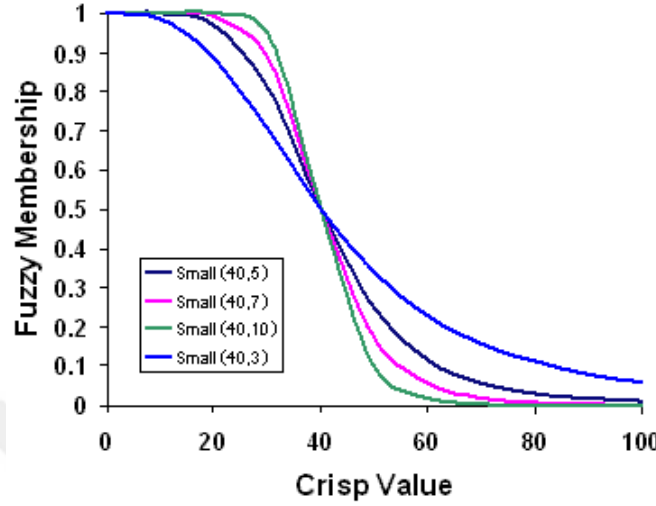
Şekil 3.2. Large üyelik fonksiyonu grafiği

Grafikte görüldüğü üzere, yatay ekseninde yer alan net değer için grafikte karşılık gelen 0-1 aralığında bir üyelik fonksiyon değeri atanmaktadır. ArcGIS’te tanımlama yapılırken öncelikle üyelik fonksiyon türü “Large” olarak seçilir ve program “0.5” üyeliğe atanacak orta noktayı ve yayılım parametresini kullanıcıya sorar. Bulanık üyelik aracında beş adet farklı Large grafiği bulunmaktadır. yayılım parametresi bu beş adet grafiğin temsilinde kullanılmaktadır. Ayrıca, geçiş bölgesinin şeklini ve karakterini tanımlanmasında yayılım parametresinden yararlanılmaktadır ("ArcGIS 10.3 Help,").

- Small üyelik fonksiyonu

“Small” üyelik fonksiyonu, daha küçük giriş değerlerinin kümenin üyesi olma olasılığı daha yüksek olduğunda kullanıcılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Small üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 3.3’de sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere, yatay ekseninde yer alan küçük net değer için grafikte karşılık gelen 0-1 aralığında bir üyelik fonksiyon değeri atanmaktadır. ArcGIS’te tanımlama yapılırken öncelikle üyelik fonksiyon türü “Small” olarak seçilir ve program “0.5” üyeliğe atanacak orta noktayı ve yayılım parametresini kullanıcıya sorar. Bulanık üyelik aracında dört adet farklı Small grafiği bulunmaktadır. Yayılım parametresi bu

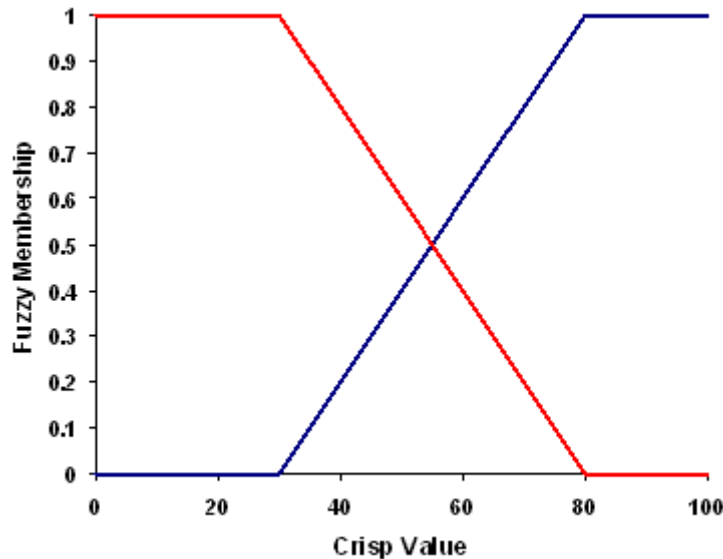
dört adet grafiğin temsilinde kullanılmaktadır. Ayrıca, geçiş bölgesinin şeklini ve karakterini tanımlanmasında yayılım parametresinden yararlanılmaktadır ("ArcGIS 10.3 Help,").



Şekil 3.3. Small üyelik fonksiyonu grafiği

- Linear üyelik fonksiyonu

“Linear” üyelik fonksiyonu, kullanıcı tarafından belirlenen minimum ve maksimum değer aralığında doğrusal bir grafik çizer. “Linear” üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 3.4’te sunulmuştur.



Şekil 3.4. Linear üyelik fonksiyonu grafiği

ArcGIS’te tanımlama yapılırken öncelikle üyelik fonksiyon türü “Linear” olarak seçilir ve program minimum ve maksimum değerlerin tanımlanmasını ister. Şekil 3.4’te görüldüğü

üzere, Linear üyelik fonksiyonunda pozitif ve negatif eğime sahip iki adet fonksiyon grafiği bulunmaktadır. Mavi renkli fonksiyon, en az 30 ve en fazla 80 olan pozitif eğimli doğrusal dönüşümü temsil eder. Burada, 30 ‘dan az değerlere “0” atanırken 80’den büyük değerlere de “1” atanmaktadır. Kırmızı renkli fonksiyon ise, 30’dan küçük herhangi bir değere 1 ve 80’den büyük herhangi bir değere 0 atamaktadır. Yani fonksiyon grafiği negatif eğimlidir. Burada, minimum değer maksimum değerden büyüktür ("ArcGIS 10.3 Help,").

Örneğin, “Linear” bulanık fonksiyon türü bu çalışmada topoğrafya kriteri olan eğim için (negatif doğrusal dönüşüm) için kullanılabilir. Bunun için, ArcGIS programında “Linear” bulanık fonksiyon aracı seçilip minimum değere 8 ve maksimum 4 değeri tanımlanabilir. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir; bisiklet kullanımı için % 0 ila 4 arası eğime sahip alanlar kesinlikle uygun olabiliyorken, % 4 ila % 8 eğime sahip alanların uygun kümede olma olasılığı doğrusal olarak azalmaktadır. Ayrıca, % 8’den sonra bisiklet kullanımı tercih edilmemektedir ve % 8’den büyük eğime sahip alanlar için “0” atanmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma alanı : Bisim BPS

Coğrafi konumu, tarihi, kültürü ve doğal güzellikleri ile göze çarpan İzmir, bir liman kentidir. İzmir körfezi çevresinde bulunan kent, 38.41273° Kuzey ve 27.13838° Doğu'da yer almaktadır ve toplamda 11.891 m² alana sahiptir. 2019 yılı verilerine göre 4.367.251 insana ev sahipliği yaparak, Türkiye'nin üçüncü en kalabalık şehri olma özelliğini taşımaktadır. Türkiye'nin en önemli metropollerinden biri olan İzmir'de, otuz ilçe ve on bir merkez ilçe bulunmaktadır.

Bisim, İzmir ilinde faaliyet gösteren bir BPS'dir ve 8 Ocak 2014 tarihinde İzmir ili yerel yöneticileri tarafından hayata geçirilmiştir. Sistem, 40 istasyon ve 550 bisiklet filosunu içerisinde barındırmaktadır ve kentlilere 06:00 ile 23:00 arasında kiralama hizmeti vermektedir. Bisim BPS'sine ait mevcut istasyonlardan İZMİRİMKART ile kiralama yapmak mümkündür. Mevcut istasyonlar, deniz kenarında bulunan manzaralı yollar üzerinde ve rekreasyon alanlarına yakın konuşlandırılmıştır. Sisteme ait istasyon ağının yalnızca deniz kenarı bölgelerde yer alması ve mevcut bisiklet paylaşım istasyonları arasındaki mesafelerin dengesiz dağılımı, sistemin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyen problemler olarak ifade edilmiştir. Mevcut sistemdeki sürdürülebilirliği etkileyen istasyon düzeyindeki problemlerin giderilmesi, sistemin daha homojen dağılan bir istasyon ağına sahip olması, sistemin rekreasyon amaçlı kullanımının yanı sıra kent içerisinde toplu taşımanın bir parçası haline getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın inceleme alanı İzmir ilinin 8 merkez ilçesini (Balçova, Bornova, Buca, Çiğli, Gaziemir, Karşıyaka, Konak, Narlıdere) kapsayan bir alanı içerisinde barındırmaktadır.

4.2. Kriterlerin ve erişim mesafelerinin tanımlanması

BPS ağının kurulması veya yapılandırılmasında etkili olan kriterlerin belirlenmesi; sorunsuz operasyonun ve sistemden beklenen kârın elde edilmesinin en önemli noktasını oluşturmaktadır. Önceki çalışmalarda yer alan değerlendirme kriterleri; ulaşım altyapısı,

yapılı çevre ve arazi kullanımı, doğal çevre, sosyo-demografik özellikler, ekonomik ve teknik kısıtlamalar dahil olmak üzere birçok faktörü içerisinde barındıran birkaç ana gruba ayrılmıştır. Literatür taramasına göre son yıllarda BPS istasyon yeri tespit çalışması yapan araştırmalarda kullanılan toplamda 34 adet farklı kriter ve araştırma yöntemleri Tablo 4.1.'de sunulmaktadır. Tablo 4.1'de dört gruba ayrılmış toplamda 34 farklı kriter, eğer çalışma kapsamında yer alan bir kriter ise “X” sembolü kullanılarak işaretlenmiştir.

Bisiklet park istasyonu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 30976 nolu resmi gazete yayımlanan Bisiklet Yolları Yönetmeliği'nde, “Bisikletlerin ulaşım ağı üzerinde veya civarında toplu ve güvenli olarak park amaçlı bırakılabilecekleri yeri veya ilgili idarelerin sorumluluğunda kiralık bisikletlerin işletilebileceği park yeri” olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yine Bisiklet Yolları Yönetmeliği'nde, bisiklet park istasyonlarının millet bahçesi, park ve rekreasyon alanlarındaki bisiklet yolları ve kent içinde yer alan bisiklet şebekesi ile bağlantılı olacak şekilde planlanması, toplu taşıma ağlarına en kolay erişilebilecek noktalarda yer alması, ve bunların yanı sıra üniversite kampüslerinde öğrenci hareketliliğinin yüksek olduğu yurtlar ve eğitim alanları arasında ulaşımının bütüncül bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacak şekilde konuşlandırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

BPS'lerin başarısı ve sürdürülebilirliği açısından en önemli stratejik kararlardan biri olan istasyon ağına ait konumların belirlenmesi çevresel, ekonomik ve sosyolojik birçok yönüyle kapsamlı bir değerlendirme süreci gerektirmektedir. Literatürdeki istasyon yeri belirleme çalışmaları ve Bisiklet Yolları Yönetmeliği ışığında, öncelikle bu tez kapsamında yer seçimi sırasında; istasyonların kentsel ulaşım ağına ait toplu taşıma duraklarına, tarihi turistik ve rekreasyon alanlarına, üniversite kampüslerine ve alışveriş merkezleri gibi cazibe merkezlerine yakın konuşlandırılmış olması hedeflenmektedir.

Tablo 4.1. Literatürdeki BPS istasyon yeri seçim çalışmalarında kullanılan kriterlere ve yöntemlere genel bakış

Çalışmalar	Jahanshahi, Minaei, Kharazmi, ve Minaei (2019)	Conrow, Murray, ve Fischer (2018)	Kabak, Erbaş, Çetinkaya, ve Özceylan (2018)	Park ve Sohn (2017)	Wuerzer ve Mason (2016)	Lopez Gonzalez (2016)	Liu ve diğerleri (2015)	Croci ve Rossi (2014)	Ghandehari, Pouyandeh, ve Javadi (2013)
Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler	CBS, Bulanık Mantık, AHP, VIKOR, JENKS	CBS, Biobjective Kapsama	AHP, CBS, MULTİ MOORA	Maksimum kapsama ve minimum empedans	CBS, Reilly ve Huff modeli	Maksimum kapsama ve minimum tesis, haritalama	ANN ve Voronoi-tabanlı gridleme	CBS bilgisi ve doğrusal panel veri	AHP, Matematiksel model, SAW
ULAŞIM FAKTÖRLERİ									
Aktarma merkezi			X			X			
Ana arter yol (K3.1.)									X
Banliyö durağı (K1.1.)			X						
Bisiklet yolu (K3.2.)	X	X	X			X			X
Feribot iskelesi (K2.1.)			X						
Metro istasyonu (K1.1.)	X			X				X	
Otobüs durağı (K3.5.)		X						X	X
Otomobil park sayısı									X
Tramvay ağı (K1.1.)			X					X	
Tren istasyonu (K1.1.)								X	
YAPILI ÇEVRE VE ARAZİ KULLANIMI FAKTÖRLERİ									
Alışveriş merkezi (K8.5)			X	X			X		
ATM					X				
Deniz kenarı yollar (K8.2)			X						
Düşük-orta gelir bölgesi		X							
Eğlence merkezleri (K8.5)	X						X		

Endüstri-ticari alan (K5.1.)	X				X				X
Hastane (K7.1.)					X				
İdari alan- kamu kurumları (K7)	X		X		X		X		X
İşçi yoğunluğu						X			
Müze (K8.3)					X			X	
Nüfus yoğunluğu (K4.1.)	X	X	X			X			
Rekreasyon alanları (K8)			X						X
Restoran					X		X		
Sinema (K8.5)					X			X	
Spor merkezi (K8.6)			X						
Tarihi-turistik alanlar (K8)			X						X
Tiyatro (K8.4)								X	
Üniversite bölgesi (K6.1.)								X	
Yerleşim alanı (K4)				X		X			X
Yeşil alan (K8.1.)			X	X	X				X
DOĞAL ÇEVRE FAKTÖRLERİ									
Topoğrafya ve eğim (K9.1.)	X					X			
DİĞER FAKTÖRLER									
Diğer istasyona yakınlık	X								
Güvenlik								X	
Görünürlük								X	

Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan ana faktörler, ana kriterler ve alt kriterler

FAKTÖRLER	ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER
ULAŞIM AĞI (F1)	Demiryolu Ulaşımı (K1)	Raylı Sistem İstasyonları (Banliyö, Metro, Tramvay, Tren) (K1.1.)
	Denizyolu Ulaşımı (K2)	Feribot İskeleleri (K2.1.)
	Karayolu Ulaşımı (K3)	Karayolları (K3.1.)
		Bisiklet Yolları (K3.2.)
		Yapımı Planlanan Bisiklet Yolları (K3.3.)
		Minibüs Hatlarına ait Güzergâhlar (K3.4.)
		Otobüs Durakları (K3.5.)
YAPILI ÇEVRE (F2)	Yerleşim Alanları (K4)	Bisiklet Taşıma Aparatlı Otobüs Hatlarına ait Güzergâhlar (K3.6.)
		Nüfus Yoğunluğu (K4.1.)
	Endüstri-Ticari Alanlar (K5)	İş Alanları (K5.1.)
	Eğitim Alanları (K6)	Üniversite Kampüsü Giriş Kapısı (K6.1.)
	Kamu Kurumları ve Kentsel İdari Alanlar (K7)	Hastaneler (K7.1.)
		Belediyeler (K7.2.)
		Kaymakamlıklar (K7.3.)
	Tarihi/Turistik, Eğlence ve Rekreasyon Alanları (K8)	Parklar (K8.1.)
		Manzaralı yollar (Deniz kenarı yollar) (K8.2)
		Müzeler (K8.3)
		Kültürel Mekânlar (Kültür Merkezleri, Tiyatrolar, Kütüphaneler) (K8.4)
		Eğlence Merkezleri (Alışveriş Merkezleri, Sinemalar) (K8.5)
		Spor Merkezleri (Stadyumlar) (K8.6)
DOĞAL ÇEVRE (F3)	Topoğrafya (K9)	Eğim (K9.1.)

Bu amaçla, İzmir’de farklı arazi kullanımlarına dayalı alternatif bisiklet paylaşım istasyon yeri seçimi için üç ana faktör grubu; ulaşım ağı, yapılı çevre ve doğal çevre olmak üzere, dokuz ana kriter ve yirmi bir alt kriter literatür ve uzman görüşleri ile belirlenmiştir. Tablo 4.2.’de bu tez çalışmada kullanılan ana faktörler, ana kriterler ve alt kriterler detaylandırılmıştır.

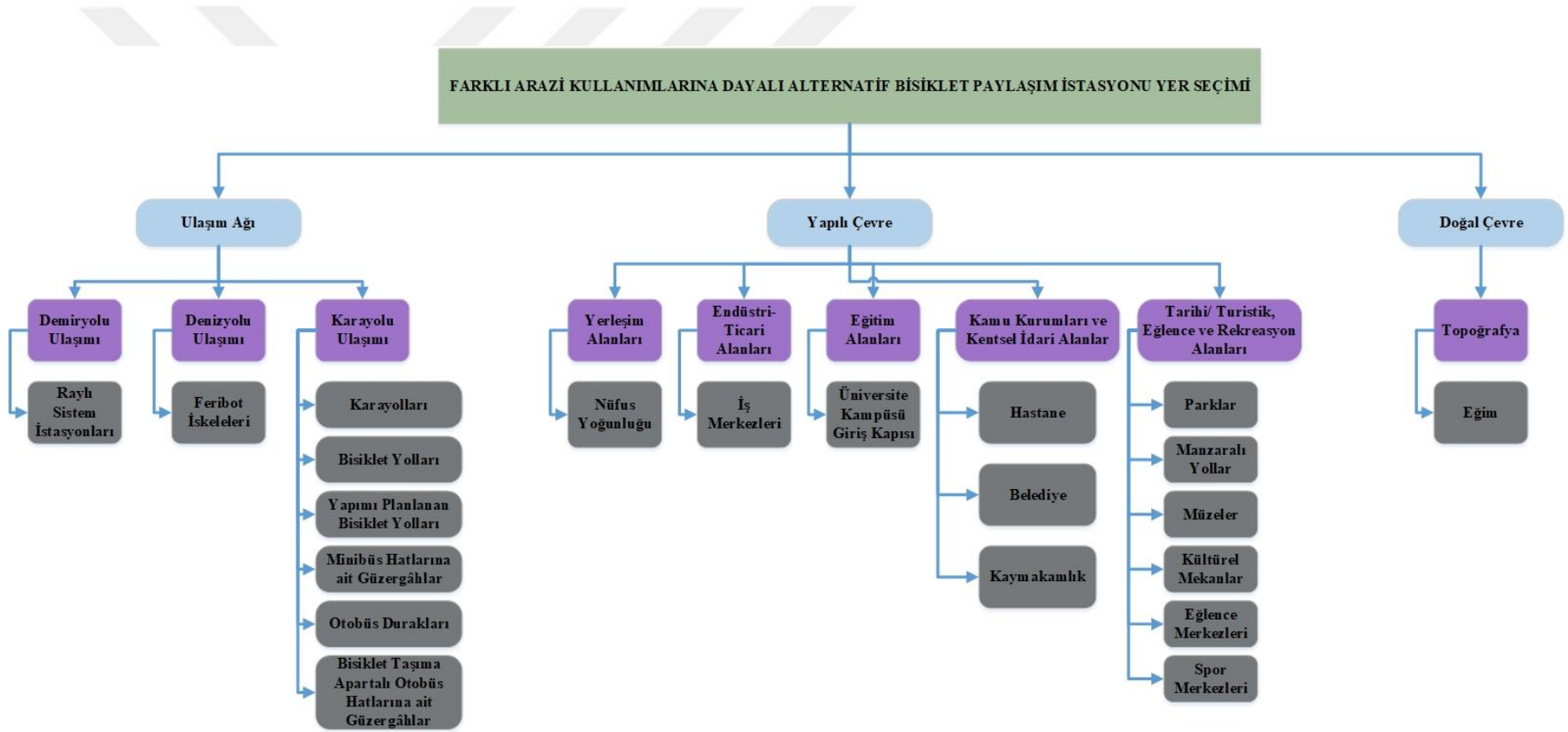
Ulaşım ağı faktörleri; karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşım altyapısına ait kriterleri, yapılı çevre faktörleri; yüksek yoğunluğa sahip alanları ve çekim merkezlerini, doğal çevre faktörleri ise arazinin topoğrafik özelliklerini içermektedir. Ulaşım ağı ve yapısal çevre faktörlerinin yıl boyunca istasyonlarda meydana gelen gezi üretme talebini maksimize edebileceğinin yanı sıra, bisiklet kullanımı esnasında sarf edilen çaba nedeniyle doğal çevre faktörlerinin hem kiralama hem de bırakma faaliyetlerinde var olan olumlu veya olumsuz etkisi dikkate alınmıştır. Şekil 4.1, bu tez çalışmada kullanılan kriterlerin hiyerarşik yapısını göstermektedir.

Hiyerarşik yapıda toplamda yirmi bir adet alt kriter bulunmaktadır. İlgili alt kriterler, farklı arazi kullanımları üzerinde yer alabilecek tesis veya kentsel altyapıyı ifade etmektedir. Kullanıcıların bu tesislerden en yakın istasyonlara erişim mesafeleri, Shu ve diğ. (2019) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, arazi kullanım türüne göre tesislerden istasyonlara erişim mesafesi için iki uzaklık tanımlanmıştır: bu mesafelerden birincisi optimum mesafe, ikincisi ise kabul edilebilir mesafedir.

Optimum mesafe, ilgili uzaklık içerisinde yer alan istasyonlarda kullanıcıların gezi üretme olasılığının % 85 olduğu mesafeyi tanımlarken, kabul edilebilir mesafe ise ilgili uzaklık içerisinde yer alan istasyonlarda kullanıcıların gezi üretme olasılığının % 15 olduğu mesafeyi ifade etmektedir. Bu çalışmada, farklı arazi kullanımları üzerinde yer alabilecek yirmi bir kriterden (tesisten veya kentsel altyapıdan) en yakın istasyona erişim mesafesi için optimum ve kabul edilebilir erişim mesafeleri Tablo 4.3.’de sunulmuştur. Tablo 4.3.’de yer alan mesafeler farklı arazi kullanımlarına göre değişiklik göstermemektedir. Tesislerden en yakın istasyona erişim mesafesi, arazi kullanımına göre değil tesislere göre farklılaşmaktadır. Tablo 4.3.’de yer alan mesafelere göre örneğin; hafta içi akşam pik saatleri içerisinde metro istasyonundan evine ulaşmak isteyen bir yolcu, metro istasyonundan 55-165 m optimum ve kabul edilebilir mesafe içerisinde yer alan istasyondan bisiklet kiralama eğilimi gösterirken, deniz kenarı gibi manzaralı bir yolda bisiklet kiralamak isteyen bir yolcu 75-190 m optimum

ve kabul edilebilir mesafe içerisinde yer alan istasyonda bisiklet kiralama eğilimi göstermektedir. Bunun nedeni, potansiyel yolcuların seyahat amaçlarının birbirinden farklı olması ve bireylerin seyahat amaçlarına göre yürüyüş mesafelerini değiştirme eğilimi göstermesinden kaynaklanmaktadır. Tablo 4.3.'de verilen optimum ve kabul edilebilir erişim mesafelerinin bir çoğu literatürden yararlanılarak elde edilmiştir. Literatürde rastlanılmayan, “minibüs hatlarına ait güzergahlar”, “yapımı planlanan bisiklet yolları” ve “bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergahlar” kriterlerine ait erişim mesafelerinin kabulü aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- Ulaşım ağı ana faktörü altında yer alan ve karayolu ulaşımı ana kriteri içerisinde bulunan “minibüs hatlarına ait güzergahlar” alt kriteri, literatürde bisiklet paylaşım istasyon yeri belirleme çalışmalarında nadir olarak göz önünde bulundurulmuş bir kriterdir. Yapılan çalışmada, bu kriter “minibüs ağına yakınlık” olarak tanımlanmasından ötürü bu kritere ait istasyona erişim mesafesi yolcuların benzer eğilim gösterebileceği düşüncesiyle “otobüs durağı” alt kriteri ile aynı olarak kabul edilmiştir.
- Benzer şekilde, literatürde BPS istasyon yeri belirleme çalışmalarında “yapımı planlanan bisiklet yolları” dikkate alınmaktadır. Fakat yapılan çalışmalarda, “yapımı planlanan bisiklet yollarına yakınlık” ifadesi kullanıldığından ötürü, bu çalışmada yapımı planlanan bisiklet yolları ile mevcut bisiklet yollarından en yakın istasyona erişim mesafeleri aynı olarak kabul edilmiştir.
- BPS istasyon yeri çalışmalarında literatürde rastlanılmayan bir diğer kriter ise “bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergahlar”dır. Bisiklet taşıma aparatlı otobüsler, yaklaşık olarak 120 adet otobüs hattında kentlilere hizmet vermektedir ve İzmir Büyükşehir Belediyesi’nin başlattığı sürdürülebilir projeleri arasında yerini almıştır. Bisikletlerin ve özellikle BPS bisikletlerinin kullanımını destekleyeceği fikrine dayanarak, böyle bir kriterin ayrı bir kriter olarak kabul edilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. “Bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergahlar” kriterine ait optimum ve kabul edilebilir erişim mesafesi, yolcuların benzer eğilim gösterebileceği düşüncesiyle “otobüs durakları” kriterine ait erişim mesafeleri ile aynı kabul edilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı arazi kullanımlarına dayalı alternatif bisiklet paylaşım istasyonu yer seçimi için kullanılan kriterlerin hiyerarşik yapısı

Tablo 4.3. Hiyerarşik yapıda yer alan kriterlerin tanımı, ölçü birimleri, optimum ve kabul edilebilir erişim mesafeleri

Kriterler		Ölçü Birimi	Erişim Mesafesi		Kriterin Tanımlanması
			Optimum Mesafe	Kabul edilebilir Mesafe	
Demiryolu Ulaşımı	Metro istasyonu	Yakınlık	55 m	165 m	Metro ve tren istasyonları ile tramvay ve banliyö duraklarına daha fazla yakınlık, daha yüksek istasyon kullanımı ile ilişkilendirilir.
	Tren istasyonu				
	Tramvay durağı				
	Banliyö durağı				
Denizyolu Ulaşımı	Feribot iskelesi	Yakınlık	65 m	165 m	Feribot iskelelerine daha fazla yakınlık, sadece farklı modlar arası transit yolcu sayısını değil aynı zamanda deniz yolu taşımacılığını olan talebi de arttırmaktadır.
Karayolu Ulaşımı	Karayolları	Yakınlık	10 m	30 m	Karayollarına daha fazla yakınlık, kent içi ulaşım alternatiflerine erişimi kolaylaştırabilir.
	Bisiklet yolları		20 m	80 m	Bisiklet tesisleriyle donatılmış yollar üzerine kurulmuş BPS istasyonları, kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilmektedir.
	Yapımı planlanan bisiklet yolları		20 m	80 m	
	Minibüs hatlarına ait güzergâhlar		30 m	130 m	Minibüs hatlarına daha fazla yakınlık, toplu taşıma kullanımına destek sağlar.
	Otobüs durakları		30 m	130 m	Otobüs duraklarına daha fazla yakınlık, farklı modlar arası transit yolcu sayısını arttırmaktadır.
	Bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergâhlar		30 m	130 m	
Yerleşim Alanları	Nüfus yoğunluğu	Yakınlık	45 m	140 m	Yüksek nüfus yoğunluğu, daha fazla istasyon kullanımı ile ilişkilendirilmektedir.

Endüstri-Ticari Alanlar	İş merkezleri	Yakınlık	45 m	140 m	Genç ve eğitim düzeyi yüksek bireyler, bisiklet kullanımına eğilimlidir.
Eğitim Alanları	Üniversite kampüs giriş kapısı	Yakınlık	50 m	120 m	Genç ve eğitim düzeyi yüksek bireyler, bisiklet kullanımına eğilimlidir.
Kamu Kurumları ve Kentsel İdari Alanlar	Hastane	Yakınlık	40 m	105 m	BPS istasyonları ile önemli kamu kurumu ve kentsel idari alanlara erişimin kolaylaşması, istasyonlardaki bisiklet paylaşım talebini artırır.
	Belediye				
	Kaymakamlık				
Tarihi/Turistik, Eğlence ve Rekreasyon Alanları	Park	Yakınlık	65 m	125 m	Tarihi/Turistik, Eğlence ve Rekreasyon Alanlarına yakın konuşlandırılmış istasyonlarda, yüksek gezi üretimi ve çekimi vardır.
	Manzaralı yollar		75 m	190 m	
	Müze		45 m	150 m	
	Kültürel mekânlar				
	Eğlence merkezi				
	Spor merkezi				
Topoğrafya	Eğim	Yüzde (%)	%0-4	%4-8	0 ile 8 derece arasındaki eğim seviyeleri bisiklet kullanımı için kabul edilebilir. 0-2 arası çok iyi, 2-4 arası iyi, 4-6 arası orta, 6-8 arası kötüdür. 8 derecenin üzerindeki eğimlere sahip bölgelerde bisiklet kullanımı genellikle tercih edilmez.

4.3. Kriterlerin ağırlıkların belirlenmesi: AHP yöntemi

BPS istasyon ağına ait uygun konumların belirlenmesinde kullanılacak gösterge sistemi (hiyerarşik yapı) Bölüm 4.2’de oluşturulmuştur. Gösterge sisteminde verilen her bir bağımsız kriter, istasyonların farklı arazi kullanımları üzerine konuşlandırılmasında aynı öneme, etkiye veya ağırlığa sahip değildir. Ayrıca arazi kullanım türüne göre gösterge sisteminde verilen birden fazla kriterin çelişen ve/veya çakışan hedeflerinin değerlendirilmesi karmaşık, kompleks ve kapsamlı bir karar süreci gerektirir. Bu nedenle tez kapsamında, AHP yöntemi, her bir bağımsız kriterin farklı arazi kullanımları üzerinde konuşlandırılacak istasyon konumlarındaki ağırlıklarını belirlemek üzere kullanılmıştır. AHP yöntemi; BPS planlamacılarının, karar vericilerin veya uzmanların kriterlerin kritik önemini bağımsız olarak belirlemelerine izin vererek, her bir alt kriterin ve alt kriterin ait olduğu ana kriterlerin önem düzeyinin ve dolayısıyla da ana faktörlerin beklenen hedefi karşılama derecesinin belirlenmesine olanak tanımaktadır.

AHP yöntemindeki değerlendirme süreci için seçilen uzmanlar; ulaştırma planlaması, tesis yeri tespiti, sürdürülebilirlik ve erişilebilirlik ile ilgili konularda yüksek prestijli akademisyenler ve uzmanlardır. Bu tez kapsamında, alternatif istasyon yeri seçiminde kullanılacak kriterlerin arazi kullanım türüne göre önemini değerlendirmek için 13 uzman seçilmiştir. Tablo 4.5’te uzman gruba ait mesleki yetkinlikler sunulmuştur. İstasyon yeri optimizasyon çalışması için kapsamlı bir şekilde görüş alınması amaçlanmış ve Tablo 4.4’te verilen 13 uzmanla görüşmeler yüz yüze veya online olarak sağlanmıştır. Bu nedenle, uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen değerlendirme sonuçları güvenilir denebilir.

Tablo 4.4. Uzman gruba ait mesleki yetkinlikler

Uzmanlık Alanı	Uzman Sayısı	Uzmanlık Seviyesi
Ulaştırma Planlaması	6	İnşaat Mühendisliğinden Ulaştırma Anabilim Dalından 1 Öğretim Üyesi ve 4 Araştırmacı, İzmir Ulaşım Planlama Müdürlüğü Birim Şefi
Tesis Yeri Planlaması	3	Çevre mühendisliğinden 1 Öğretim Üyesi, Peyzaj Mimarlığından 1 Öğretim Üyesi, Endüstri Mühendisliğinden 1 Araştırmacı
Sürdürülebilirlik ve Erişilebilirlik	4	İnşaat Mühendisliğinden 1 Öğretim Üyesi, Makine Mühendisliğinden 1 Araştırmacı, Elektrik-Elektronik Mühendisliğinden 2 Araştırmacı
Toplam	13	

Uzman grup ile yapılan anketler sonucuna göre, 21 adet kritere ait ağırlıkların farklı arazi kullanımına göre belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla literatürde önerildiği gibi ilk olarak, 13 adet ankette yer alan ikili karşılaştırma matrislerindeki puanların geometrik ortalaması alınmıştır.

Geometrik ortalaması alınan ikili karşılaştırma matrislerinin TO değerlerinin istenilen aralıkta olup olmadığının karşılaştırılması gerekmektedir. TO değerlerinin 0 ila 0.10 arasında olması beklenmektedir. İkili karşılaştırma matrislerinin TO değerleri için gerekli olan TI ve RI değerlerinin bilinmesi gerekir. Her bir matris için TI değeri, Denklem 2, 3 ve 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, RI değeri ise Tablo 3.2.'den yararlanılarak elde edilmiştir. Farklı arazi kullanımına göre yapılmış anketlerdeki her bir matrise ait TO değeri, Denklem 1'e göre hesaplanmış ve 0.10 değerini aşmadığı tespit edilmiştir. Ek olarak, Superdecision programı kullanılarak her bir matrise ait TO değerinin kontrolü de sağlanmıştır.

TO değerlerinin istenilen aralıkta olması durumunda, AHP yöntemindeki bir sonraki adım ise ikili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonun gerçekleştirilmesidir. Bunun için ilk olarak ikili karşılaştırma matrisinde yer alan sütundaki elemanların toplamı yine sütunda yer alan elemanlara bölünmüştür. Böylece sütun toplamı 1 olan bir kare matris elde edilmiştir. Ardından, sütun toplamı 1 olan matrisin satır toplamı da matris boyutuna bölünmüştür.

Böylece, karşılaştırma matrisinin satırında yer alan kriterlere ait öncelik değerleri yani ağırlıkları farklı arazi kullanımlarına göre elde edilmiştir. Farklı arazi kullanımına göre elde edilen ağırlıklar Tablo 4.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5.'te görüldüğü üzere, arazi kullanımının ulaşım olduğu bir bölgede yer alan istasyonların ulaşım ağına yakınlığının en önemli kriter olarak tanımlanması (0,64) şaşırtıcı değildir. Yapılan ikili karşılaştırmalar neticesinde, arazi kullanımı ulaşım olan bölgedeki demiryolu ulaşım istasyonlarına yakınlığın, karayolu ulaşım tesislerinin yakınlığından daha önemli olduğu bulunmuştur. Ayrıca, İzmir ilinde kentsel ulaşım da çok çeşitli ulaşım alternatifleri bulunmakla birlikte, son 5 yılda yöneticiler tarafından otobüs kullanımından raylı sistem kullanımına geçişi teşvik edici çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan teşvik çalışmaları ile birlikte mevcut durumda, kentliler ulaşım ihtiyaçlarını yüksek yoğunlukla İzban,

metro ve tramvay kullanımı ile karşılamaktadır.

Tablo 4.5. Farklı arazi kullanımına göre kriterlere ait belirlenen ağırlıklar

KRİTERLER	ULAŞIM	REKREASYON	EĞİTİM
Ulaşım Ağı	0,6407032	0,3494494	0,5648537
Yapılı Çevre	0,1781923	0,4645324	0,288243
Doğal Çevre / Topoğrafya / Eğim	0,1811045	0,1860182	0,1469033
Demiryolu Ulaşımı / Raylı Sistem İstasyonları	0,2520153	0,0912294	0,2232745
Karayolu Ulaşımı	0,2249692	0,1570944	0,1924966
Denizyolu Ulaşımı / Feribot İskeleleri	0,1637187	0,1011256	0,1490826
Yerleşim Alanları / Nüfus Yoğunluğu	0,0557475	0,1431592	0,0792989
Endüstri-Ticari Alanlar / İş merkezleri	0,027106	0,0577069	0,0278252
Eğitim Alanları / Üniversite Giriş Kapıları	0,0500493	0,0790556	0,1160685
Kamu Kurumları ve Kentsel İdari Alanlar	0,0275102	0,051791	0,0369386
Tarihi/Turistik ve Rekreatyon Alanları	0,0177793	0,1328197	0,0281117
Hastaneler	0,0116874	0,0211799	0,0176215
Belediyeler	0,0098345	0,0195123	0,0125302
Kaymakamlıklar	0,0059883	0,0110988	0,0067869
Parklar	0,0040841	0,0250471	0,0067598
Manzaralı Yollar	0,0033435	0,0191796	0,0048833
Müzeler	0,0015055	0,0130566	0,0025856
Kültürel Mekânlar	0,0020204	0,0173489	0,0042018
Eğlence Merkezleri	0,0030635	0,0356919	0,0049669
Spor Merkezleri	0,0037623	0,0224956	0,0047143
Karayolları	0,0415698	0,0226454	0,0177014
Bisiklet Yolları	0,0534728	0,0440276	0,0585605
Otobüs Durakları	0,0333915	0,0233941	0,0247088
Bisiklet Taşıma Aparatlı Otobüs Hatların Geçtiği Duraklar	0,0447472	0,0292708	0,0449116
Yapımı Planlanan Bisiklet Yolları	0,0311304	0,0230841	0,0296784
Minibüs Hatlarına ait Güzergâhlar	0,0206575	0,0146725	0,016936

Ek olarak, karayolu ulaşım ağına ait tesislerin öneminin en önemliden önemsiz doğru sıralaması ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- Bisiklet Yolları
- Bisiklet Taşıma Aparatlı Otobüs Hatların Geçtiği Duraklar
- Karayolları
- Otobüs Durakları
- Yapımı Planlanan Bisiklet Yolları
- Minibüs Hatlarına ait Güzergâhlar

Arazi kullanımı rekreasyon olan bir bölgede yer alan istasyonların yapılı çevreye olan yakınlığının öneminin diğerlerine nazaran daha yüksek çıkması, istasyonların yine tarihi/turistik ve rekreasyon alanlarına yakın olmasının gerekliliği ile ilişkidir. Arazi kullanımı rekreasyon olan bir bölgede, yapılı çevre içerisinde yer alan kriterlerin öneminin en önemliden önemsizye doğru sıralaması ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- Eğlence Merkezleri
- Parklar
- Spor Merkezleri
- Manzaralı Yollar
- Kültürel Mekânlar
- Müzeler

Arazi kullanımı eğitim olan bölgede yer alan potansiyel yolcuların ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması noktasında hem ulaşım hem de eğitim alanlarına yakın konuşlanması gerekliliği de uzmanlar tarafından dikkate alındığı görülmektedir. Arazi kullanımı eğitim olan bir bölgede yer alabilecek potansiyel istasyonların yakınlığının önceliklendirme sırası en önemliden en önemsizye doğru aşağıda verilmiştir.

- Eğitim Alanları
- Yerleşim Alanları
- Kamu Kurumları ve Kentsel İdari Alanlar
- Tarihi/Turistik ve Rekreasyon Alanları
- Endüstri-Ticari Alanlar

Önceliklendirme sırası incelendiğinde, uzmanlar tarafından nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu alanlardan üniversite alanlarına yapılacak eğitim amaçlı seyahatlerinde yine göz önünde bulundurulduğu dikkat çekicidir.

4.4. CBS ve Bulanık Mantık uygulaması

3 ana faktör, 9 ana kriter ve 21 alt kriter; literatür ışığında ve uzman görüşü aracılığı ile belirlenmiş ve hiyerarşik yapıda sunulmuştur. Sınıflandırılmış 21 adet alt kritere ait katmanlar

ArcGIS ortamında oluşturulmuştur. Ayrıca, 21 adet kritere ait Tablo 4.3.'te verilen optimum ve kabul edilebilir erişim mesafeleri ArcGIS ortamında tanımlanmıştır. Ek olarak, tesislere ait tanımlanan erişim mesafesi içerisinde yer alan istasyonlarda kullanıcıların gezi üretme eğilimini karakterize etmek için, ArcGIS ortamında “Spatial Analyst” seçilerek ve ardından “overlay” sekmesindeki bulanık üyelik fonksiyon özelliği kullanılarak tesislere tanımlanan erişim mesafelerinin bulanıklaştırılması sağlanmıştır. Her bir kriter için ArcGIS ortamında hazırlanan katmanlara ait erişim mesafeleri bulanıklaştırılmış haritalar bölüm 4.4.1.'de sunulmuştur.

4.4.1. CBS’de altlıkların oluşturulması ve bulanık erişim mesafesi tayini

Bu bölümde, BPS istasyon yeri optimizasyon çalışmasında kullanılan kriterlere ait erişim mesafeleri bulanıklaştırılmış katmana ait haritalar ve gerekli açıklamalar her bir kriter için ayrı ayrı sunulmuştur. Nüfus yoğunluğu haritası ile eğim haritası hariç diğer tüm haritalarda, siyah renk “0’a çok yakın bir değeri” yani en uygunsuz durumu, beyaz renk “1’e çok yakın bir değeri” yani en uygun durumu ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, siyah renk ile potansiyel yolcuların tesislerden kabul edilebilir erişim mesafesinden daha uzak bir mesafede yer alan istasyonlarda gezi üretme eğiliminin çok azalması durumu (kiralama yapılmaması durumu) ve beyaz renk ile tesislere optimum erişim mesafesi içerisinde yer alan istasyonlarda gezi üretme eğiliminin yüksek olması (kiralama yapma durumu) durumu karakterize edilmiştir. Bunu sağlamak için, CBS içerisinde yer alan bulanık üyelik fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Çalışmada beyaz renk “istenilen veya arzu edilen durumu” ifade etmesinden ötürü; nüfus yoğunluğu haritasında “yoğun yerleşim alanlarını” , eğim haritasında ise “%8’den daha düşük” eğime sahip alanları ifade etmektedir.

1) Ulaşım Ağı

- **Demiryolu Ulaşımı (K1)**

BPS’lerin demiryolu ulaşımı ile entegre olarak çalışmasının sistem performansı üzerine olumlu etkisi, literatürde oldukça fazla çalışmada araştırma konusu olmuştur. Bu nedenle, İzmir ili içerisinde yer alan demiryolu ağına ait istasyonların konumlarının dikkate alınması, yapılandırılması ve genişletilmesi planlanan BPS ağının performansının artırılması noktasında önem arz etmektedir.

K1.1. Raylı Sistem İstasyonları

Kent içi ulaşım hareketliliğinin BPS ile desteklenmesi özellikle raylı sistem kullanımını ve bisiklet kullanımını arttırabileceğini savunan araştırmalar vardır. Ayrıca, bisiklet paylaşım talebinin yıl boyunca maksimum seviyede olduğu istasyonların raylı sistem istasyonlarına yakın konuşlandırılmış istasyonlarda meydana geldiği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Yapılandırılacak olan bir BPS için raylı sistem istasyonlarının konumlarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Şekil 4.2’de verilen raylı sistem istasyonları kapsamında; İzmir metro, İzmir Banliyö (İzban), İzmir Tramvay (Tram İzmir) ve İzmir Tren Garı değerlendirilmiştir. Şekil 4.2’de raylı sistem istasyonlarının erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 110 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.2. Raylı sistem istasyonları

- Denizyolu Ulaşımı (K2)

İzmir’in coğrafi yapısı ve Ege denizine kıyısı olması sebebiyle karşı yakaya geçmek isteyen potansiyel yolcuların denizyolu ulaşımını kullanımı oldukça yaygındır. Denizyolu ulaşımı bu noktada kentlilerin ulaşım hareketliliğini birbirine bağlayan önemli bir ulaşım türü olarak ortaya çıkmaktadır. Deniz yolu ulaşımını destekleyen bir BPS sistemi hem transit yolcu

sayısını hem de denizyolu ulaşımını kullanabilecek potansiyel yolcu sayısını arttırması beklenmektedir.

K2.1. Feribot İskeleleri

İzmirim kart ile gerçekleştirilen seyahatler için yapılan ilk ücretlendirmeden sonra 90 dakika içinde yapılan diğer transferler ücretsiz gerçekleştirildiğinden, potansiyel yolculara planlanan varış yerine farklı ulaşım modları arasında transfer yaparak ulaşmak cazip gelebilmektedir. İzmir şehir ulaşım sistemi de farklı ulaşım modlarını birbiri ile entegre ederek kentlilerin ulaşım hareketliliğini desteklemeyi amaçlamaktadır. Örneğin; İzmir Metro'dan Konak istasyonunda inip ardından Konak feribot iskelesinden ücretsiz aktarma ile Karşıyaka'ya geçip ardından yine ücretsiz olarak aktarma yaparak Tram İzmir kullanımı ile istenilen varış noktasına ulaşılabilir. Feribot iskelelerinin ayrıca manzaralı yollara ve mevcut bisiklet yollarına yakınlığı da iskelelere yakın kurulabilecek BPS istasyonlarının kullanımını arttırabileceği düşünülmektedir. Şekil 4.3'de feribot iskelelerinin erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 115 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



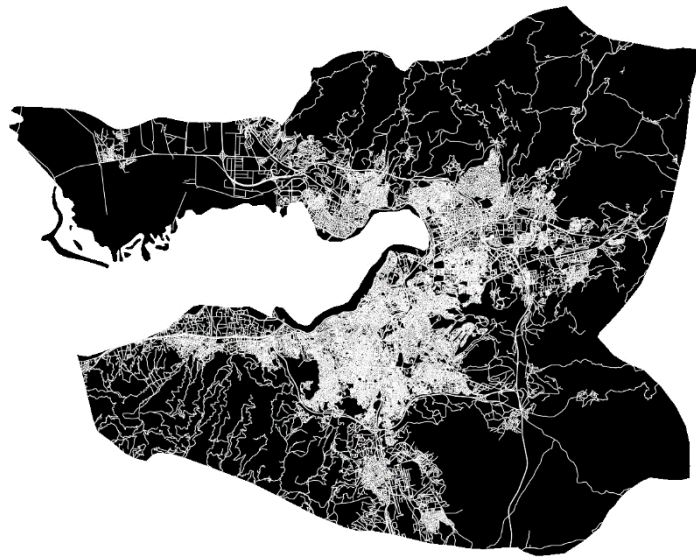
Şekil 4.3. Feribot iskeleleri

- Karayolu Ulaşımı (K3)

Kent içi ulaşım sistemlerinden biri olan karayolu ulaşım ağının geliştirilmesinde, özellikle bisiklet kullanımını destekleyici unsurlar ve teşvik edici çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde bisiklet yollarının yapımı ile ilgili yürürlüğe giren yeni yönetmelikler, şehirlerde bisiklet yollarının yapımı ile ilgili yükümlülükler ve yeni alınan kararlar bu çalışmalara örnektir. Karayolu ağlarının, bisiklet yollarının ve diğer karayoluna ait toplu taşıma duraklarının BPS ile desteklenmesi; kısa süreli seyahatlerde özel araç kullanımı yerine bisiklet kullanımını yaygınlaştırabilir. BPS sistemlerinin karayolu ulaşımına ait tesisler tarafından destekleniyor olması sistem performansı açısından önem arz etmektedir. Karayolu ulaşımına ait tesisler bu çalışma kapsamında 6 adet alt kritere ayrılmıştır.

K3.1. Karayolları

Karayolları, kent içi ulaşımın gerçekleştirilmesinde temel unsurdur. İzmir ilinde yer alan bisiklet yolları sınırlıdır ve bisiklet kullanımı genellikle araçlarla etkileşim halinde bulunabilecek karayolları üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, karayollarına yakın konuşlandırılacak BPS istasyonlarından kiralanacak bisiklet ile varılmak istenilen noktaya kolaylıkla erişilmesi sağlayabilir. Sistemlerin karayollarına yakın olması ayrıca mevcut ve planlanan bisiklet yollarına da istasyonların yakın olmasını da sağlayacaktır. Şekil 4.4'te karayollarının erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 20 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.4. Karayolları

K3.2. Bisiklet Yolları

Bisiklet yollarının sürüş güvenliği, konforu ve performansı üzerindeki olumlu etkisi literatürde yer alan araştırma konularındandır. Özellikle kent içi araç trafiğinden ayrılmış özel bisiklet yollarının varlığı, kadın yolcular için bisiklet kullanımı açısından uygun ortam sağlar. Genellikle kadın sürücüler, trafik yoğunluğunun düşük ve araç hızlarının az olduğu güzergâhlarda yer alan bisiklet yollarını tercih etmektedir. Bisiklet yollarına yakın konuşlandırılacak BPS istasyonlarından bisiklet kiralama faaliyetlerinin artacağı düşünülmektedir. Şekil 4.5'te bisiklet yollarının erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 50 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.

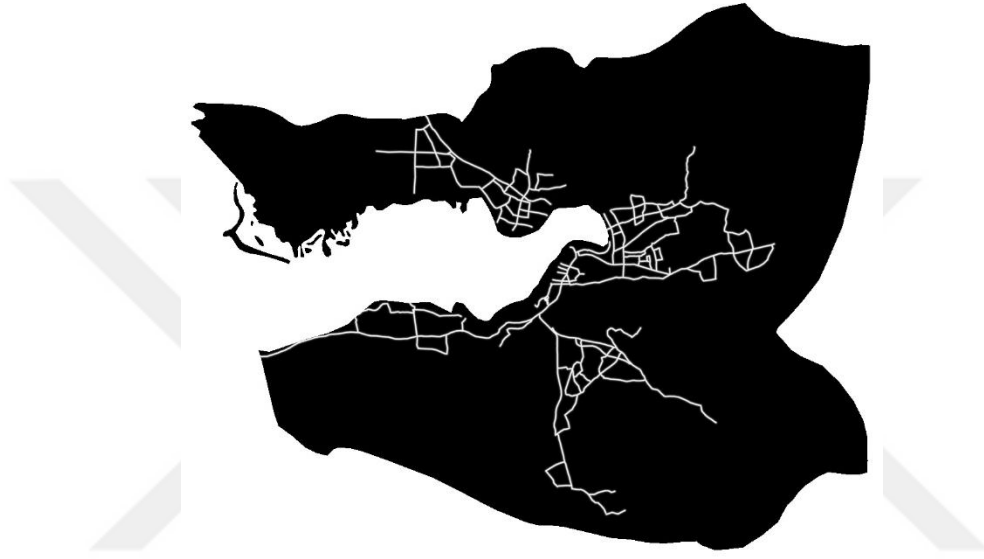


Şekil 4.5. Bisiklet yolları

K3.3. Yapımı Planlanan Bisiklet Yolları

Mevcut durumda var olan bisiklet yollarına ilave yeni bisiklet yollarının yapımı devam etmektedir. İstasyon ağı genişletilmek istenilen BPS sisteminin yapımı planlanan bisiklet yollarına yakın konuşlandırılması sistemin sürdürülebilirliği ve gelecekte meydana

gelebilecek kiralamaların arttırılması için önem arz etmektedir. Literatürde yapımı planlanan bisiklet yollarının BPS istasyon yeri çalışmalarında yer aldığı bilinmektedir. Şekil 4.6’da yapımı planlanan bisiklet yollarının erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 50 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.6. Yapımı planlanan bisiklet yolları

K3.4. Minibüs Hatlarına ait Güzergâhlar

Şehir içi ulaşımında toplu taşıma modlarından biri olan minibüs hatları, İzmir ilinde oldukça yaygın kullanılan bir ulaşım alternatifi olarak kentlilere hizmet vermektedir. Mevcut durum var olan minibüs hatları yüksek yoğunluklu talep gören merkezler arasında hizmet vermesi nedeniyle bu hatlar üzerine inşa edilecek BPS istasyonlarındaki bisiklet paylaşım talebini arttırabilir. Ayrıca, BPS sistemleri sayesinde minibüs güzergâhlarına ulaşımın motorlu araç yerine bisiklet kullanımının benimsenmesi de kolaylaşacaktır. Ek olarak, literatürde yer alan çalışmalarda, BPS istasyon yeri seçimi çalışmalarında minibüs hatlarına ait güzergâhların yer aldığına dikkat çekmekte fayda vardır. Şekil 4.7’de minibüs hatlarına ait güzergâhların erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 80 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.7. Minibüs hatlarına ait güzergâhlar

K3.5. Otobüs Durakları

Karayolu ulaşımı denilince akla ilk gelen ulaşım modlarından biri olan otobüs kullanımının BPS ile desteklenmesi; hem otobüs kullanım talebini arttıracaktır hem de motorlu araç kullanımı yerine daha sağlıklı ve çevreci bir ulaşım modelinin kullanılmasını sağlayacaktır. BPS sistemlerine ait istasyonların otobüs duraklarına yakın konuşlandırılması, otobüs durağından varış noktası arasındaki boşluğu doldurabilir veya otobüs durağına ulaşımı BPS bisikleti ile sağlanabilir. Otobüs duraklarına yakın konuşlandırılmış istasyonlarda bisiklet paylaşım talebinin arttığı gözlenmiştir. Kentlilerin seyahatlerinde BPS sistemlerindeki bisikletleri kullanmayı benimsemeleri için otobüs hatlarına ait güzergâhların veya durakların sistem dizaynında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Şekil 4.8’de otobüs duraklarının erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 80 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.8. Otobüs durakları

K3.6. Bisiklet Taşıma Aparatlı Otobüs Hatlarına ait Güzergâhlar

Bisiklet taşıma aparatlı otobüsler, İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından hayata geçirilen ve ulaşımında bisiklet kullanımını teşvik eden çevreci bir projedir. Mevcut durumda bisiklet taşıma aparatı 120 adet güzergahta yer alan otobüs hatlarında bulunmaktadır. Bisiklet taşıma aparatlı otobüse binmek isteyen bir bisikletli; öncelikle bisiklet taşıma aparatını açmalı, otobüse en yakın boş rafa bisikleti güvenli bir şekilde yerleştirmeli ve son olarak bisikleti sabitleyen rafi açıp bisikleti geri almalıdır. Bisiklet taşıma aparatına sahip otobüsler, diğer otobüslere nazaran bisiklet kullanımını daha fazla destekleyebileceği ve BPS kullanımının yaygınlaşması durumunda BPS bisikletleriyle daha uzun mesafelerde seyahatler yapılmasını kolaylaştırabileceği düşüncesi ile bu kriterin, bir BPS istasyon yeri optimizasyon çalışmasında ayrı bir kriter olarak kabul edilebilirliği uygun görülmüştür. Şekil 4.9’da bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergâhlara ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 80 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.9. Bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergâhlar

2) Yapılı Çevre

• Yerleşim Alanları (K4)

Yoğun yerleşim alanlarına yakın konuşlandırılmış BPS istasyonlarında yüksek gezi üretimi gözlenmektedir. Yerleşim alanlarında yer alan istasyonlardan; iş merkezleri, eğitim alanları veya eğlence merkezlerine yakın konuşlandırılmış istasyonlara gerçekleştirilen seyahatlerde sabah pik saatlerde yoğun olarak bisiklet kiralanırken, akşam pik saatlerde cazibe merkezlerindeki istasyonlardan yerleşim alanlarına seyahatler gerçekleştirilmektedir. Kentlilerin seyahatlerini BPS ile gerçekleştirmeleri veya tamamlamaları için yerleşim alanlarına yakın konuşlandırılmış istasyonlara ihtiyaç vardır.

K4.1. Nüfus Yoğunluğu

Yerleşim bölgelerinde yer alan istasyonlarda yüksek gezi üretimi ve çekimi olduğu bilinmekle beraber, istasyon yeri optimizasyonu çalışmasında göz önünde bulundurulması noktasında yerleşim alanlarının “nüfus yoğunluğu” ile temsil edebilecek bir kriter olarak kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında, İzmir ili 2019 yılına ait merkez ilçelerin nüfus verileri kullanılmıştır. 9 adet merkez ilçeye ait nüfus verileri TÜİK’ten elde edilmiştir ve Tablo 4.6’da sunulmuştur.

Tablo 4.6. İzmir ili 2019 yılına ait nüfus verileri

İLÇE	NÜFUS
ÇİĞLİ	200211
KARŞIYAKA	349290
BORNOVA	450992
KONAK	351572
BALÇOVA	79681
NARLIDERE	65737
GAZİEMİR	137808
BUÇA	510695

Tablo 4.6’da yer alan ilçe nüfus verileri ArcGIS ortamına aktarılmış ve Urban Atlas tarafından elde edilen İzmir ili yerleşim alanları haritası ile birleştirilmiştir. Böylece, ilçelere ait nüfus verisi, yine ilçede yer alan yerleşim alanlarına aktarılması sağlanmıştır.



Şekil 4.10. Nüfus yoğunluğu

Şekil 4.10’da nüfus yoğunluğuna ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “large” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 4000 m ve yayılım parametresi için 5 seçilmiştir.

- Endüstri-Ticari Alanlar (K5)

Endüstri-ticari alanlar, bisiklet paylaşım talebini arttıran ve genellikle yüksek çekim ve üretim bölgeleri içerisinde yer alan merkezlerdir. Bu alanların BPS ile erişilebiliyor olması, hem sistem performansının iyileştirilmesi noktasında önem arz eder hem de çalışanların iş seyahatlerini BPS ile gerçekleştirmelerine olanak tanır. Yüksek talep potansiyelinin varlığı göz önünde bulundurularak, endüstri-ticari alanların bu çalışma kapsamında değerlendirilmesi gerekliliği düşünülmüştür.

K5.1. İş merkezleri

Ticari alanlarda bulunan yoğun iş merkezlerindeki çalışanların ulaşım ihtiyaçları karşılanmalıdır. Birçok iş merkezinin bir arada yer aldığı bu ticari alanlarda seyahat talebi iş giriş ve çıkış saatlerinde artmaktadır. BPS ile toplu taşıma ile gerçekleştirilecek seyahatlerin desteklenmesi, kentlilerin iş seyahatlerinde bisiklet kullanmasını sağlayabilir. Ayrıca, iş alanlarının genellikle şehir merkezinde yer alması da yine kullanıcı talebini arttırabilir. Şekil 4.11’de iş merkezlerine ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 92,5 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.11. İş merkezleri

- Eğitim Alanları (K6)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan “Bisiklet Yolları” yönetmeliğinde yer alan bisiklet park istasyonlarının “eğitim alanlarına yakın konuşlandırılması” hedefinin yine bu çalışma kapsamında değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Eğitim seyahatlerinin BPS ile desteklenmesi, özellikle yüksek eğitim seviyesine sahip bireyler tarafından daha kolay benimsenebileceği düşünülmüştür.

K6.1. Üniversite Kampüs Giriş Kapısı

Eğitim alanları kapsamında, İzmir’de yer alan kampüs üniversitelerinin kampüs giriş kapıları değerlendirmeye alınmıştır. İlkokul, ortaokul ve liselerin bu çalışma kapsamında yer almaması, BPS kullanımının yalnızca 18 yaş ve üzeri bireyler tarafından gerçekleştiriliyor olmasına dayanmaktadır. Genç ve eğitimli bireylerin, üniversiteye ulaşmak için gerçekleştirecekleri kısa süreli seyahatlerinin BPS istasyon ağı sayesinde bisiklet ile sağlanması hedeflenmiştir. Şekil 4.12’de üniversite kampüsü giriş kapısına ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 85 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.12. Üniversite kampüslerine giriş kapısı

- Kamu Kurumları ve Kentsel İdari Alanlar (K7)

Kamu kurumları ve kentsel idari alanlar kapsamında hastane, belediye ve kaymakamlık binaların yer aldığı yerler değerlendirmeye alınmıştır. Hastane, belediye ve kaymakamlıklarda yer alan çalışanların iş seyahatlerini veya bu alanlara ulaşmak isteyen kentlilerin erişiminin BPS ile desteklenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de hastane, belediye ve kaymakamlık binalarına ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 72,5 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.

K7.1. Hastane

İzmir’de yer alan büyük ölçekli özel ve devlet hastaneleri değerlendirme kapsamına dâhil edilmiştir.



Şekil 4.13. Hastane binaları

K7.2. Belediye: İzmir ilinde yer alan büyükşehir belediyesi ile ilçe belediyelerine ait binaların konum bilgisini içeren harita hazırlanmıştır.



Şekil 4.14. Belediye binaları

K7.3. Kaymakamlık: İzmir ili merkez ilçelerinin kaymakamlık binalarının yer bilgilerini içeren bir harita hazırlanmıştır.



Şekil 4.15. Kaymakamlık binaları

- Tarihi/Turistik, Eğlence ve Rekreasyon Alanları (K8)

Kentlilerin hafta sonu, tatil günü veya diğer iş dışı zamanlarında tarihi, turistik, eğlence ve rekreasyon alanlarında kullanabilecekleri bisikletin sağlanmasının BPS ile desteklenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca parklar, yeşil alanlar, deniz manzaralı yollar ve eğlence merkezleri kentliler tarafından oldukça sık tercih edilen seyahat noktalarını içerisinde barındırmaktadır. Bu tür destinasyonlarda konuşlandırılan BPS istasyonlarında yüksek gezi üretimi gözlemlenmektedir.

K8.1. Parklar

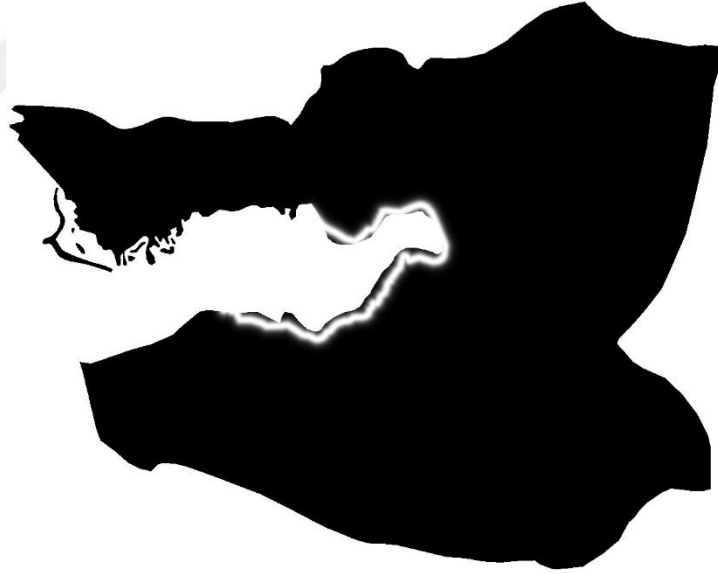
Parklara, yeşil alanlara ve rekreasyon alanlarına yakın konuşlandırılan BPS istasyonlarında genellikle güneşli günlerde veya hafta sonlarında bisiklet kiralama talebi artmaktadır. Eğlence amaçlı gerçekleştirilen seyahatlerde kullanılan bisikletin BPS ile sağlanması, BPS'nin bir ulaşım alternatifi olarak kabul edilebilirliğini arttırabilir. Spor aktivitesini BPS bisikletleri ile gerçekleştiren bir kentli, diğer ulaşım seyahatlerinde de BPS bisikletini kullanma eğilimi gösterebilir. Şekil 4.16'da parklara ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında "small" üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 95 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.16. Parklar

K8.2. Manzaralı Yollar

İzmir şehrinin coğrafi konumu nedeniyle denize kıyısı bulunan iki yakası vardır. Sahil şeridinde yer alan kordon boyu ve yürüyüş alanları şehir sakinleri tarafından en çok tercih edilen rekreasyon alanlarından biridir. Ayrıca, bu alanlardaki mevcut durumun bisiklet kullanımına uygunluğu nedeniyle burada konuşlandırılan istasyonlarda bisiklet kiralama talebinin yüksek olabileceği düşüncesi değerlendirilmiştir. Ek olarak, manzaralı yollarda kullanılan BPS bisikletlerinin sistem görünürlüğünü ve kabul edilebilirliğini arttırabilir. Bu nedenle, manzaralı yollar bu çalışma kapsamına dahil edilen bir diğer kriter olarak sunulmuştur. Şekil 4.17’de manzaralı yollara ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 265 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.17. Manzaralı yollar

K8.3. Müzeler

Tarihi mekânlardan biri olan müzeler, kentliler ve kente gelen turistler tarafından tercih edilen ziyaret noktaları arasında yer almaktadır. Literatürde gerçekleştirilen araştırmalara göre müzelerin yakınında bulunan istasyonlarda yüksek gezi üretimi gözlenmektedir. Sistem

performansını arttırmak için bu çalışma tarihi yerler arasındaki ulaşımın BPS ile desteklenmesini amaçlanmıştır. Şekil 4.18’de müzelere ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 97,5 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.18. Müzeler

K8.4. Kültürel Mekânlar

Çevre bilinci gelişmiş, kültürlü ve eğitim seviyesi yüksek bireyler seyahatlerinde bisiklet kullanımına önem vermektedir. Kültürel mekânlardan biri olan kütüphaneler ve kültür merkezleri yine bu bireyler tarafından tercih edilebilecek noktalar arasında yer alabilir. Bu nedenle, bu çalışmada BPS’lerin kültürel mekânlara ulaşımı kolaylaştırması hedeflenmiştir. Şekil 4.19’da kültürel mekânlara ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 97,5 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.19. Kültürel mekânlar

K8.5. Eğence Merkezleri

Alışveriş merkezleri, sinema salonları vb. eğence merkezleri kentlerde yüksek gezi çekim ve üretim noktaları arasında yer almaktadır. Bu alanlara yakın konuşlandırılmış istasyonlarda, rekreasyon amaçlı gezi üretiminin artacağı düşünülmektedir. Kentlerde eğence amaçlı seyahatlerin bisiklet ile sağlanması amacıyla, bu çalışma kapsamına eğence merkezleri parametresi dâhil edilmiştir. şekil 4.20’de eğence merkezlerine ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small  yelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 97,5 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.20. Eğlence merkezleri

K8.6. Spor Merkezleri

Spor aktiviteleri için ulaşılabilecek önemli spor merkezleri arasında yer alan stadyumlara BPS bisikletleri ile ulaşılması hedeflenmektedir. Bisiklet kullanımının sporcu bireyler tarafından daha tercih edilebilir bir araç olduğu düşünüldüğünde, spor merkezlerine ulaşımın BPS ile kolaylaşması sistem kullanımını arttırabilir. Bu bağlamda, spor merkezleri parametresinin çalışma kapsamında dâhil edilmesi uygun bulunmuştur. Şekil 4.21’de spor merkezleri ait erişim mesafesinin bulanıklaştırılmasında “small” üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Small üyelik fonksiyonu seçildikten sonra orta nokta için 97,5 m ve yayılım parametresi için 3 seçilmiştir.



Şekil 4.21. Spor merkezleri

2) Doğal Çevre

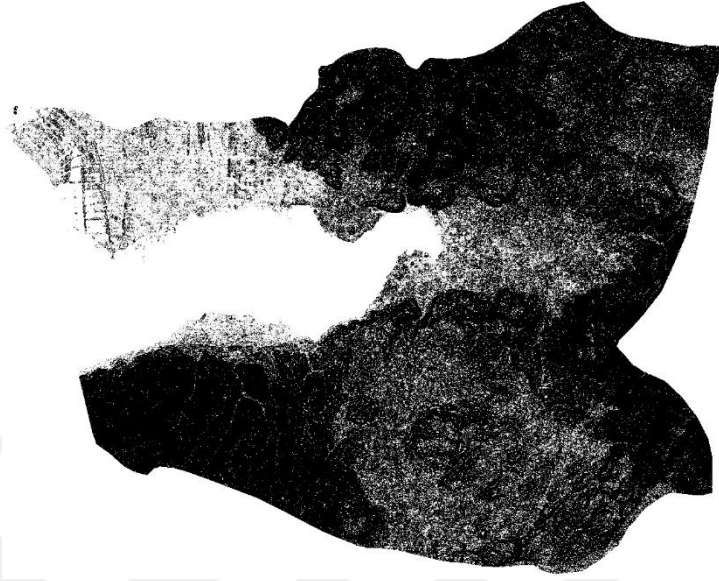
- Topoğrafya (K9)

Topoğrafya, bisiklet kullanımı sırasında sarf edilen çabayı arttırabilir veya azaltabilir. Örneğin, dik yamaçlardaki ve dağlık alanlardaki istasyonlar arasında yüksek eğim farklarının bulunması, yukarı doğru bisiklet sürerken gerekli çaba miktarını arttırırken, aşağı doğru sürürken güvenli olmayan yüksek hızlara yol açabilir (Frade ve Ribeiro, 2014). Yapılan çalışmalarda, yüksek eğimlere sahip alanlarda, bisiklet paylaşım talebinde azalmalar gözlenmiştir. Bu nedenle, kentlerin coğrafi yapısı özellikle topoğrafik koşulları sistem kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir.

K9.1. Eğim

Kentin arazi yapısının bisiklet kullanımına uygunluğu sistem sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Arazinin eğimi, % 0 ila % 4 arasındayken bisiklet kullanımı için uygun bir ortam sağlanmaktadır. Ayrıca, arazi eğimi % 4'ten % 8'e yükseldiğinde bisiklet kullanım tercihi azalmakta ve %8 üzerindeki eğimlerde bisiklet kullanımı tercih edilmemektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında İzmir iline ait arazi yapısı değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 4.22'de İzmir iline ait eğitim haritasının bulanıklaştırılmasında “linear” üyelik fonksiyonu

kullanılmıştır. Linear üyelik fonksiyonu seçildikten sonra minimum değer için 8 ve maksimum değer için 4 seçilmiştir.



Şekil 4.22. Eğim

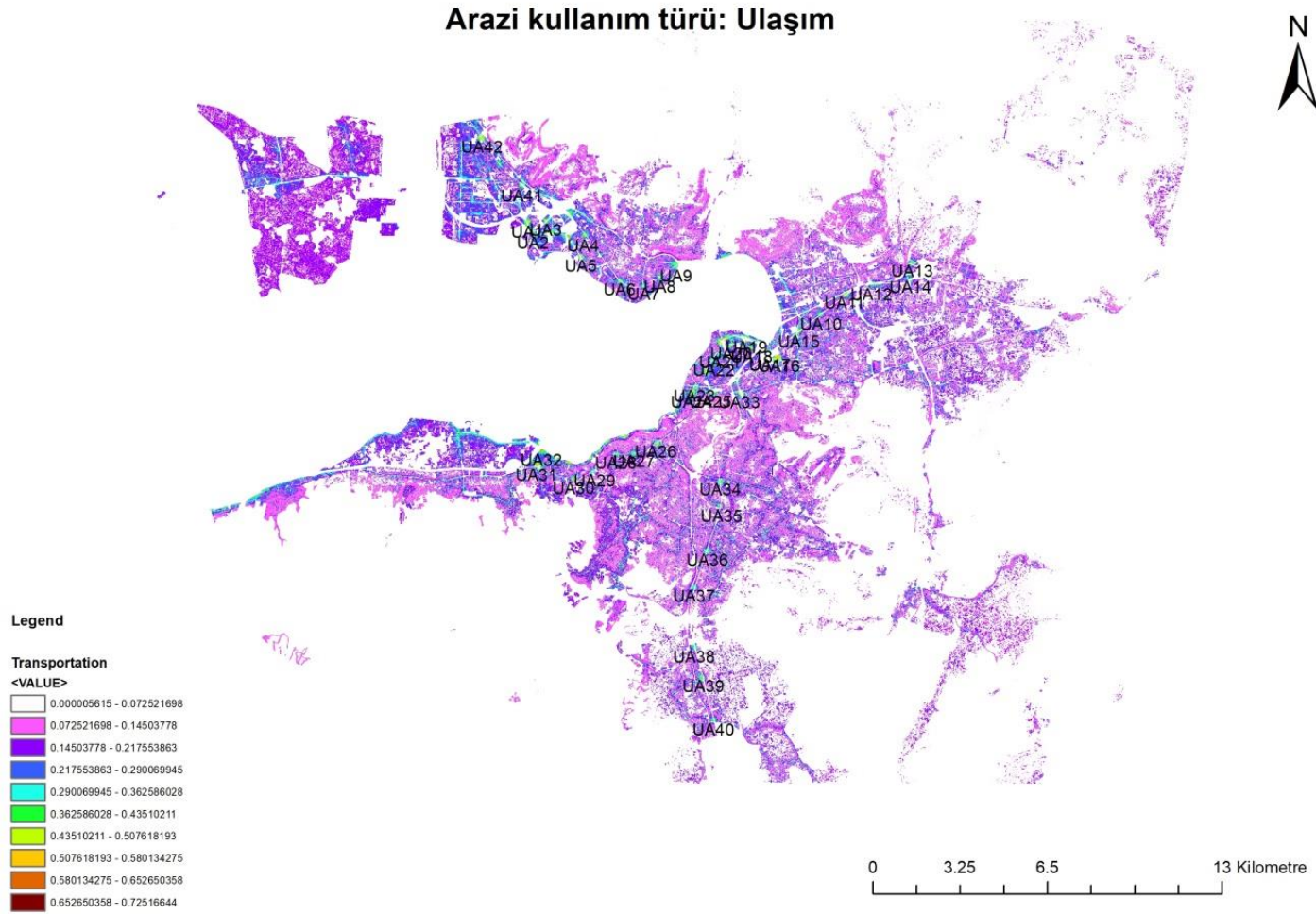
4.5. AHP-CBS entegrasyonu

Her bir arazi kullanımı için belirlenecek alternatif istasyon konumları için, Tablo 4.5'te belirtilen ve AHP yöntemiyle belirlenen farklı arazi kullanımına göre 21 adet alt kriter ağırlığı kullanılmıştır. AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları, her bir kritere ait altlıklara tanımlanmıştır. Tanımlama işlemi, her bir kritere ait altlığın ağırlık ile çarpılması ile yapılmıştır. Bu işlem için ArcGIS programında, “ArcToolbox” sekmesindeki “Spatial Analyst Tools” alt sekmesine tıklanır. Ardından, “Map Algebra” sekmesinde yer alan “Raster Calculator” özelliği kullanılır. Burada, ilgili kritere ait altlık seçilir ve AHP yöntemi ile belirlenen ağırlık değeri çarpılır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise, erişim mesafesi bulanıklaştırılmış kritere ait altlığın kullanılıyor olmasıdır. Erişim mesafesi bulanıklaştırılmış kritere ait katman, ilgili kritere ait ağırlık ile çarpılması ile ağırlıklandırılmış ve erişim mesafesi bulanıklaştırılmış katman elde edilmiş olur. Bu işlem, her bir arazi kullanımına ait 21 kriter için tekrarlanır. Sonuç olarak, toplamda 63 adet ağırlıklandırılmış ve erişim mesafesi bulanıklaştırılmış altlık elde edilmiştir.

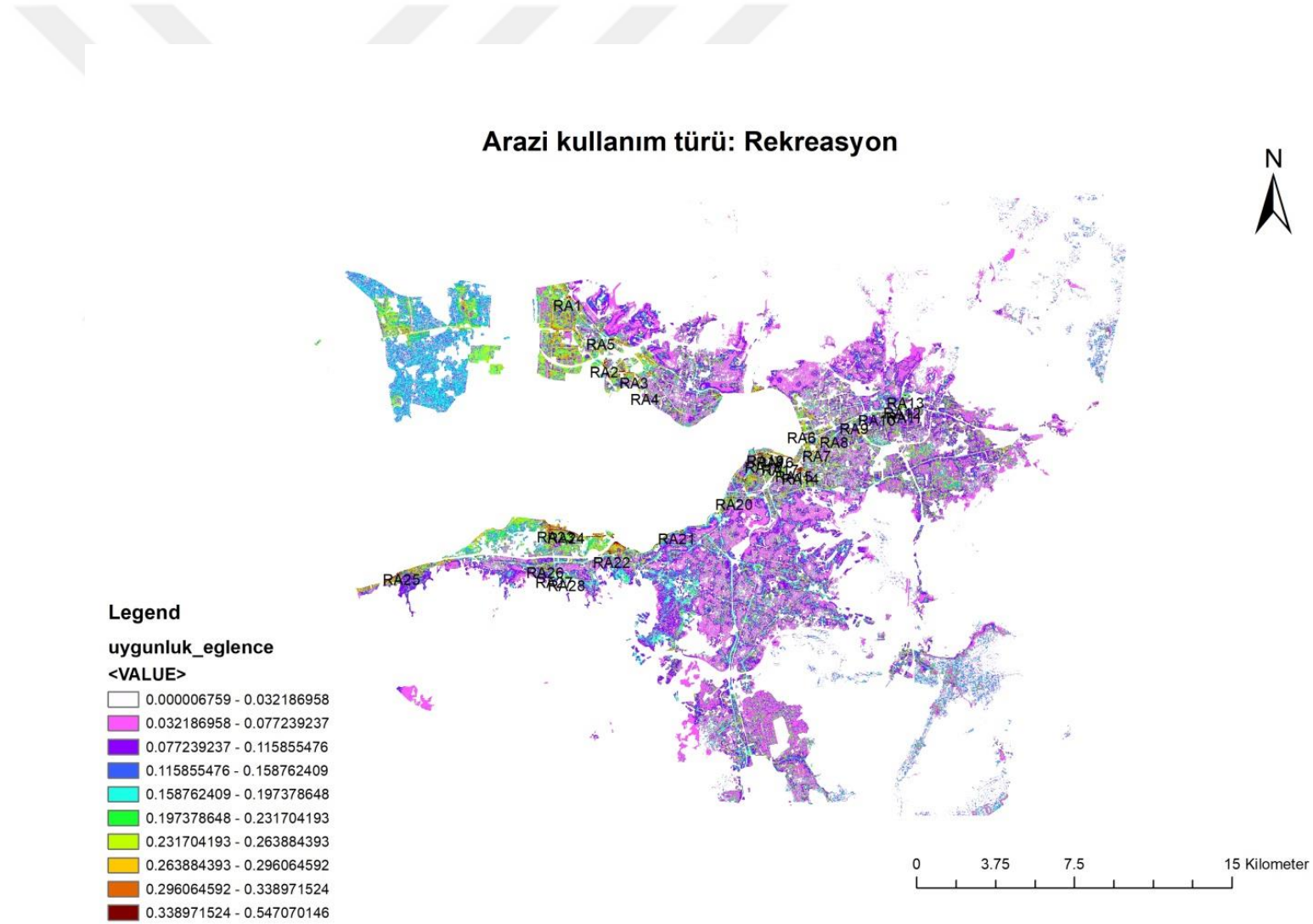
4.6. Farklı arazi kullanımlarına dayalı uygunluk haritalarının elde edilmesi

Ulaşım, rekreasyon ve eğitim olmak üzere üç farklı arazi kullanımı üzerine konuşlandırılacak

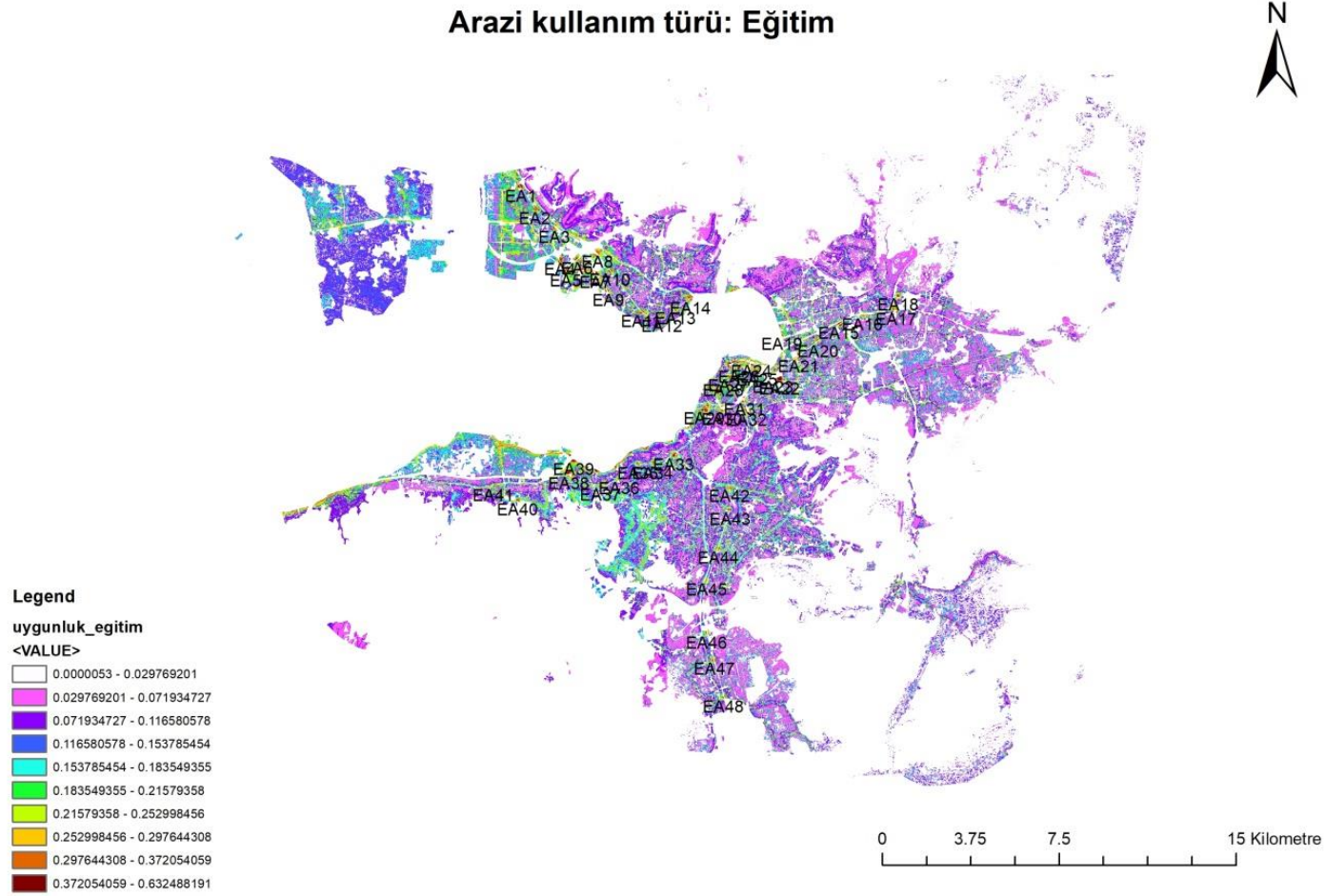
alternatif BPS istasyonlarını belirlemek için her bir arazi kullanımına ait uygunluk haritalarının elde edilmesi gerekmektedir. Uygunluk haritaların elde edilmesi işleminde, her bir arazi kullanımına ait ağırlıklandırılmış ve erişim mesafesi bulanıklaştırılmış 21 adet altlık kullanılmıştır. Altlıklar, ArcGIS programında, “Map Algebra” sekmesinde yer alan “Raster Calculator” özelliği kullanılarak birleştirilmiştir. Bu işlemde, ağırlıklandırılmış ve erişim mesafesi bulanıklaştırılmış katmanlar toplanarak her bir arazi kullanımı için ayrı ayrı uygunluk haritaları elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen uygunluk haritaları kullanılarak kent içi ulaşım sistemini destekleyici toplamda 42 adet ek istasyon, rekreasyonel faaliyetleri destekleyici toplamda 28 adet ek istasyon ve eğitim amaçlı seyahatleri destekleyici toplamda 48 adet ek istasyon yeri mevcut istasyonlardan en az 250 m mesafede olacak şekilde belirlenmiştir. Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’te arazi kullanım türüne göre belirlenen uygunluk haritaları sunulmuştur.



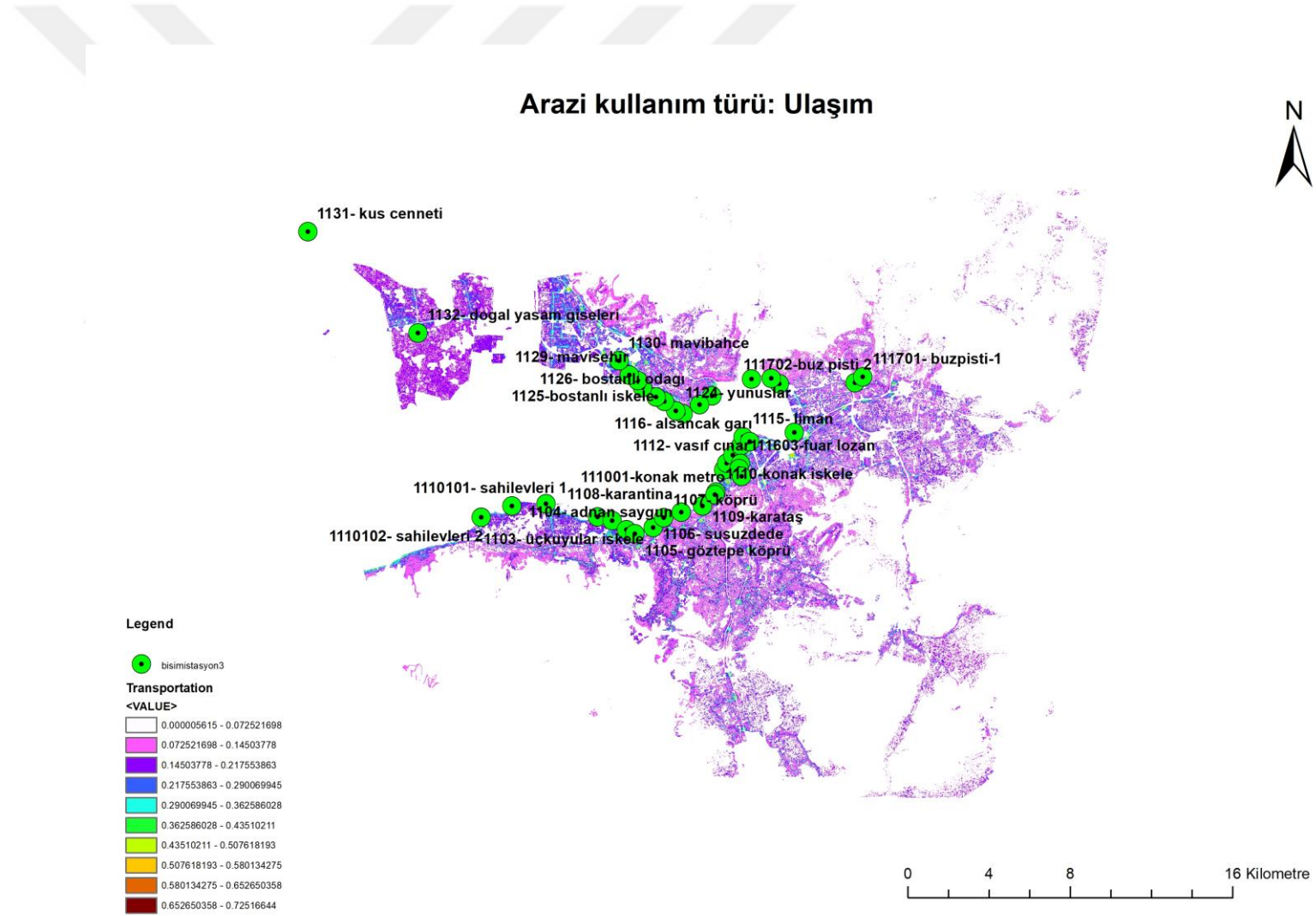
Şekil 4.23. Arazi kullanım türü ulaşım için uygunluk haritası ve alternatif istasyonlar



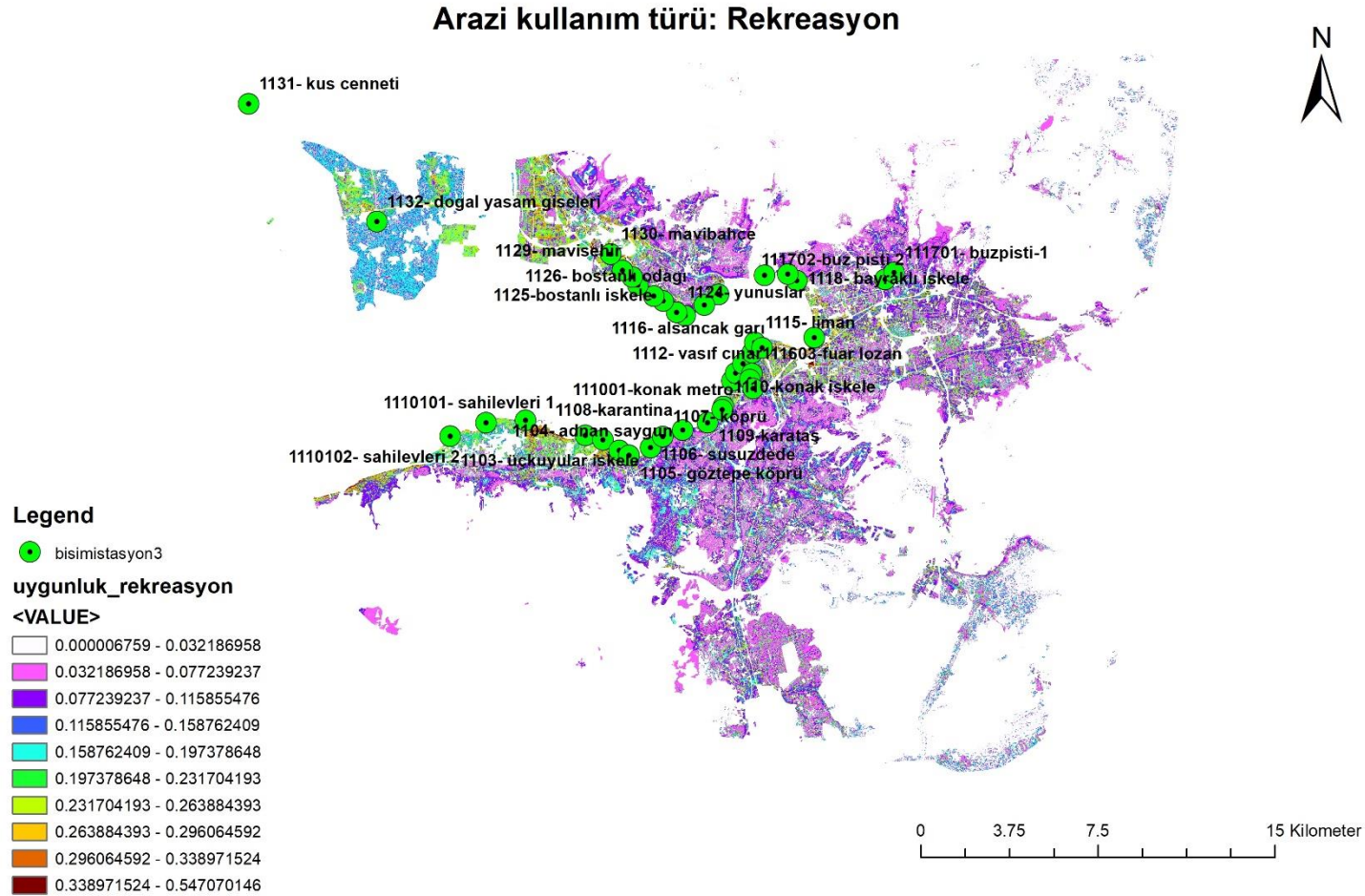
Şekil 4.24. Arazi kullanım türü rekreasyon için uygunluk haritası ve alternatif istasyonlar



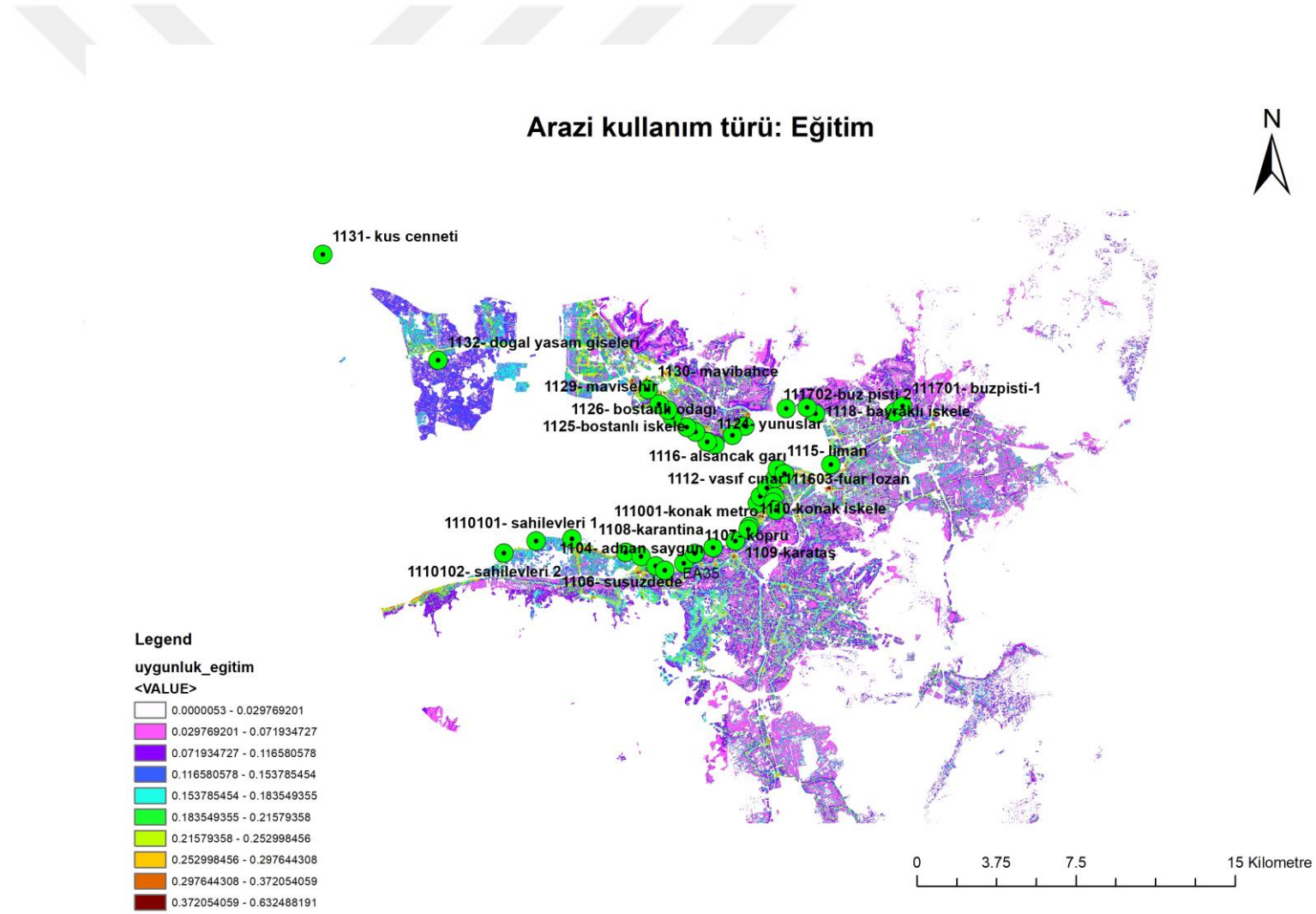
Şekil 4.25. Arazi kullanım türü eğitim için uygunluk haritası ve alternatif istasyonlar



Şekil 4.26. Arazi kullanım türü ulaşım için uygunluk haritası ve mevcut istasyonlar



Şekil 4.27. Arazi kullanım türü rekreasyon için uygunluk haritası ve mevcut istasyonlar



Şekil 4.28. Arazi kullanım türü eğitim için uygunluk haritası ve mevcut istasyonlar

4.7. VIKOR uygulaması

Bu bölümde, ÇKKV yöntemlerinden biri olan VIKOR, farklı arazi kullanımına dayalı üç farklı uygunluk haritası kullanılarak elde edilen alternatif istasyon konumlarının performansını ve mevcut sistemde var olan 40 istasyonun lokasyonunun uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır.

VIKOR yönteminin uygulanması için ilk olarak, hem mevcut hem de alternatif BPS istasyonları için karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Üç farklı arazi kullanımına göre mevcut ve alternatif BPS istasyonları için hazırlanan toplamda 6 adet karar matrisi CBS’de yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca, CBS analizleri sonucunda elde edilen performans değerlerinin kendi içinde tutarlılığının sağlanması için altı adet karar matrisi normalize edilmiştir. Karar matrisleri oluşturulduktan sonra karar kriterlerinin fayda mı yoksa maliyet odaklı mı olduğuna karar vermek gerekir. VIKOR uygulaması için çalışmada kullanılan değerlendirme kriterlerinin tamamı fayda yönlü olup;

$$j. \text{ fayda yönlü ise; } f_j^* = \max_i (x_{ij}) \text{ ve } f_j^- = \min_i (x_{ij})$$

olacak şekilde f_j^* ve f_j^- değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, AHP yöntemi sonucunda elde edilen kriterlere ait ağırlıklar S_i ’nin hesaplanmasında kullanılan “ w_i ” yerine kullanılmıştır. Ayrıca Q_i değerinin hesaplanması için maksimum grup faydası değeri “ v ” literatürde sıkça kullanılan 0,5 olarak kabul edilmiştir. S_i , R_i ve Q_i değerleri, Denklem 7,8 ve 9 kullanılarak hesaplanmıştır.

4.7.1. Alternatif BPS istasyonlarının uygunluğunun değerlendirilmesi

Farklı arazi kullanım türüne göre alternatif BPS istasyonların lokasyonunun uygunluğunun değerlendirilmesi VIKOR yöntemi ile yapılmıştır. Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da alternatif BPS istasyonlarının farklı arazi kullanımına göre performansları sıralanmıştır.

Tablo 4.7. Arazi kullanım türü ulaşım: alternatif istasyonların Q_i göre sıralanması

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İstasyon Numarası	UA32	UA23	UA30	UA31	UA36	UA7	UA40	UA27	UA5	UA42
S_i	0,34590	0,39624	0,39373	0,40837	0,39021	0,47113	0,40302	0,44569	0,41110	0,41999
R_i	0,11078	0,14387	0,14972	0,15567	0,16367	0,14016	0,16372	0,15093	0,16297	0,16370
Q_i	0,00000	0,17756	0,19527	0,23389	0,24043	0,25431	0,25597	0,26191	0,26303	0,27626
Sıralama	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
İstasyon Numarası	UA29	UA4	UA8	UA9	UA25	UA28	UA11	UA20	UA19	UA38
S_i	0,43836	0,42941	0,48698	0,44136	0,44363	0,46537	0,43774	0,45692	0,45301	0,45397
R_i	0,15837	0,16348	0,14532	0,16111	0,16076	0,15418	0,16359	0,15773	0,16359	0,16372
Q_i	0,27944	0,28678	0,29157	0,29273	0,29422	0,29702	0,29717	0,29946	0,31549	0,31712
Sıralama	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
İstasyon Numarası	UA2	UA3	UA6	UA39	UA15	UA10	UA18	UA26	UA1	UA35
S_i	0,45431	0,46117	0,47800	0,46540	0,46798	0,47570	0,48118	0,49032	0,48047	0,48945
R_i	0,16361	0,16361	0,15924	0,16372	0,16350	0,16352	0,16267	0,16025	0,16365	0,16365
Q_i	0,31714	0,32537	0,33011	0,33083	0,33315	0,34249	0,34604	0,34846	0,34869	0,35946
Sıralama	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
İstasyon Numarası	UA37	UA24	UA33	UA16	UA14	UA12	UA41	UA13	UA17	UA22
S_i	0,49128	0,51150	0,54075	0,54113	0,54399	0,55645	0,57469	0,58110	0,59982	0,58671
R_i	0,16370	0,15684	0,16319	0,16348	0,16370	0,16365	0,16367	0,16370	0,16335	0,17074
Q_i	0,36181	0,36182	0,41940	0,42087	0,42507	0,43987	0,46183	0,46961	0,49083	0,50127
Sıralama	41	42								
İstasyon Numarası	UA21	UA34								
S_i	0,76252	0,63436								
R_i	0,18110	0,25202								
Q_i	0,74896	0,84620								

Tablo 4.8. Arazi kullanım türü rekreasyon: alternatif istasyonların Q_i göre sıralanması

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İstasyon Numarası	RA21	RA3	RA4	RA5	RA16	RA22	RA15	RA7	RA20	RA1
S_i	0,48262	0,53978	0,55884	0,64254	0,60068	0,61840	0,63308	0,64449	0,65064	0,68395
R_i	0,08795	0,10106	0,10092	0,12455	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,13455
Q_i	0,00000	0,14874	0,17535	0,41581	0,45069	0,47608	0,49712	0,51348	0,52229	0,52612
Sıralama	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
İstasyon Numarası	RA27	RA18	RA6	RA13	RA11	RA23	RA19	RA8	RA17	RA28
S_i	0,65394	0,65473	0,65930	0,66847	0,66850	0,67290	0,67498	0,67824	0,67909	0,67972
R_i	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316
Q_i	0,52701	0,52815	0,53470	0,54785	0,54788	0,55419	0,55717	0,56184	0,56306	0,56396
Sıralama	21	22	23	24	25	26	27	28		
İstasyon Numarası	RA25	RA10	RA24	RA14	Ra2	RA9	RA12	RA26		
S_i	0,68063	0,68753	0,69681	0,69972	0,71097	0,72218	0,76467	0,83150		
R_i	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14316	0,14378	0,14316	0,18602		
Q_i	0,56526	0,57516	0,58846	0,59263	0,60876	0,62800	0,68571	1,00000		

Tablo 4.9. Arazi kullanım türü eğitim: alternatif istasyonların Q_i göre sıralanması

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İstasyon Numarası	EA39	EA35	EA15	EA24	EA12	EA38	EA33	EA37	EA29	EA7
S_i	0,42820	0,46299	0,49279	0,50672	0,55674	0,54108	0,53333	0,55669	0,56352	0,55504
R_i	0,11600	0,14258	0,14899	0,14793	0,12955	0,14309	0,14683	0,13841	0,13998	0,14890
Q_i	0,00000	0,18489	0,26702	0,28647	0,28851	0,32416	0,32800	0,32975	0,34904	0,37575
Sıralama	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
İstasyon Numarası	EA44	EA34	EA36	EA18	EA13	EA48	EA9	EA46	EA27	EA43
S_i	0,55709	0,58728	0,58277	0,57654	0,61681	0,57777	0,58266	0,58124	0,61324	0,58271
R_i	0,14905	0,14161	0,14515	0,14906	0,13411	0,14908	0,14849	0,14908	0,13718	0,14903
Q_i	0,38001	0,39827	0,40686	0,41420	0,41512	0,41645	0,42224	0,42252	0,42318	0,42485
Sıralama	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
İstasyon Numarası	EA3	EA1	EA28	EA5	EA4	EA20	EA23	EA22	EA42	EA26
S_i	0,58565	0,59230	0,62070	0,59446	0,59785	0,60212	0,60331	0,60458	0,60537	0,61849
R_i	0,14906	0,14906	0,13865	0,14899	0,14903	0,14894	0,14881	0,14888	0,14899	0,14466
Q_i	0,43018	0,44184	0,44307	0,44528	0,45141	0,45847	0,45996	0,46253	0,46442	0,46722
Sıralama	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
İstasyon Numarası	EA47	EA19	EA14	EA21	EA16	EA32	EA45	EA25	EA11	EA6
S_i	0,60913	0,61429	0,62183	0,61699	0,61719	0,61887	0,61825	0,62421	0,63326	0,63593
R_i	0,14908	0,14831	0,14710	0,14892	0,14903	0,14869	0,14906	0,14832	0,14524	0,14901
Q_i	0,47143	0,47686	0,48444	0,48445	0,48531	0,48665	0,48734	0,49433	0,49581	0,51809
Sıralama	41	42	43	44	45	46	47	48		
İstasyon Numarası	EA8	EA10	EA2	EA31	EA17	EA30	EA40	EA41		
S_i	0,64687	0,66731	0,67585	0,67865	0,68716	0,71336	0,55849	0,58349		
R_i	0,14899	0,14887	0,14906	0,14849	0,14906	0,14704	0,22327	0,22327		
Q_i	0,53718	0,57244	0,58833	0,59055	0,60816	0,64467	0,72842	0,77229		

Arazi kullanım türüne göre belirlenmiş toplamda 118 alternatif istasyona ait sıralamalar, istasyona ait Q_i değerine göre gerçekleştirilmiştir. VIKOR yönteminde bu aşamadan sonra, ilk olarak C1 koşulunun (kabul edilebilir avantaj) ve sonrasında C1 sağlanamazsa C2 koşulunun (karar vermede kabul edilebilir istikrar) sağlanıp sağlanmadığının kontrolünün yapılması gerekmektedir. C1 koşulu için yapılan kontroller, her bir arazi kullanım türüne göre Tablo 4.10 sunulmuştur.

Tablo 4.10. Arazi kullanım türü göre C1 koşulunun kontrolü

Arazi Kullanım Türü	$Q(a'')$	$Q(a')$	m	$Q(a'')-Q(a')$	$DQ = (1/m-1)$	C1 Koşulu Kontrol
						$Q(a'')-Q(a') \geq DQ$
Ulaşım	0	0,17756	42	0,17756	0,024390244	Sağlandı
Rekreasyon	0	0,14874	28	0,14874	0,037037037	Sağlandı
Eğitim	0	0,18489	48	0,18489	0,021276596	Sağlandı

Tablo 4.10'a göre, tüm arazi kullanım türleri için C1 koşulunun sağlandığı görülmektedir. Ek olarak, C2 koşulu için S_i ve R_i değerleri de incelendiğinde gerekli koşulun sağlandığı gözlenmektedir. Sonuç olarak; Ulaşım için UA32, Rekreasyon için RA21 ve Eğitim için EA39 istasyonları en iyi uzlaşık çözümleri ifade etmektedir. Ayrıca Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'dan çıkarılabilecek diğer temel kanıtlar şu şekilde sıralanabilir:

Ulaşım amaçlı yapılacak seyahatleri destekleyici alternatif istasyonlarının; demiryolu, denizyolu ve karayolu ulaşımına yakın yer aldığı görülmektedir. İzmir banliyö hattı üzerinde yer alan duraklara yakın konuşlandırılmış UA34-UA40 arasındaki toplamda 6 adet BPS istasyonu bulunmaktadır. Ayrıca, toplamda 18 adet belirlenen alternatif istasyon rekreasyon için gerçekleştirilecek seyahatleri de desteklemektedir.

Rekreasyon amaçlı yapılan kiralamaları destekleyici alternatif istasyon lokasyonlarının diğer türlere göre daha az sayıda belirlenmiş olması, Bisim sistemine ait mevcut istasyonların genellikle rekreasyon alanlarında yer almasıdır. Rekreasyon amaçlı seyahatleri destekleyici alternatif istasyon lokasyonlarının yeşil alanlara, manzaralı yollara ve eğlence merkezlerine yakın olduğu gözlenmektedir. Ayrıca RA12, RA23, RA24, RA25 ve RA27 nolu alternatif istasyonlar yalnızca rekreasyon amaçlı yapılacak seyahatleri destekleyici istasyonlardır.

Eğitim amaçlı yapılacak seyahatleri destekleyen EA40 ve EA41 nolu istasyonlar, özellikle

üniversite kampüsü giriş kapısına yakın alanlar yer aldığı dikkat çekmektedir Aynı zamanda, bu istasyonlar, rekreasyon amaçlı yapılacak seyahatleri de desteklemektedir. Fakat arazi kullanım türü ulaşım için alternatif istasyon lokasyonları arasında yer almamaktadır. Eğitim amaçlı gerçekleştirilecek seyahatleri destekleyen istasyonlar, ulaşım amaçlı gerçekleştirilen istasyonlara ek 6 adet istasyon lokasyonunu kapsamaktadır.

Hem ulaşım hem eğitim hem de rekreasyon amaçlı yapılacak seyahatleri destekleyen alternatif istasyon numaraları ise Tablo 4.11’de sunulmuştur.

Tablo 4.11. Üç arazi kullanım türünü birlikte destekleyen ortak istasyonlar

Ulaşım	Rekreasyon	Eğitim
UA42	RA1	EA1
UA1	RA2	EA4
UA4	RA3	EA7
UA5	RA4	EA9
UA41	RA5	EA3
UA15	RA7	EA21
UA10	RA8	EA20
UA11	RA9	EA15
UA12	RA10	EA16
UA14	RA11	EA17
UA13	RA13	EA18
UA16	RA14	EA22
UA17	RA15	EA23
UA19	RA16	EA24
UA18	RA17	EA25
UA20	RA18	EA26
UA23	RA20	EA29
UA31	RA22	EA38

4.6.2. Mevcut BPS istasyonlarının lokasyonlarının uygunluğunun değerlendirilmesi

Farklı arazi kullanım türüne göre mevcut istasyonların lokasyonunun uygunluğunun değerlendirilmesi VIKOR yöntemi ile yapılmıştır. Tablo 4.13, Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’te sunulan mevcut istasyonlar için analiz sonuçları, Bisim tarafından tanımlanan istasyon numaraları kullanılarak hazırlanmıştır. Mevcut 40 adet istasyonunun arazi kullanım türüne göre performanslarının değerlendirilmesinde öncelikle, C1 koşulunun sağlanıp

sağlanmadığının kontrolünün yapılması gerekmektedir. Tablo 4.12’de, C1 koşulu için yapılan kontroller her bir arazi kullanım türüne göre sunulmuştur.

Tablo 4.12. Arazi kullanım türü göre C1 koşulunun kontrolü

Arazi Kullanım Türü	Q(a')	Q(a")	m	Q(a")-Q(a')	DQ= (1/m-1)	C1 Koşulu Kontrol
						$Q(a")-Q(a') \geq DQ$
Ulaşım	0	0,176671	40	0,1766711	0,025641026	Sağlandı
Rekreasyon	0	0,004546	40	0,0045464	0,025641026	Sağlanamadı
Eğitim	0	0,07171	40	0,07171	0,025641026	Sağlandı

Ulaşım ve eğitim olan arazi kullanım türlerinde C1 koşulunun sağlandığı buna ek olarak, C2 koşulu için yapılan Ri ve Si sıralamalarında da 1105 nolu istasyonun birinci sırada yer almıştır. Yani ulaşım ve eğitim olan arazi kullanım türleri için en iyi uzlaşık mevcut istasyon 1105 olarak belirlenmiştir. Fakat, rekreasyon arazi kullanım türüne ait yapılan sıralama sonucunda, C1 koşulunu sağlanmamıştır. C1 koşulu sağlanamadığından, denklem 12’de yer alan koşulun incelenmesi gerekmektedir. Bunun için, Qi değerine göre tüm alternatifler küçükten büyüğe sıralanmıştır. Daha sonra her bir istasyonun Qi değerinden en küçük Qi'nin çıkarılmasıyla elde edilen değerler DQ ile karşılaştırılır. Elde edilen değer DQ'dan düşükse, bu değere ait istasyonlar en iyi uzlaşık çözüm kümesi içerisinde yer almaktadır. Yapılan sıralama sonucunda rekreasyon arazi kullanım türü için en iyi uzlaşık çözüm kümesi; 1105 ve 1110 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Arazi kullanım türü ulaşım: mevcut istasyonların Q_i göre sıralanması

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İstasyon Numarası	1105	1110	1122	111001	1120	1125	1130	1116	1104	1107
S_i	0,2117662	0,3610390	0,3708278	0,3646844	0,3633447	0,4150379	0,3706075	0,4034767	0,4731582	0,4804803
R_i	0,0494685	0,0802600	0,1427269	0,1535629	0,1635591	0,1506085	0,1637116	0,1626374	0,1613446	0,1630469
Q_i	0,0000000	0,1766711	0,3374759	0,3600824	0,3838554	0,3867448	0,3891294	0,4086426	0,4524403	0,4615801
Sıralama	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
İstasyon Numarası	1117	1118	1121	111603	1123	1124	1109	1103	1127	111604
S_i	0,46569	0,46591	0,56544	0,59000	0,60051	0,60094	0,63296	0,54579	0,59783	0,74807
R_i	0,19012	0,19012	0,16324	0,16338	0,18110	0,18110	0,20055	0,22731	0,21984	0,18190
Q_i	0,51844	0,51858	0,51934	0,53625	0,58710	0,58739	0,65697	0,66426	0,68091	0,68857
Sıralama	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
İstasyon Numarası	111605	1108	1126	1119	1106	1114	1112	1102	1115	1129
S_i	0,66554	0,61122	0,62517	0,60211	0,77459	0,68454	0,69048	0,70716	0,73267	0,76135
R_i	0,21334	0,24129	0,23980	0,25038	0,22293	0,25036	0,25090	0,25157	0,24967	0,25114
Q_i	0,71052	0,74290	0,74862	0,75919	0,80773	0,81471	0,82006	0,83297	0,84548	0,86844
Sıralama	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
İstasyon Numarası	1131	1132	1110101	1111	1110102	1128	1113	1101	111702	111701
S_i	0,78194	0,81485	0,81706	0,83138	0,82979	0,84903	0,85719	0,86864	0,93067	0,95323
R_i	0,25202	0,25201	0,25201	0,24987	0,25201	0,24765	0,24977	0,25201	0,25163	0,25178
Q_i	0,88449	0,90668	0,90817	0,91253	0,91675	0,91894	0,92969	0,94294	0,98384	0,99943

Tablo 4.14. Arazi kullanım türü rekreasyon: mevcut istasyonların Q_i göre sıralanması

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İstasyon Numarası	1105	1110	111001	1114	1104	1125	1130	1127	1118	111603
S_i	0,4511029	0,4514985	0,4565282	0,5129655	0,5267263	0,5607992	0,5725134	0,5784941	0,5826011	0,6222857
R_i	0,0778473	0,0787391	0,0947361	0,0909582	0,0997007	0,1007229	0,1011195	0,1010848	0,1083284	0,1009139
Q_i	0,0000000	0,0045464	0,0838822	0,1269274	0,1820911	0,2233465	0,2377386	0,2439907	0,2818757	0,2901504
Sıralama	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
İstasyon Numarası	111605	1126	1115	1106	1128	1129	1112	1107	1120	1103
S_i	0,63462	0,67598	0,67801	0,65242	0,70668	0,71909	0,59565	0,59618	0,59220	0,61970
R_i	0,10100	0,10072	0,10319	0,11039	0,10111	0,10111	0,14007	0,14056	0,14316	0,14316
Q_i	0,30376	0,34683	0,36043	0,36626	0,38152	0,39484	0,44260	0,44541	0,45316	0,48265
Sıralama	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
İstasyon Numarası	1131	1110102	1119	1108	1117	1102	1113	1121	1122	1109
S_i	0,80677	0,67412	0,68594	0,68002	0,73039	0,74856	0,80425	0,76892	0,67476	0,84492
R_i	0,10113	0,14215	0,13948	0,14276	0,14316	0,14316	0,15294	0,16277	0,18602	0,15294
Q_i	0,48892	0,53631	0,53665	0,54548	0,60132	0,62080	0,72572	0,73326	0,73979	0,76932
Sıralama	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
İstasyon Numarası	1116	1124	111604	1123	1101	1111	111702	111701	1110101	1132
S_i	0,71834	0,73208	0,74353	0,74921	0,75105	0,83842	0,87634	0,88351	0,88917	0,91747
R_i	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602	0,18602
Q_i	0,78651	0,80124	0,81352	0,81961	0,82158	0,91525	0,95591	0,96359	0,96966	1,00000

Tablo 4.15. Arazi kullanım türü eğitim: mevcut istasyonların Q_i göre sıralanması

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İstasyon Numarası	1105	1110	1125	1120	1130	1116	1110101	1104	1107	1122
S_i	0,30816	0,39576	0,49938	0,45412	0,46171	0,47483	0,53151	0,49524	0,51697	0,56526
R_i	0,11487	0,11575	0,13891	0,14895	0,14908	0,14810	0,14065	0,14693	0,14855	0,14690
Q_i	0,00000	0,07171	0,25857	0,26990	0,27636	0,28201	0,29141	0,29239	0,31664	0,34631
Sıralama	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
İstasyon Numarası	1124	1110102	1123	1121	111603	1118	1127	111604	1103	1114
S_i	0,62689	0,63730	0,63858	0,67857	0,72461	0,55414	0,63591	0,68918	0,62153	0,56133
R_i	0,14765	0,14878	0,14891	0,14859	0,14869	0,18833	0,18609	0,19001	0,20134	0,22197
Q_i	0,39738	0,41059	0,41220	0,44159	0,47762	0,52880	0,58161	0,64084	0,64086	0,68951
Sıralama	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
İstasyon Numarası	1126	1106	1112	111001	1108	1109	1129	1101	1119	1115
S_i	0,66006	0,75582	0,61489	0,62206	0,68758	0,86923	0,69592	0,71780	0,73557	0,77274
R_i	0,21212	0,19769	0,22227	0,22327	0,21258	0,18226	0,22255	0,22327	0,22205	0,22140
Q_i	0,72034	0,72772	0,73223	0,74242	0,74368	0,74415	0,79612	0,81633	0,82441	0,85012
Sıralama	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
İstasyon Numarası	1111	1117	1113	111702	1131	1128	111605	1102	111701	1132
S_i	0,84564	0,84747	0,85272	0,84721	0,84902	0,87841	0,87107	0,91920	0,93009	0,95559
R_i	0,22133	0,22200	0,22152	0,22327	0,22327	0,22015	0,22307	0,22293	0,22293	0,22327
Q_i	0,90613	0,91062	0,91246	0,91629	0,91770	0,92598	0,93378	0,97030	0,97873	1,00000

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

BPS'ler, kent içi ulaşım sistemine entegre olması istenen ve mülkiyet temelli olmayan paylaşımlı akıllı ulaşım modellerinden biridir. İstasyon tabanlı BPS'ler, kentlilere sahip olduğu istasyon ağı üzerinden kiralanabilir bisiklet sağlayarak hem toplu taşımayı ağını güçlendirmeyi hem de kısa süreli seyahatlerde motorlu taşıt kullanımı yerini almayı hedeflemektedir. BPSler, günümüzde aşırı doğal kaynak tüketimi, trafik sıkışıklığı ve hareketsiz yaşam tarzları gibi sorunları çözmek için önemli bir yeni ulaşım seçeneği haline gelmiştir. BPS'ler toplum, çevre ve sağlık açısından diğer ulaşım modlarına göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle, daha yaşanabilir bir çevre için BPS'lerin akıllı şehirlerde geliştirilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

Sistemin sürdürülebilirliği açısından, istasyonlarda meydana gelen gezi talebini en üst düzeye çıkarmak için ele alınması gereken bazı kritik karar problemleri bulunmaktadır. Bu problemlerden biri de istasyon ağına ait lokasyonların belirlenmesindeki karmaşık karar sürecidir. Bu çalışmanın amacı; CBS, bulanık mantık ve ÇKKV yöntemlerinden yararlanarak İzmir'de yer alan bir BPS için farklı arazi kullanım türüne göre alternatif istasyon lokasyonlarının belirlenmesi ve mevcut istasyon lokasyonlarının uygunluğunun değerlendirilmesi için bilimsel bir çerçeve sunmaktadır.

Yapılan çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama; literatür ve uzman görüşleri alınarak 21 adet karar kriterinin belirlenmesini ve arazi kullanım türüne göre belirlenen kriterlerin AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmasını kapsamaktadır. İkinci aşama ise; CBS kullanılarak belirlenen 21 adet kritere ait haritaların oluşturulmasını, her bir kritere ait optimum ve kabul edilebilir erişim mesafesi içerisinde yer alan istasyonda gezi üretme eğilimi karakterize etmek için CBS'de bulanık mantık yaklaşımının kullanılmasını, arazi kullanım türüne göre belirlenmiş kriter ağırlıkları kullanılarak erişim mesafesi bulanıklaştırılmış kriterlere ait haritaların ağırlıklandırılmasını, ağırlıklandırılmış haritaların birleştirilerek arazi kullanım türüne göre yani toplamda üç adet uygunluk haritasının elde edilmesini içermektedir. Son olarak üçüncü aşama ise; CBS ortamında elde edilen performans değerlerine göre, üç farklı arazi kullanım türü için hem mevcut hem de alternatif istasyon lokasyonlarının uygunluğunun VIKOR yöntemi kullanılarak değerlendirilmesini içermektedir.

İlk aşamada, AHP yöntemi sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları ile ilgili olarak;

- Hem ulaşım hem de eğitim arazi kullanım türleri için yapılan ağırlıklandırmaya göre, ulaşım ağının ağırlığı yapılı çevreden ve doğal çevreden daha yüksektir.
- Tüm arazi kullanım türleri için ulaşım ağına ait önem sırası; demiryolu ulaşımı, karayolu ulaşımı ve denizyolu ulaşımı şeklinde sıralanmıştır. Uzman görüşlerine dayanarak, sistemlerin öncelikli olarak demiryolu ağına ait metro, banliyö, tramvay ve tren kullanımını desteklemesi gerektiği söylenebilir.
- Arazi kullanım türü ulaşım için karayolu ulaşım ağı içerisinde yer alan kriterlerin önem sırası; bisiklet yolları, bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarına ait güzergâhlar, karayolları, otobüs durakları, yapımı planlanan bisiklet yolları ve minibüs hatlarına ait güzergâhlar şeklinde sıralanmıştır. Seyahat güvenliğini ve sürüş konforunu artırması nedeniyle, bisiklet yollarına yakın konuşlandırılacak istasyonlarda daha fazla seyahat talebinin gerçekelebilecek olması durumunun öncelikli olarak değerlendirilmesi yapıldığı düşünülmektedir. Ayrıca, bisiklet taşıma aparatlı otobüs hatlarının BPS sistemini destekleyebileceği düşüncesi otobüs duraklarına nazaran önceliğin bu kritere verilmesinin bir nedeni olabilir.

sonuçlarına varılabilir.

İkinci aşamada yapılan çalışma sonucunda, alternatif BPS istasyon lokasyonları arazi kullanım türüne göre ulaşım için 42 adet, rekreasyon için 28 adet ve eğitim için 48 adet olarak belirlenmiştir. Belirlenen alternatif istasyonlar kentsel ulaşım sistemine entegre edilebilecek, rekreasyonel aktiviteleri destekleyecek ve eğitim alanlarına kolayca erişilebilecek lokasyonlarda bulunmaktadır. Ek olarak, yapılan performans değerlendirmesi sonucunda potansiyel bir bisiklet paylaşım için en uygun alternatif yerlerin UA32, RA21 ve EA39 nolu lokasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan performans sıralamaları sonucuna dayanarak; şehir yöneticileri tarafından kent içi ulaşım amaçlı seyahatlerin desteklenmesi isteniyorsa ilk önce UA32 nolu istasyon konumundan, rekreasyonel seyahatlerin desteklenmesi isteniyorsa RA21 nolu istasyon konumundan veya eğitim amaçlı seyahatlerin desteklenmesi isteniyorsa EA39 istasyon konumundan planlamacılar faydalanabilir. Ayrıca, 22 adet istasyon hem

ulaşım hem rekreasyon hem de eğitim amaçlı yapılacak seyahatleri desteklemektedir ve öncelikle yapılması önerilen istasyonlar arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak elde edilen bulgular ışığında;

- Alternatif BPS istasyon lokasyonları belirlerken kullanılan karar kriterlerinin arazi kullanım türüne farklı önem derecelerine sahip olabileceği,
- Kriterlere ait tesislerden en yakın istasyonda gezi üretme eğilimi gösterilecek mesafenin tanımlanmasında bulanık karar mekanizmasının kullanılabileceği,
- Daha fazla karar kriteri göz önünde bulundurularak kapsamlı bir araştırmanın gerçekleştirilebileceği,
- Mevcut istasyonların lokasyonunun uygunluğunun değerlendirilmesi sürecinde istasyonlarda meydana gelen geçmiş dönem talep verilerinin analiz edilmesi ve analiz sonucunda talebi etkileyen yapılı evre faktörlerinin belirlenebileceği ve alternatif istasyon lokasyonlarının belirlenen faktörler üzerinden gerçekleştirilebileceği,
- Kriter ağırlıklandırılması yapılıyorken bulanık AHP yönteminden yararlanılabileceği,
- İstasyonların performanslarının değerlendirilmesi sürecinde diğer ÇKKV yöntemlerinden rneğin; PROMETHEE, ELEKTRE, TOPSİS vb. yararlanılabileceği ve bu yöntemlerin BPS istasyon yeri optimizasyon alışmalarındaki performanslarının karşılaştırılmasının yapılabileceği,

nerileri sunulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (2019). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry*, 106, 94-110.
- Achu, A., Thomas, J., & Reghunath, R. (2020). Multi-criteria decision analysis for delineation of groundwater potential zones in a tropical river basin using remote sensing, GIS and analytical hierarchy process (AHP). *Groundwater for Sustainable Development*, 100365.
- Alesheikh, A. A., Helali, H., & Behroz, H. (2002). *Web GIS: technologies and its applications*. Paper presented at the Symposium on geospatial theory, processing and applications.
- Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International journal of uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems*, 14(04), 445-459.
- ArcGIS 10.3 Help. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>
- Aultman-Hall, L., Hall, F. L., & Baetz, B. B. (1997). Analysis of bicycle commuter routes using geographic information systems: implications for bicycle planning. *Transportation Research Record*, 1578(1), 102-110.
- Bahrani, S., Ebadi, T., Ehsani, H., Yousefi, H., & Maknoon, R. (2016). Modeling landfill site selection by multi-criteria decision making and fuzzy functions in GIS, case study: Shabestar, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), 337.
- Buck, D., & Buehler, R. (2012). *Bike lanes and other determinants of capital bikeshare trips*. Paper presented at the 91st Transportation research board annual meeting.
- Castro-Santos, L., Lamas-Galdo, M. I., & Filgueira-Vizoso, A. (2020). Managing the oceans: Site selection of a floating offshore wind farm based on GIS spatial analysis. *Marine Policy*, 113, 103803.
- Cetinkaya, C. (2017). Bike sharing station site selection for Gaziantep. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(3), 535-543.
- Chan, T. O. (1999). The different identities of GIS and GIS diffusion. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(3), 267-281.
- Chen, L., Zhang, D., Pan, G., Ma, X., Yang, D., Kushlev, K., . . . Li, S. (2015). *Bike sharing station placement leveraging heterogeneous urban open data*. Paper presented at the Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing.
- Conrow, L., Murray, A. T., & Fischer, H. A. (2018). An optimization approach for equitable bicycle share station siting. *Journal of transport geography*, 69, 163-170.
- Croci, E., & Rossi, D. (2014). Optimizing the position of bike sharing stations. The Milan case.
- DARBAN, A. A., ZIARATI, E., JAFARI, S., & SAELI, R. (2014). Site Selection of Rural Fire Stations and Safety Services Using Network Analysis and AHP, Case Study: Shirvan Chardavol County.
- DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of public transportation*, 12(4), 3.
- Deng, C., Wang, J. Y., & Zheng, W. G. (2015). *Layout optimizing of public bicycle stations based on ahp in wuhan*. Paper presented at the Applied Mechanics and Materials.
- Deveci, M., Canitez, F., & Gökaşar, I. (2018). WASPAS and TOPSIS based interval type-2 fuzzy MCDM method for a selection of a car sharing station. *Sustainable Cities and Society*, 41, 777-791.
- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh during 1960–2005. *Environmental monitoring and assessment*, 150(1-4), 237.
- Dill, J., & Voros, K. (2007). Factors affecting bicycling demand: initial survey findings from the Portland, Oregon, region. *Transportation Research Record*, 2031(1), 9-17.

- Dimitrakopoulos, G., & Demestichas, P. (2010). Intelligent transportation systems. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 5(1), 77-84.
- Donaghy, K., Rudinger, G., & Poppelreuter, S. (2004). Societal trends, mobility behaviour and sustainable transport in Europe and North America. *Transport Reviews*, 24(6), 679-690.
- Efthymiou, D., Antoniou, C., & Waddell, P. (2013). Factors affecting the adoption of vehicle sharing systems by young drivers. *Transport policy*, 29, 64-73.
- El-Assi, W., Mahmoud, M. S., & Habib, K. N. (2017). Effects of built environment and weather on bike sharing demand: a station level analysis of commercial bike sharing in Toronto. *Transportation*, 44(3), 589-613.
- Eren, E., & Uz, V. E. (2019). A Review on Bike-Sharing: The Factors Affecting Bike-Sharing Demand. *Sustainable Cities and Society*, 101882.
- Faghih-Imani, A., & Eluru, N. (2015). Analysing bicycle-sharing system user destination choice preferences: Chicago's Divvy system. *Journal of transport geography*, 44, 53-64.
- Faghih-Imani, A., Eluru, N., El-Geneidy, A. M., Rabbat, M., & Haq, U. (2014). How land-use and urban form impact bicycle flows: evidence from the bicycle-sharing system (BIXI) in Montreal. *Journal of transport geography*, 41, 306-314.
- Faghih-Imani, A., Hampshire, R., Marla, L., & Eluru, N. (2017). An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: Evidence from Barcelona and Seville. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 177-191.
- Figueiredo, L., Jesus, I., Machado, J. T., Ferreira, J. R., & De Carvalho, J. M. (2001). *Towards the development of intelligent transportation systems*. Paper presented at the ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No. 01TH8585).
- Frade, I., & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: A maximal covering location approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 216-227.
- Gao, Z., Liang, R. Y., & Xuan, T. (2019). VIKOR method for ranking concrete bridge repair projects with target-based criteria. *Results in Engineering*, 3, 100018.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Latorre, M. (2012). Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. *Applied Geography*, 35(1-2), 235-246.
- Gebhart, K., & Noland, R. B. (2014). The impact of weather conditions on bikeshare trips in Washington, DC. *Transportation*, 41(6), 1205-1225.
- Ghandehari, M., Pouyandeh, V. H., & Javadi, M. H. M. (2013). Locating of bicycle stations in the city of Isfahan using mathematical programming and multi-criteria decision making techniques. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, 3(4), 18-26.
- Gleason, R., & Miskimins, L. (2012). *Exploring bicycle options for federal lands: bike sharing, rentals and employee fleets*. Retrieved from
- Godavarthy, R. P., & Taleqani, A. R. (2017). Winter bikesharing in US: User willingness, and operator's challenges and best practices. *Sustainable Cities and Society*, 30, 254-262.
- Griffin, G. P., & Sener, I. N. (2016). Planning for bike share connectivity to rail transit. *Journal of public transportation*, 19(2), 1.
- Guide, U. B. D. (2011). National association of city transportation officials. *New York*, 8.
- Guo, Y., Chen, Z., Stuart, A., Li, X., & Zhang, Y. (2020). A systematic overview of transportation equity in terms of accessibility, traffic emissions, and safety outcomes: From conventional to emerging technologies. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 100091.
- Hathout, S. (2002). The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental management*, 66(3), 229-238.
- He, Y.-L., Wang, X.-Z., & Huang, J. Z. (2016). Fuzzy nonlinear regression analysis using a random weight network. *Information Sciences*, 364, 222-240.
- Heinen, E., Van Wee, B., & Maat, K. (2010). Commuting by bicycle: an overview of the literature. *Transport Reviews*, 30(1), 59-96.

- Jahanshahi, D., Minaei, M., Kharazmi, O. A., & Minaei, F. (2019). Evaluation and Relocating Bicycle Sharing Stations in Mashhad City using Multi-Criteria Analysis. *International Journal of Transportation Engineering*, 6(3), 265-283.
- Jäppinen, S., Toivonen, T., & Salonen, M. (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied Geography*, 43, 13-24.
- Ji, Y., Fan, Y., Ermagun, A., Cao, X., Wang, W., & Das, K. (2017). Public bicycle as a feeder mode to rail transit in China: The role of gender, age, income, trip purpose, and bicycle theft experience. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(4), 308-317.
- Kabak, M., Erbaş, M., Çetinkaya, C., & Özceylan, E. (2018). A GIS-based MCDM approach for the evaluation of bike-share stations. *Journal of cleaner production*, 201, 49-60.
- Kabra, A., Belavina, E., & Girotra, K. (2019). Bike-share systems: Accessibility and availability. *Management science*.
- Kaya, Ö., Tortum, A., Alemdar, K. D., & Çodur, M. Y. (2020). Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102271.
- Kenworthy, J. R. (2006). The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. *Environment and urbanization*, 18(1), 67-85.
- Kim, K. (2018). Investigation on the effects of weather and calendar events on bike-sharing according to the trip patterns of bike rentals of stations. *Journal of transport geography*, 66, 309-320.
- Knowles, A. K., & Hillier, A. (2008). *Placing history: how maps, spatial data, and GIS are changing historical scholarship*: ESRI, Inc.
- Leigh, C., Peterson, J., & Chandra, S. (2009). *Campus Bicycle-parking facility site selection: exemplifying provision of an interactive facility map*. Paper presented at the Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial International Conference, Adelaide.
- Li, J.-Q., Zhou, K., Zhang, L., & Zhang, W.-B. (2012). A multimodal trip planning system with real-time traffic and transit information. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 16(2), 60-69.
- Li, Y., Zheng, Y., Zhang, H., & Chen, L. (2015). *Traffic prediction in a bike-sharing system*. Paper presented at the Proceedings of the 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems.
- Lin, J.-R., Yang, T.-H., & Chang, Y.-C. (2013). A hub location inventory model for bicycle sharing system design: Formulation and solution. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 77-86.
- Litman, T. (2007). Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning. *Transportation Research Record*, 2017(1), 10-15.
- Liu, J., Li, Q., Qu, M., Chen, W., Yang, J., Xiong, H., . . . Fu, Y. (2015). *Station site optimization in bike sharing systems*. Paper presented at the 2015 IEEE International Conference on Data Mining.
- Long, Y., & Zhao, J. (2020). What Makes a City Bikeable? A Study of Intercity and Intracity Patterns of Bicycle Ridership using Mobike Big Data Records. *Built Environment*, 46(1), 55-75.
- Lopez Gonzalez, L. (2016). Optimal Location for Bike Sharing Stations in Downtown Kalamazoo.
- Luo-ke, H. (2010). Fuzzy Comprehensive Evaluation in Site Selection of Public Bicycle Stations Based on AHP Method. *Transport Standardization*(23), 61.
- Mahmoud, M. S., El-Assi, W., & Habib, K. N. (2015). *Effects of built environment and weather on bike sharing demand: Station level analysis of commercial bike sharing in Toronto*. Retrieved from
- Mateo-Babiano, I., Bean, R., Corcoran, J., & Pojani, D. (2016). How does our natural and built environment affect the use of bicycle sharing? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 295-307.
- McCormack, E., & Rowe, D. H. (2014). Bike-share planning in cities with varied terrain. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 84(7), 31.
- Messaoudi, D., Settou, N., Negrou, B., Rahmouni, S., Settou, B., & Mayou, I. (2019). Site selection methodology for the wind-powered hydrogen refueling station based on AHP-GIS in Adrar, Algeria. *Energy Procedia*, 162, 67-76.

- Midgley, P. (2009). The role of smart bike-sharing systems in urban mobility. *Journeys*, 2(1), 23-31.
- Midgley, P. (2011). Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in urban areas. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs*, 8, 1-12.
- Miranda-Moreno, L. F., & Nosal, T. (2011). Weather or not to cycle: Temporal trends and impact of weather on cycling in an urban environment. *Transportation Research Record*, 2247(1), 42-52.
- Mugisha, J. C., Munyazikwiye, B., & Karimi, H. R. (2015). *Design of temperature control system using conventional PID and Intelligent Fuzzy Logic controller*. Paper presented at the 2015 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY).
- Neisani Samani, Z., Karimi, M., & Alesheikh, A. A. (2018). A novel approach to site selection: collaborative multi-criteria decision making through geo-social network (case study: public parking). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3), 82.
- Ogilvie, F., & Goodman, A. (2012). Inequalities in usage of a public bicycle sharing scheme: socio-demographic predictors of uptake and usage of the London (UK) cycle hire scheme. *Preventive medicine*, 55(1), 40-45.
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, 178(2), 514-529.
- Park, C., & Sohn, S. Y. (2017). An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105, 154-166.
- Pas, N. (2008). Subcultural movements. In *1968 in Europe* (pp. 13-21): Springer.
- Piwowar, J. M., LeDrew, E. F., & Dudycha, D. J. (1990). Integration of spatial data in vector and raster formats in a geographic information system environment. *International Journal of Geographical Information System*, 4(4), 429-444.
- Ricci, M. (2015). Bike sharing: A review of evidence on impacts and processes of implementation and operation. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 28-38.
- Rixey, R. A. (2013). Station-level forecasting of bikesharing ridership: station network effects in three US systems. *Transportation Research Record*, 2387(1), 46-55.
- Roberts, L., Thevenin, T., Hallam, J., Beveridge, A., Mostern, R., Southall, H., . . . Meeks, E. (2014). *Toward spatial humanities: Historical GIS and spatial history*: Indiana University Press.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* McGraw Hill, New York. *AGRICULTURAL ECONOMICS REVIEW*, 70.
- Satty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. In: New York: McGraw-Hill.
- Sennaroglu, B., & Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173.
- Shah, B., Lakhani, H., Abhishek, K., & Kumari, S. (2020). Application of Fuzzy Linguistic Modeling Aggregated with VIKOR for Optimal Selection of Solar Power Plant Site: An Empirical Study. In *Renewable Energy and Climate Change* (pp. 119-127): Springer.
- Shaheen, S., & Chan, N. (2016). Mobility and the sharing economy: Potential to facilitate the first-and last-mile public transit connections. *Built Environment*, 42(4), 573-588.
- Shaheen, S., & Finson, R. (2013). Intelligent transportation systems.
- Shaheen, S., & Guzman, S. (2011). Worldwide bikesharing. *Access Magazine*, 1(39), 22-27.
- Shaheen, S., Guzman, S., & Zhang, H. (2012). Bikesharing across the globe. *City cycling*, 183.
- Shaheen, S., Martin, E., & Cohen, A. (2013). Public bikesharing and modal shift behavior: a comparative study of early bikesharing systems in North America.
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. *Transportation Research Record*, 2143(1), 159-167.

- Shaheen, S. A., Martin, E. W., Cohen, A. P., & Finson, R. S. (2012). *Public bikesharing In North America: early operator and user understanding*. Retrieved from
- Shaheen, S. A., Zhang, H., Martin, E., & Guzman, S. (2011). China's Hangzhou public bicycle: understanding early adoption and behavioral response to bikesharing. *Transportation Research Record*, 2247(1), 33-41.
- Shu, S., Bian, Y., Rong, J., & Xu, D. (2019). Determining the exact location of a public bicycle station—The optimal distance between the building entrance/exit and the station. *PloS one*, 14(2).
- Si, H., Shi, J.-g., Wu, G., Chen, J., & Zhao, X. (2019). Mapping the bike sharing research published from 2010 to 2018: A scientometric review. *Journal of cleaner production*, 213, 415-427.
- Singh, L. K., Jha, M. K., & Chowdary, V. (2017). Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1436-1456.
- Spinney, J., & Lin, W.-I. (2018). Are you being shared? Mobility, data and social relations in Shanghai's Public Bike Sharing 2.0 sector. *Applied Mobilities*, 3(1), 66-83.
- Sun, F., & Chen, P. (2017). *Impact of built environment and temporal factors on public bikesharing*. Paper presented at the Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington, DC.
- Sun, F., Chen, P., & Jiao, J. (2018). Promoting public bike-sharing: A lesson from the unsuccessful Pronto system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 533-547.
- Tran, T. D., Ovtracht, N., & D'arcier, B. F. (2015). Modeling bike sharing system using built environment factors.
- Unal, M., Cilek, A., & Guner, E. D. (2019). Implementation of fuzzy, Simos and strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis for municipal solid waste landfill site selection: Adana City case study. *Waste Management & Research*, 0734242X19893111.
- VE, S., & Cho, Y. (2020). A rule-based model for Seoul Bike sharing demand prediction using weather data. *European Journal of Remote Sensing*, 1-18.
- Wang, C.-H., & Chen, N. (2015). A GIS-based spatial statistical approach to modeling job accessibility by transportation mode: case study of Columbus, Ohio. *Journal of Transport Geography*, 45, 1-11.
- Wang, K., Akar, G., & Chen, Y.-J. (2018). Bike sharing differences among millennials, Gen Xers, and baby boomers: Lessons learnt from New York City's bike share. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 1-14.
- Wang, X., Lindsey, G., Schoner, J. E., & Harrison, A. (2016). Modeling bike share station activity: Effects of nearby businesses and jobs on trips to and from stations. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), 04015001.
- Wang, Y. Q. (2014). MeteolInfo: GIS software for meteorological data visualization and analysis. *meteorological applications*, 21(2), 360-368.
- Wind, Y., & Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658.
- Winter, S. (1998). *Bridging vector and raster representation in GIS*. Paper presented at the Proceedings of the 6th ACM international symposium on Advances in geographic information systems.
- Wu, Q., Zhou, L., Chen, Y., & Chen, H. (2019). An integrated approach to green supplier selection based on the interval type-2 fuzzy best-worst and extended VIKOR methods. *Information Sciences*, 502, 394-417.
- Wu, Y., Zhang, B., Xu, C., & Li, L. (2018). Site selection decision framework using fuzzy ANP-VIKOR for large commercial rooftop PV system based on sustainability perspective. *Sustainable Cities and Society*, 40, 454-470.
- Wuerzer, T., Mason, S., & Youngerman, R. (2012). Boise bike share location analysis. *Community and Regional Planning*.

- Wuerzer, T., & Mason, S. G. (2016). Retail gravitation and economic impact: A market-driven analytical framework for bike-share station location analysis in the United States. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(3), 247-259.
- Xiong, Z., Sheng, H., Rong, W., & Cooper, D. E. (2012). Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review. *Science China Information Sciences*, 55(12), 2908-2914.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zhang, G., Yang, H., Li, S., Wen, Y., Li, Y., & Liu, F. (2019). *What is the best catchment area of bike share station? A study based on Divvy system in Chicago, USA*. Paper presented at the 2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS).
- Zhang, J., Wang, F.-Y., Wang, K., Lin, W.-H., Xu, X., & Chen, C. (2011). Data-driven intelligent transportation systems: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1624-1639.
- Zhang, L., Zhang, J., Duan, Z.-y., & Bryde, D. (2015). Sustainable bike-sharing systems: characteristics and commonalities across cases in urban China. *Journal of cleaner production*, 97, 124-133.
- Zhou, X. (2015). Understanding spatiotemporal patterns of biking behavior by analyzing massive bike sharing data in Chicago. *PloS one*, 10(10).

ÖZGEÇMİŞ

Ben Ezgi Eren. 1995 yılında Samsun'da doğdum. Lise eğitimimi yatılı olarak İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nde 2013 yılında tamamladım. Ardından Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümünü kazandım. Üniversiteye başladığım ilk yıldan itibaren akademik olarak çalışmalara devam etme isteğim hep vardı. Bunun bilincinde olarak başarılı bir lisans dönemi geçirdim. 2017 yılında ana dal bölümümden birincilikle mezun oldum. 2017 yılında yüksek lisans eğitimime başladım ve bu süreçte araştırma görevlisi olarak Adana iline atandım. Halen Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktayım. Çalışma alanım; akıllı ulaşım sistemleri, kentsel ulaşım planlaması ve trafik mühendisliğidir.