

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL AĞLARININ GEOMETRİK ENTEGRASYONU İÇİN
NESNE EŞLEME YÖNTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Müslüm HACAR

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Uzaktan Algılama ve CBS Doktora Programı

Danışman
Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ

Mayıs, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOL AĞLARININ GEOMETRİK ENTEGRASYONU İÇİN NESNE EŞLEME
YÖNTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Müslüm HACAR tarafından hazırlanan tez çalışması 21.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Doktora Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. A. Melih BAŞARANER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih GÜLGEN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İ. Öztuğ BİLDİRİCİ, Üye

Konya Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yol Ağlarının Geometrik Entegrasyonu İçin Nesne Eşleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Müslüm HACAR

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgisinden ve tecrübesinden faydalandığım danışmanım Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ'e, tezin tüm aşamalarını izleyen ve tavsiyelerini esirgemeyen tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. İ. Öztuğ BİLDİRİCİ ve Doç. Dr. Fatih GÜLGEN'e, lisansüstü eğitim boyunca aldığım derslerden edindiğim mesleki bilgiler için Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü ve İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümünde görevli öğretim üyelerine teşekkür ederim. Bilgisayar programlama dilleri ile ilgili yardımlarına başvurduğum araştırma görevlileri Hüseyin DUMAN ve Kadir ŞAHBAZ'a, teknik konularda sürekli birbirimizi bilgilendirdiğimiz araştırma görevlileri; Özge ÖZTÜRK, Batuhan KILIÇ, Abdulkadir MEMDUHOĞLU, öğretim üyeleri; Dr. Öğr. Üyesi Zeynel Abidin POLAT, Dr. Öğr. Üyesi Sinan ÇETİNKAYA, Dr. Öğr. Üyesi Alper ŞEN ve Prof. Dr. A. Melih BAŞARANER'e teşekkür ederim. Tez çalışmasında verilerini kullandığım için, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, TomTom ve Başarsoft firmaları ve OpenStreetMap projesi gönüllülerine teşekkür ederim. Son olarak, bu uzun eğitim sürecinin her aşamasında sağladıkları destek, motivasyon ve güzellikler için; dostlarım Sinan, Vahap ve Mehmet, kız arkadaşım Özge, ağabeyim Abdullah, ablalarım Sara ve Ayşe, annem Fatma ve babam Mehmet Tevfik'e teşekkür ederim.

Müslüm HACAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez.....	6
2 Eşleme İşleminin Kavramsal Modeli	7
2.1 Mekânsal Veri Entegrasyonu	9
2.1.1 Geometrik Entegrasyon	10
2.1.2 Semantik Entegrasyon.....	10
2.1.3 Sözdizimsel Entegrasyon	10
2.2 Geometrik Entegrasyon.....	10
2.2.1 Veri Aktarımı.....	10
2.2.2 Güncelleme.....	11
2.2.3 Bütünleştirme.....	11
2.3 Bütünleştirme.....	11
2.3.1 Yatay Bütünleştirme.....	11
2.3.2 Dikey Bütünleştirme	12

2.4	Eşleme.....	12
2.4.1	Geometri Türüne Göre Eşleme.....	12
2.4.2	Ölçü Türüne Göre Eşleme	14
2.4.3	İlişki Türüne Göre Eşleme	14
2.4.4	Mekânsal Bilgi Türüne Göre Eşleme.....	16
3	Çizgisel Yol Nesnelerinin Eşlenmesinde Kullanılabilecek Hizalama Yöntemleri ve Benzerlik Ölçüleri.....	22
3.1	Yol Ağlarının Hizalanmasında Kullanılabilecek Dönüşüm Yöntemleri	22
3.1.1	Benzerlik Dönüşümü (Helmert Dönüşümü).....	23
3.1.3	Projektif Dönüşüm	23
3.1.4	Afin Dönüşümü	24
3.1.5	Rubber-Sheet Dönüşümü.....	25
3.1.6	Uygulama 1: Yol Ağlarının Hizalanmasında Kullanılabilecek Dönüşüm Yöntemlerinin Test Edilmesi.....	27
3.2	Benzerlik Ölçüleri.....	34
3.2.1	Geometrik Ölçüler	35
3.2.2	Topolojik Ölçüler.....	41
3.2.3	Uygulama 2: Eşleme İşleminde Kullanılacak Ölçülerin Belirlenmesi..	42
3.2.4	Benzerlik Ölçülerine Göre Puanlama	46
4	Etki Oranına Dayalı Yarı-Otomatik Eşleme Yöntemi.....	50
4.1	Yöntem.....	50
4.2	Uygulama: Etki Oranına Dayalı Eşleme Yöntemiyle Ağaç Desenli Yol Nesnelerini Eşleme	54
4.2.1	Çalışma Bölgesi ve Kullanılan Verisetleri.....	54
4.2.2	Önişlem: Yöntemin Kodlanması ve Verisetlerinin Hazırlanması	55
4.2.3	Uygulama Sonuçları.....	57

4.2.4 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	58
5 Çok Aşamalı Otomatik Eşleme Yöntemi	62
5.1 Yöntem.....	62
5.1.1 Eşleme Aşamaları ve Puan Ölçütleri.....	64
5.2 Uygulama 1: Çok Aşamalı Eşleme Yöntemiyle Farklı Desenli Yol Nesnelerini Eşleme	67
5.2.1 Çalışma Bölgesi ve Kullanılan Verisetleri.....	67
5.2.2 Önışlem: Yöntemin Kodlanması ve Verisetlerinin Hazırlanması	70
5.2.3 Uygulama Sonuçları.....	71
5.2.4 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	72
5.3 Uygulama 2: Çok Aşamalı Eşleme Yöntemiyle Çok Sayıda Nesne İçeren Yol Ağlarını Eşleme.....	75
6 Sonuç ve Öneriler	79
A Manuel Eşleme.....	84
B Yöntemlerin Python Programlama Diliyle Kodlanması.....	87
C Uygulama Sonuçları.....	88
Kaynakça.....	92
Tezden Üretilmiş Yayınlar.....	97

SİMGE LİSTESİ

α	Doğrultu
β	Uzunluk oranı
θ	Sapma açısı
ε	Dönüklük açısı
σ^2	Varyans değeri
σ	Standart sapma
C_A	A noktasının çizgisel bağlanma derecesi
$D_{HM_{k-y}}$	k ve y çizgileri arasındaki Hausdorff mesafesi
D_{ort_E}	Üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu
D_{ort_P}	Dik mesafelerin ortalaması
E	Etki oranı
$F_{kesişim_{m-n}}$	m ve n eşleme adayı çizgilerinin tampon bölgelerinin kesişim alanı
K_n	n çizgisinin kıvrımlılık değeri
m	Ölçek
P_C	Çizgisel Bağlanma derecesi ölçüsüne göre puanlandırma
P_{HM}	Hausdorff mesafesi ölçüsüne göre puanlandırma
P_K	Kıvrımlılık ölçüsüne göre puanlandırma
P_O	Doğrultu ölçüsüne göre puanlandırma
P_{ort_P}	Dik mesafelerin ortalaması ölçüsüne göre puanlandırma
P_{ort_E}	Üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ölçüsüne göre puanlandırma

KISALTMA LİSTESİ

GCB	Gönüllü Coğrafi Bilgi
GPS	Global Positioning System
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İUYAK	İrlanda Ulusal Yol Ağı Kıvrımlılık İndeksi
MKN	Manuel Belirlenen Kontrol Noktaları
OKN	Otomatik Belirlenen Kontrol Noktaları
OS	Ordnance Survey
OSM	OpenStreetMap
TIN	Triangulated Irregular Network
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
VGI	Volunteered Geographic Information

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Benzerlik ölçülerinin sınıflandırılması (Xavier vd. 2016).....	8
Şekil 2.2	Eşleme işleminin kavramsal modeli.....	9
Şekil 2.3	Geometri türüne göre eşleme (Yuan ve Tao 1999).....	12
Şekil 2.4	1:1 uyumlu eş çizgi geometrili nesneler.....	15
Şekil 2.5	1:n uyumlu eş çizgi geometrili nesneler.....	15
Şekil 2.6	m:n veya n:m uyumlu eş çizgi geometrili nesneler.....	16
Şekil 2.7	Bir çizgiye (siyah sürekli çizgi) ait doğrultu açısı örneği (α : doğrultu açısı).....	18
Şekil 2.8	Bir çizgi ve dönüş fonksiyonu grafiği (Veltkamp 2001).....	18
Şekil 2.9	Eşleme adayı çokgenlerin örtüşmesi.....	19
Şekil 2.10	Eşleme adayı çizgiler için tampon bölgenin kullanımı.....	19
Şekil 2.11	Spider fonksiyonunda kullanılan onaltılı sayı gösterimi (Saalfeld 1988).....	20
Şekil 3.1	I, J ve K kontrol noktalarıyla oluşturulan bir üçgen ve bu üçgenin içine düşen A noktasıyla oluşturulan alt üçgenler (Yanalak vd. 2005).....	25
Şekil 3.2	Kontrol noktaları ile türetilen Voronoi hücreleri (nokta merkezli) ve yeni Voronoi hücresi (yıldız merkezli) (ESRI 2019).....	27
Şekil 3.3	Uygulama verileri: OSM (yeşil) ve TomTom (kırmızı).....	28
Şekil 3.4	Kontrol noktaları arası oluşturulan bağlantılar (siyah ok).....	29
Şekil 3.5	Kontrol noktaları arası oluşturulan bağlantılar (siyah ok).....	30
Şekil 3.6	m ve n çizgileri arasındaki tek yönlü Hausdorff mesafesi (ince gri çizgi) (Hacar ve Gökgöz 2016).....	31
Şekil 3.7	Dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması.....	33
Şekil 3.8	Tüm dönüşüm yöntemlerinde yanlış eşlenen yollar (turkuaz).....	34
Şekil 3.9	(a)İki eşleme adayı çizgi, (b) Çizgi k'den Çizgi y'ye minimum mesafeler, (c) Çizgi y'den Çizgi k'ye minimum mesafeler ve (d) Hausdorff mesafesi.	36
Şekil 3.10	Doğrultu açıları, aralıklar ve sınıflar.	37
Şekil 3.11	Kıvrımlılık değeri için kullanılan uzunluklar.	38
Şekil 3.12	Bir yolu temsil eden çoklu doğru (sürekli çizgi), kırılma noktalarından inilen dikler (d_i) (düşey kesikli çizgiler).....	39

Şekil 3.13	Yol çizgileri (renkli sürekli çizgiler), ağırlık merkezleri (renkli noktalar) ve düzensiz üçgen ağı (TIN) (kesikli çizgiler).....	41
Şekil 3.14	(a) Bağlanma derecesi ve (b) çizgisel bağlanma derecesi.	42
Şekil 3.15	Kıvrımlılık indeksi için çizgi örnekleri.	43
Şekil 3.16	Benzerlik ölçülerinin doğruluk dağılımı.....	46
Şekil 3.17	Eşleme adaylarının ölçü türüne göre puanlanması (n/a: Uygulanamaz).....	49
Şekil 4.1	Etki oranına dayalı eşleme yönteminin akış diyagramı.....	53
Şekil 4.2	Çalışma bölgesi ve yol ağının deseni.	55
Şekil 5.1	Çok aşamalı yöntemin akış diyagramı.....	63
Şekil 5.1	Çok aşamalı yöntemin akış diyagramı (devamı)	64
Şekil 5.2	Lineer rubber-sheet yöntemi ile kontrol noktaları (siyah ok) kullanılarak yol ağlarının (mavi ve turuncu çizgiler) hizalanması: (a) Öncesi ve (b) sonrası.....	66
Şekil 5.3	Çalışma bölgeleri ve yol ağlarının desenleri: (a) Ağaç, (b) hücrel ve (c) karma.....	69
Şekil 5.4	Eksik eşlemeye bir örnek: İBB (yeşil) ve Başarsoft (kırmızı).....	74
Şekil 5.5	Yanlış eşlemeye bir örnek: OSM (mavi) ve TomTom (turuncu).	75
Şekil 5.6	Çalışma bölgesindeki OSM (mavi) ve TomTom (turuncu) yol nesneleri ile örneklem bölgeleri (kırmızı dikdörtgen) (soldan sağa 1, 2, 3 ve 4).....	76
Şekil B.1	Jupyter Notebook arayüzü ve doğruluk analizi için yazılan kodların bir bölümü.	87

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Yol ağlarına ilişkin bazı istatistikler.....	28
Tablo 3.2	Otomatik belirlenen kontrol noktalarının kullanıldığı hizalama yöntemlerine göre eşleme sayıları.....	31
Tablo 3.3	Manuel belirlenen kontrol noktalarının kullanıldığı hizalama yöntemlerine göre eşleme sayıları.....	31
Tablo 3.4	Hizalama yöntemlerine göre eşleme yüzdeleri.....	32
Tablo 3.5	Herhangi bir n çizgisi için doğrultu sınıfları (On) ve aralıkları.....	37
Tablo 3.6	Çeşitli kıvrımlılık yöntemleri (Haynes vd. 2007).....	38
Tablo 3.7	Kıvrımlılık varyansı ile aralıkların belirlenmesi.....	39
Tablo 3.8	İUYAKİ aralık değerleri.....	42
Tablo 3.9	Sınıflandırma yöntemleri ile elde edilen kıvrımlılık aralıkları.....	44
Tablo 3.10	Sınıflara ait yol çizgilerinin sayısı.....	44
Tablo 3.11	Sınıflandırma yöntemlerine göre eşleme istatistikleri.....	45
Tablo 4.1	Verisetlerinin koordinat sistemleri ve formatları.....	56
Tablo 4.2	Doğru ve yanlış eşleme sayı ve yüzdeleri.....	57
Tablo 4.3	Ölçülerin etki oranları.....	57
Tablo 4.4	Birinci ve ikinci aşamada kullanılan benzerlik puanları.....	58
Tablo 4.5	Eşleme yöntemine göre eşleme sayıları.....	58
Tablo 4.6	İstatistiksel ölçü sonuçları.....	60
Tablo 5.1	Verisetlerinin koordinat sistemleri ve formatları.....	70
Tablo 5.2	Hizalamada kullanılan β parametresinin değerleri ve kontrol noktası çiftlerinin sayıları.....	71
Tablo 5.3	Doğru, yanlış ve eksik eşleme sayıları.....	72
Tablo 5.4	İstatistiksel ölçü sonuçları.....	73
Tablo 5.5	Yol ağlarına ilişkin bazı istatistikler.....	77
Tablo 5.6	Eşleme sayısı ve istatistiksel ölçü sonuçları.....	77
Tablo A.1	Ağaç desenli yol ağlarının manuel olarak eşlenmesi.....	84
Tablo A.2	Hücreli desenli yol ağlarının manuel olarak eşlenmesi.....	85
Tablo A.3	Karma desenli yol ağlarının manuel olarak eşlenmesi.....	86

Tablo C.1	Etki oranına dayalı yöntemle ağaç desenli yol ağlarının eşlenmesi.....	88
Tablo C.2	Çok aşamalı yöntemle ağaç desenli yol ağlarının eşlenmesi.	89
Tablo C.3	Çok aşamalı yöntemle hücreli desenli yol ağlarının eşlenmesi.....	90
Tablo C.4	Çok aşamalı yöntemle karma desenli yol ağlarının eşlenmesi.	91



Yol Ağlarının Geometrik Entegrasyonu için Nesne Eşleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi

Müslüm HACAR

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ

Eşleme, gerçek dünyada aynı varlığı temsil eden farklı verisetlerinde bulunan nesneler arasındaki geometrik, topolojik ve/veya semantik benzerliklere dayalı olarak eşlerin belirlenmesi işlemidir. Eşleme için uygun yöntemin seçimi, manuel gerçekleştirilen doğruluk analizi sonuçlarına göre yapılır ve bu nedenle emek-yoğun bir süreçtir. Bu tez çalışması, yol nesnelerinin geometrik entegrasyonunun en zor aşamalarından biri olan eşleme işlemi için, manuel eşlemenin yer aldığı bir önışleme gerek duyulmadan kullanılabilecek yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, literatürdeki eşleme yaklaşımları incelenerek, eşleme için bir kavramsal model oluşturulmuştur. Geometrik (Hausdorff mesafesi, doğrultu, kıvrımlılık, dik mesafelerin ortalaması ve üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu) ve topolojik (çizgisel bağlanma derecesi) ölçülere göre benzerlik puanlarının belirlenmesi için ölçütler önerilmiştir. Bu ölçü ve ölçütlerin de kullanıldığı iki yöntem geliştirilmiştir. Birinci yöntem, ölçülerin eşleme doğruluğundaki etki oranlarına dayalı yarı-otomatik bir yöntemdir. Gerçekleştirilen

uygulama sonuçları değerlendirildiğinde, etki oranına dayalı yöntemin yüksek eşleme doğruluğuna ihtiyaç duyulan hassas eşleme uygulamalarında kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. Tam otomatik olan ikinci yöntem, beş aşamadan oluşmakta ve nesneler kademeli olarak eşlenmektedir. Çok aşamalı yöntemin manuel eşlemenin yer aldığı bir önışleme gerek duyulmadan kullanılıp kullanılamayacağını tespit etmek için, dört farklı kaynaktan (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, TomTom, Başarsoft ve OpenStreetMap) üretilmiş olan, ağaç, hücresel ve karma desenli yol ağlarıyla bir dizi uygulama yapılmıştır. Bu uygulama sonuçları değerlendirildiğinde, çok aşamalı yöntemin, her tür desenli yolların eşlenmesinde ve ayrıca hassas eşlemenin gerekli olduğu çalışmalarda kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: analitik kartografya; mekânsal veri entegrasyonu; bütünleştirme; nesne eşleme; hizalama; yol ağları.

Developing Object Matching Methods for Geometrical Integration of Road Networks

Müslüm HACAR

Department of Geomatic Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ

Matching is a process that determines geometric, topological and/or semantic similarities between the objects from different datasets, representing the same entity in the real world. The selection of the appropriate method for matching is done according to the results of accuracy analysis conducted manually and is therefore a labor-intensive process. This thesis study was carried out to develop matching methods that can be used without the need for a pre-processing with manual matching. In order to determine the similarity scores, several criteria have been proposed with regards to geometric and topological measures. Two methods have been developed using these measures and criteria. The first method is a semi-automated method based on the effect rates of the measures in matching accuracy. When the results of experiments were evaluated, it was observed that the use of the effect ratio based method is not suitable for high-precision matching studies where high matching accuracy is required. The second method, which is automated, consists of five matching stages and the objects are matched incrementally. In order to determine whether the multi-stage method can be used without the need for pre-

processing with manual matching, a number of experiments have been conducted with tree-, cellular- and hybrid-patterned road networks produced by four different sources (Istanbul Metropolitan Municipality, TomTom, Başarsoft, and OpenStreetMap). The results of these experiments show that the multi-stage matching method can be used in the matching process of all types of the road patterns and also in the matching studies where high-precision is required.

Keywords: analytical cartography; spatial data integration; conflation; object matching; alignment; road networks.



İnsan ve hayvan hareketlerinin, taşıtların, su kütlelerinin, atmosferin, uzay araçlarının kısacası mekânsal olarak algılanabilen tüm varlıkların gerçek zamanlı verilerinin toplanabildiği, görüntülenebildiği ve bunların üzerinden anlamsal çıkarımların yapılabildiği bir çağı yaşamaktayız. Elbette bilginin giderek daha hızlı üretilip kullanıldığı bu çağda mekânsal verilerin üretimindeki artış hiç şaşırtıcı değildir. Ancak uygulama alanları bu denli hızlı genişleyen mekânsal verilerin, üretim ve kullanım hiyerarşisini düzenleyip daha işlevsel kılmak için, belli kurallar çerçevesinde entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir. Mekânsal verilerin entegrasyonu geometrik, semantik (anlamsal) ve sözdizimsel entegrasyon olarak yapılabilmektedir. Geometrik entegrasyon nesne geometrilerinin bir verisetinden diğer verisetine geometrik veya semantik ilişkiler yardımıyla aktarılmasını sağlarken, semantik entegrasyon, semantik bilginin verisetleri arasında aktarımını sağlar. Geometrik entegrasyon süreçlerinde mekânsal verisetlerinden biri eksik semantik bilgiler içeriyorsa, semantik ilişki kurmak tek başına yeterli olamamaktadır. Semantik entegrasyon süreçlerinde ise verisetleri arasında semantik bilgiler doğrudan semantik ilişkiler kurularak verisetleri arasında aktarılabilir. Sözdizimsel entegrasyon, mekânsal verisetlerinin sahip olduğu veri şemalarını birbirilerine uygun hale getirmeye yarar. Böylece, önceden belirlenen standartlarda üretilmiş verisetleri arasında bir düzen içinde dönüşüm işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen tüm çalışmalar, geometrik entegrasyon süreçlerinin daha sorunsuz ilerlemesi için yapılmıştır. Semantik ve sözdizimsel entegrasyon bu tez çalışmasının kapsamı dışındadır. Tezin bu bölümünde ilk olarak mekânsal verilerin geometrik entegrasyonu için geliştirilen nesne eşleme yöntemleri incelenmiştir. Literatür özetinin devamında tez çalışmasının amacı ve hipotezi yer almaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Geometrik entegrasyon, bir haritada (ya da coğrafi verisetinde) yer alan nesneler ile diğer bir haritadaki ilgili nesneler arasında ilişkiler kurarak, hedef haritanın amaca uygun yeterliğe gelmesini sağlamaktadır. Bunun için, ihtiyaç duyulan veriler bir haritadan diğerine aktarılarak entegrasyon sağlanır. Aynı varlıkları temsil eden iki farklı haritanın kullanılmasıyla bu iki haritadan daha iyi (geometrik ve semantik açıdan daha güncel ve zengin içerikli) haritalar üretmek de önemli bir entegrasyon konusudur ve harita bütünleştirme (map conflation) olarak adlandırılır (Lynch ve Saalfeld 1985). Harita bütünleştirme ilk olarak 1980'lerde Lynch ve Saalfeld (1985), Rosen ve Saalfeld (1985), Lupien ve Moreland (1987) ve Saalfeld (1988) tarafından yol nesneleri için yapılmış ve o tarihten itibaren coğrafi bilgi biliminde popüler bir araştırma alanı olmuştur.

Bütünleştirme işlemine, temelde aynı amaç için yapılıyor olsa da işleyiş ve çıktılar bakımından farklı gereksinimler doğrultusunda ihtiyaç duyulabilmektedir. Cobb vd. (1998) göre; (1) bir verisetinden diğerine aktarılan nesnelerle güncelleme, (2) konumsal veya öznitelik doğruluğu iyileştirme ve (3) eksik bilgi içeren verisetine veri aktarımı için bütünleme işlemine gereksinim duyulmaktadır.

Üretildikleri kaynaklar farklı olsa da, bütünleştirme işlemi sayesinde mekânsal veriler birlikte kullanılabilir. Mekânsal veriler arasındaki uyum (geometrik ve semantik benzerlik), birlikte kullanılabilirliğin işlevini etkileyen önemli bir ölçüttür. Veriler arasında uyum ne kadar fazlaysa, entegrasyon süreçlerindeki iş yükü o kadar azalmaktadır. Kamu ve özel kurumlar ile gönüllü harita platformlarını da içeren çeşitli kaynaklar dikkate alındığında mekânsal veri hacmi hızla büyümektedir. Bu nedenle, olası entegrasyon süreçlerinde mekânsal veriler arasındaki uyum giderek daha önemli hale gelmektedir. Bütünleştirme işlemi, farklı veri sağlayıcıları tarafından üretilmiş verisetlerinde yer alan, aynı gerçek varlığı temsil eden geometrilerin (nokta, çizgi ve çokgen) eşlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Birbirine eş olabilecek nesnelerin belirlenmesinden sonra harita bütünleştirme işleminin diğer aşamaları olan, geometrik ve/veya semantik birleşim gerçekleştirilir. Nesneler arasındaki ilişkilere ve birbirine benzeme durumlarına göre aralarında bağlantıların belirlenmesi, eşleme işlemi olarak adlandırılmaktadır

(Hacar ve Gökğöz 2019). Eşleme işlemi iki ya da daha fazla mekânsal verisetinin bütünleşme sürecinin önemli bir adımıdır.

Çoğu eşleme yaklaşımı çizgi nesnelerin (yol, dere, sınır, vb.) eşlenmesi için geliştirilmesine rağmen, nokta (bina, ilgi noktası, kavşak, GPS sinyali, vb.) ve çokgen (bina, parsel, ada, üçgen, vb.) nesneler için de bazı eşleme çalışmaları mevcuttur (Rosen ve Saalfeld 1985, Saalfeld 1988, Cobb et vd. 1998, Yuan ve Tao 1999, Samal vd. 2004, Kim vd. 2010). Çizgi nesneler için geliştirilen eşleme yöntemlerinin büyük kısmı yol nesneleri için tasarlanmıştır. Bunun üç önemli nedeni: (1) yol ağlarındaki karmaşık gösterimler (desen, kavşak, dönel kavşak, çıkmaz sokak, vb.) arasında ilişki kurmadaki zorluklar, (2) navigasyon verisetlerini veri bakımından sürekli güncel tutma (veri zenginleştirme) gereksinimi ve (3) OpenStreetMap (OSM) gibi gönüllü coğrafi bilgi (GCB) (Volunteered Geographic Information - VGI) platformları tarafından güncel ve yüksek miktarda yol verisinin üretilmesidir (Neis ve Zipf 2012, Koukoletsos vd. 2012, Corcoran vd. 2013, Zhao vd. 2015, Hacar vd. 2018).

İlk yapılan çizgisel yol nesnelerini eşleme çalışmalarında düğüm noktaları üzerindeki hesaplamalar (rubber-sheet dönüşüm, bağlanma değeri, mesafe, vb.) kullanılmıştır (Rosen ve Saalfeld 1985, Saalfeld 1988, Cobb et vd. 1998). Fakat yol ağlarının karmaşık yapısı çizgiye özgü yaklaşımları gerekli kılmıştır. Çizgiye özgü yaklaşımlar, çizgi üzerinden hesaplanan geometrik (mesafe, uzunluk, açı, gelişen tampon bölge (buffer growing), şerit sayısı, yön, vb.) ve topolojik (bağlanma değeri, ayrıştırma (split), vb.) işlem ve ölçüleri içermektedir (Doytsher vd. 2001, Xiong ve Sperling 2004, Haunert 2005, Volz 2006, Zhang ve Meng 2007, Mustière ve Devogele 2008, Li ve Goodchild 2011, López-Vázquez ve Manso Callejo 2013, Kang vd. 2015). Xiong ve Sperling (2004) yol ağlarını eşlemek için yarı-otomatik bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, kümeleme temelli eşleme işlemi kullanılarak, iki yol ağındaki düğüm noktaları, kenarlar ve segmentler arasında güçlü ilişkiler belirlenmektedir. Yöntem ayrıca, eksik eşlemeleri belirleme ve düzeltme imkânı sunmasına karşın, çok sayıda nesnenin eşlenmesi sürecinde önemli ölçüde etkileşim (operatör müdahalesi) gerektirir. Li ve Goodchild (2011) yol çizgilerini eşlemek için, geometrik ve semantik ölçülerin, ve ayrıca afin dönüşümünün kullanıldığı otomatik bir iyileştirme (optimizasyon) modeli önermiştir. Yöntemde, bir çeşit benzememe

ölçütü olarak tek yönlü Hausdorff mesafesinin asimetric olma özelliği kullanılmaktadır. Ayrıca, Hamming mesafesi, yine bir benzetme ölçütü olarak yol isimleri arasındaki farklılığı göstermek için kullanılır. Fakat GCB'den sağlanan verilerde semantik bilgilerin çoğunun eksik olması eşleme işleminde semantik bilginin kullanımında aksaklıklara neden olabilir. Hacı (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Li ve Goodchild (2011) tarafından geliştirilen iyileştirme modeli semantik bilginin olmadığı senaryolar için test edilmiştir. İstanbul'daki yol ağlarında eşleme doğruluğunun %70'i geçemediği tespit edilmiştir.

Bazı nesne eşleme yöntemleri, eşlemede sıklıkla kullanılan geometrik ve topolojik ölçülerle, farklı coğrafi analizlerde kullanılan yöntemlerin entegrasyonu ile geliştirilmiştir. Örneğin; Foley ve Petry (2000) bulanık-, Rahimi vd. (2002) ajan-, ve Walter ve Fritsch (1999) entropi-temelli yaklaşımlarla eşleme sürecini yürütmüşlerdir.

Yol ağlarının kaynakları ve desenleri (örüntüleri) eşleme işleminde dikkate alınması gereken iki önemli faktördür. Yang vd. (2014) yolların çevrelediği adaların desen gruplarını (block pattern groups) sınıflandırarak, bir yol ağındaki düğüm noktalarını hiyerarşik olarak eşlemiştir. Koukoletsos vd. (2012) GCB verilerinin bütünlüğünü (completeness) değerlendirmek için bir eşleme yaklaşımı önermiştir. OSM yol verisi ile İngiltere'nin resmi harita kurumu olan Ordnance Survey (OS) verilerinin eşlenmesi için, geometrik (arama mesafesi, doğrultu, çizgiye dayalı tampon bölge) ve öznel (yol isimleri) olarak benzerliklerin dikkate alındığı çok aşamadan oluşan bir yöntem geliştirmiştir. Pourabdollah vd. (2013) tarafından OSM yol verilerinin kalitesini artırmak için, öznel bakımından zengin OS verileri ile bütünleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bazı durumlarda yol nesnelerini eşleme işlemi için çizgiye dayalı (doğrusal) yaklaşımlar yetersiz olabilmektedir. Bu gibi durumlarda, Fan vd. (2016) tarafından önerilen alana dayalı (alansal) bir eşleme yaklaşımı kullanılabilir. Bu yöntem bir verisetindeki yolların çevrelediği adaların diğer verisetindeki karşılığını alansal bir kesişim oranı ile bulur. Ardından, eşlenmiş adaları kullanarak çevresindeki yolları eşler. Ayrıca Fan vd. (2016) geliştirdikleri yöntemi, OSM ve kamusal kent verilerini eşleyerek test etmiş ve düzenli ağların

yoğunlukta olduğu bir bölge olan Heidelberg (Almanya) ve görece daha karmaşık yapıda ağların yoğunlukta olduğu Şangay'da (Çin) yeterli sonuçlar elde etmiştir.

Bir eşleme yönteminin başarısı çalışma bölgesine bağılı olarak farklılık gösterebilmektedir. Örneğin bir yöntem, hücresel desene sahip bir yol ağında eşleme işlemini yüksek doğrulukla gerçekleştirirken, karmaşık bir yol ağında aynı başarıyı gösteremeyebilir. Çalışma bölgesine uygun eşleme yönteminin belirlenmesi için, bir önışlem olarak, doğruluk analizine ihtiyaç duyulur. İlk olarak, rastgele seçilen yolları içeren bazı örneklemeler bir operatör tarafından manuel eşlenir. Ardından, seçilen yöntemle otomatik veya yarı-otomatik eşleme gerçekleştirilir. Seçilen eşleme yönteminin sonuçları manuel eşleme sonuçları ile karşılaştırılır. Elde edilen eşleme istatistikleri ile seçilen yöntemin doğruluk ve bütünlük değerleri hesaplanır. Son olarak, bu değerlere bakılarak çalışma amacına göre yöntemin eşleme başarısının yeterli olup olmadığına karar verilir.

Bu tez çalışmasında öncelikle doğruluk analizini içeren bir önışlemi gerektiren etki oranına dayalı yarı-otomatik bir eşleme yöntemi geliştirilmiştir. Daha sonra bu yöntemin geometrik ve topolojik ölçülerini kullanan ancak herhangi bir önışleme gerek kalmadan kullanılabilecek çok aşamalı bir başka eşleme yöntemi geliştirilmiştir. Etki oranına dayalı yöntemin, orta seviye zorluk derecesine sahip ağaç desenli yol ağlarını eşleme başarısını belirleme amacı doğrultusunda bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, çok aşamalı eşleme yönteminin farklı desenlere ve çok sayıda nesneye sahip yol ağlarını eşleme başarısını belirleme amacı doğrultusunda iki uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler sırasıyla dördüncü ve beşinci bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmakta ve uygulama sonuçları değerlendirilmektedir. Ayrıca, eşleme işlemi için bir kavramsal model oluşturulmuştur. Bu model ikinci bölümde açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, çizgisel yol nesnelerinin eşlenmesi için aralarındaki benzerliklerin önerilen geometrik ve topolojik ölçülerle nasıl belirleneceği açıklanmaktadır. Son bölümde ise, yöntemler ve uygulama sonuçları tartışılmış ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, manuel eşlemenin yer aldığı bir önışleme gerek duyulmadan, farklı kaynaklarda üretilen benzer ölçekli mekânsal verisetlerindeki farklı desenli yol ağlarının otomatik eşlenebildiğı bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

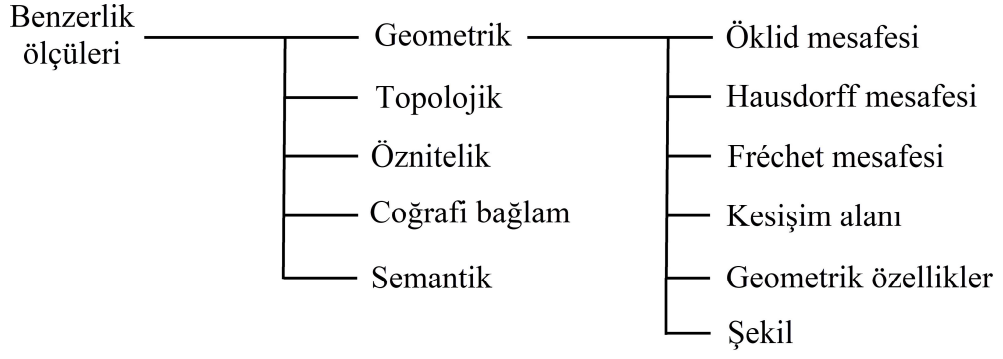
1.3 Hipotez

“Yol nesnelerinin geometrik entegrasyonunun en zor aşamalarından biri olan eşleme işlemi için, bir önışleme gerek duyulmadan kullanılabilecek, otomatik bir yöntem geliştirilebilir” şeklinde ileri sürülebilecek genel hipotez, aşağıdaki kabul ve spesifik hipotezlerle daha ayrıntılı hale getirilebilir.

- Hizalama işlemiyle yol çizgileri arasındaki benzerlikler artırılabilir.
- Literatürde geçen mevcut geometrik ve topolojik ölçüler haricinde başka ölçüler de kullanılabilir.
- Ölçü değerleriyle eşleme adayları için benzerlik puanları hesaplanabilir.
- Her bir ölçünün eşleme başarısı belirlenebilir.
- Eşleme başarılarına göre ölçüler ağırlıklandırılabilir.
- Ağırlıklandırılmış ölçü değerleriyle eşleme adayları için daha hassas benzerlik puanları hesaplanabilir.
- Benzerlik puanları belli bir ölçüte göre değerlendirilerek kesin eşler belirlenebilir.
- Eşleme başarısını artırmak için işlem, her aşamasında karar ölçütünün biraz daha esnetildiğı, kademeli bir işleme dönüştürülebilir.
- Farklı kaynaklardan sağlanan farklı desenli yol ağları kullanılarak yapılacak test sonuçlarına göre, geliştirilen yöntemin bir önışleme gerek duyulmaksızın doğrudan kullanılıp kullanılamayacağına dair bir değerlendirme yapılabilir.

Eşleme İşleminin Kavramsal Modeli

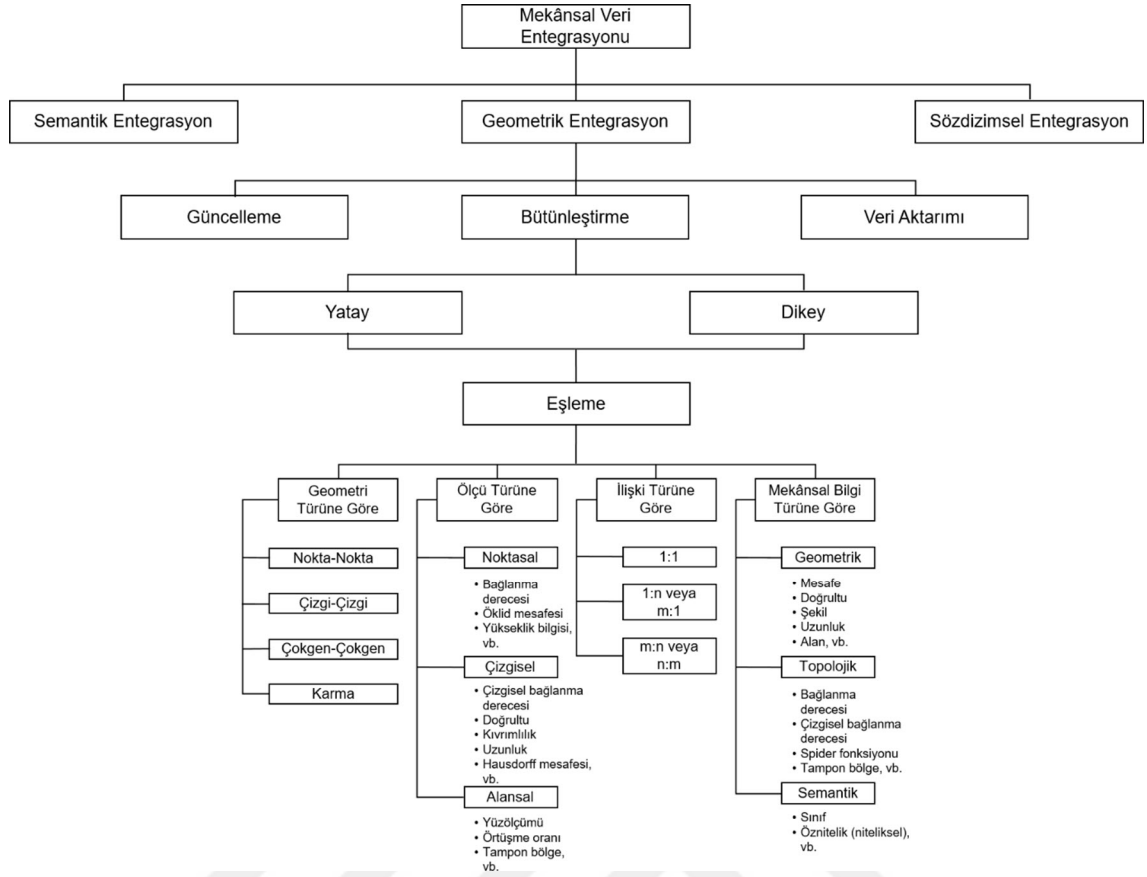
Çizgisel yol verilerinin bütünleştirilmesinde başarılı olmuş bir eşleme yönteminin, nokta nesne olarak temsil edilen binaların eşlenmesi sürecinde başarılı olması beklenmez. Bunun nedeni; (1) nesnenin geometri türü, (2) benzerlik denklemlerinde ihtiyaç duyulan ölçü türü, (3) kaynak verisetleri arasındaki ölçek ve detay farklılıkları nedeniyle oluşan 1:1 veya n:m ilişki durumu, (4) benzerlik denklemlerinde ihtiyaç duyulan mekânsal bilgi türü bakımından farklılıkların olmasıdır. Bu durum, eşleme için birbirinden farklı birçok yöntemin geliştirilmesine yol açmıştır. Yöntemlerin bazıları basit şekilde birkaç ölçü türünü kullanarak eşleme işlemini gerçekleştirirken, bazıları ise eşlenecek nesnelerin benzerliklerini ortaya koyan çok sayıda ölçüye dayalı olarak gerçekleştirmektedir. Eşleme yöntemlerinin bu denli geniş bir yelpazede yer almasından dolayı, bazı araştırmacılar, nesne ve ölçü türlerini temel alarak bazı sınıflandırmalar yapmışlardır. Yuan ve Tao (1999) eşleme işlemini; geometrik, topolojik ve semantik olarak sınıflandırmıştır. Volz (2006) eşleme işlemini kullanılan ölçü bazında; noktasal, çizgisel, alansal ölçülere ve bunların karma olarak yer aldığı durumlara göre sınıflandırmıştır. Tong vd. (2009) ise eşlemede kullanılan ölçüleri; geometrik, mekânsal ilişki ve öznitelik şeklinde ayırmış ve eşleme işlemini istatistik ve istatistik olmayan şeklinde sınıflandırmıştır. Ancak mekânsal ilişkiler hem topolojik hem geometrik ölçüleri kapsadığından mekânsal ilişkiler geometrik ölçülerden tam olarak ayrılmaz. Örneğin geometrik ölçülerden Öklid ve Hausdorff mesafeleri aynı zamanda mekânsal ilişkiyi de belirleyen ölçülerdir. Ruiz vd. (2011) bütünleştirme işlemini kapsamlı bir şekilde ele almış ve eşleme türüne göre bütünleştirme işlemlerini; geometrik, topolojik ve semantik olarak sınıflandırmıştır. Xavier vd. (2016) eşleme işleminde kullandığı ölçüleri Şekil 2.1'deki gibi sınıflandırmıştır. Burada, öznitelik ve coğrafi bağlam ölçüleri, geometrik, semantik ve topolojik ölçüler kullanılarak belirlendiği için diğerlerinden tam olarak bağımsız değildir.



Şekil 2.1 Benzerlik ölçülerinin sınıflandırılması (Xavier vd. 2016).

Bir eşleme yöntemi aşağıdaki sınıflardan yalnız birinde yer alabileceği gibi birkaçında birden de yer alabilmektedir. Örneğin, Zhang ve Meng (2007) tarafından geliştirilen eşleme yöntemi hem çizgisel hem noktasal ölçülere dayanmaktadır. Ayrıca yine aynı yöntem, hem geometrik hem topolojik bilgileri kullanmaktadır. Sınıflandırma işleminin asıl amacı eşleme yöntemlerini bir sınıfa atamak değil, eşleme işleminde kullanılacak alt işlemleri daha anlaşılır bir şekilde düzenlemektir. Bu düzen, girdi verisetine uygun eşleme yöntemini belirleyecek bir kullanıcının ihtiyaç duyacağı bilgiye kolayca ulaşmasını sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, konu, kapsam ve yöntemlerin daha iyi anlaşılması için öncelikle bir kavramsal model oluşturulmuştur. Bileşenleri Şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmiş olan model aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.2 Eşleme işleminin kavramsal modeli.

2.1 Mekânsal Veri Entegrasyonu

Mekânsal verilerin üretimindeki artış ve çeşitlilik, birlikte çalışabilirlik (interoperability) sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunların büyük bölümü, verilerin üretim aşamasında ortak standartların belirlenmemesinden kaynaklanmaktadır. Üretim farklılıkları mekânsal veriler arasında uyum sorunlarını doğurur. Flowerdew (1991) mekânsal verilerin entegrasyonunu, bir coğrafi bilgi sistemi içindeki farklı verisetlerinin birbirleriyle uyumlu hale getirildiği süreç olarak tanımlamaktadır. Dolayısıyla mekânsal verilerin entegrasyonunun sağlanması için en önemli ihtiyaç aralarındaki uyumun sağlanmasıdır. Mekânsal veriler arasındaki uyum geometrik, semantik (anlamsal) ve sözdizimsel olabilmektedir. Bu nedenle verilerin entegrasyonu geometrik, semantik ve sözdizimsel entegrasyon olmak üzere üç alt başlıkta incelenebilir.

2.1.1 Geometrik Entegrasyon

Mekânsal verisetlerini oluşturan nesnelerin geometrilerinin bir verisetinden diğer verisetine taşınması işlemidir. Taşınan nesneler az sayıda yeni nesne olabileceği gibi, çok sayıda nesneden oluşan büyük bir veriseti de olabilmektedir. Örneğin, farklı kurumlarda ya da bir kurumun farklı birimlerinde üretilen çizgisel yol geometrilerinin kurumlar veya birimler arasında paylaşılması ve mevcut verisetlerine entegre edilmesi işlemi bir geometrik entegrasyondur.

2.1.2 Semantik Entegrasyon

Mekânsal verisetlerini oluşturan nesnelere ait semantik bilgilerin bir verisetinden diğer verisetine taşınması işlemidir. Taşınan bilgiler yeni eklenen bazı nesnelere ait olabileceği gibi, büyük bir verisetinde yer alan çok sayıda nesneye de ait olabilmektedir. Örneğin, farklı kurumlarda ya da bir kurumun farklı birimlerinde yol nesneleri için üretilen trafik veya adres bilgilerinin, kurumlar veya birimler arasında paylaşılması ve mevcut verisetlerine entegre edilmesi işlemi bir semantik entegrasyondur.

2.1.3 Sözdizimsel Entegrasyon

Sözdizimsel entegrasyon mekânsal verisetlerinin kayıtlı olduğu dosyaların şematik anatomisini yapılandırır. Standartların belirlendiği verisetleri arasında dönüşüm işlemini gerçekleştirmek aksi senaryolara göre daha kolaydır. Ayrıca, mekânsal bilginin metaverileriyle birlikte çalışır. Örneğin; geometrik ve sözdizimsel entegrasyon süreci, kim tarafından yapıldığı, geometrik olarak entegre edilen verinin asıl kaynağı gibi bilgiler geometrik bilgi kadar önemlidir (Lunde 2005).

2.2 Geometrik Entegrasyon

2.2.1 Veri Aktarımı

Bir verisetinden diğerine coğrafi nesnenin geometrisinin aktarılması işlemidir. Örneğin, farklı kurumlarda ya da aynı kurumun farklı birimlerinde üretilen belli bir alansal sınır (ada, mahalle, ilçe, vb.) içerisinde üretilmiş çizgisel yol geometrilerinin

kurumlar veya birimler arasında paylaşılması geometrik entegrasyon süreçleri içerisindeki veri aktarımı işlemi ile gerçekleştirilir. Bu aktarım işleminde taşınacak mekânsal verinin üretim zamanı ile ilgili katı kriterler bulunmamaktadır.

2.2.2 Güncelleme

Bir verisetinden diğerine coğrafi nesnenin geometrisinin son halinin aktarılması işlemidir. Örneğin, farklı kurumlarda ya da aynı kurumunun farklı birimlerinde üretilen güncel yol geometrilerinin kurumlar veya birimler arasında paylaşılması geometrik entegrasyon süreçleri içerisindeki güncelleme işlemi ile gerçekleştirilir. Bu aktarım ileminde taşınacak mekânsal verinin üretim zamanı ile ilgili kriterler bulunmaktadır. Güncelleme, veri aktarımının özel hali olup, genellikle görece daha az sayıda nesnenin aktarıldığı entegrasyon süreçlerinde kullanılır.

2.2.3 Bütünleştirme

Önceki bölümde ifade edildiği gibi, Lynch ve Saalfeld (1985) aynı varlıkları temsil eden iki farklı haritanın kullanılmasıyla bu iki haritadan, geometrik ve semantik açıdan daha güncel ve zengin içerikli, haritalar üretmeyi bütünleştirme olarak adlandırmıştır. Bütünleştirme sürecinin gerçekleşebilmesi için aynı varlığı temsil eden nesneler, geometrik, semantik ve/veya topolojik benzerlikler kullanılarak eşlenmelidir. Diğer bir ifadeyle, veri aktarımı ve güncelleme işlemi için aktarılacak nesnelerin eşlenmesine ihtiyaç duyuluyorsa bu işlem bütünleştirme işlemi olarak adlandırılmaktadır.

2.3 Bütünleştirme

Yuan ve Tao (1999) bütünleştirme işlemini yatay ve dikey olmak üzere ikiye ayırmıştır.

2.3.1 Yatay Bütünleştirme

Yatay bütünleştirme, kenarlaşma (edge-matching) işlemi yardımıyla iki veya daha fazla bitişik durumdaki mekânsal verinin (pafta, yol ağı, bina, vb.) birleştirilmesi için kullanılmaktadır. Genellikle, nokta-nokta eşlemede kullanılan basit geometrik

(Öklid mesafesi, tampon bölge, vb.) ölçülerden faydalanılarak yatay bütünleştirme işlemi gerçekleştirilir.

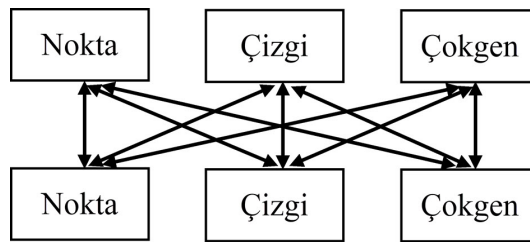
2.3.2 Dikey Bütünleştirme

Dikey bütünleştirme örtüşen mekânsal veriler için kullanılmaktadır. Birçok geometrik, topolojik ve/veya semantik ölçü birlikte kullanılarak dikey bütünleştirme işlemi gerçekleştirilir. Yatay bütünleştirmeye göre daha zor bir süreçtir. Bu tez araştırılan yayınlar ve geliştirilen yöntemler dikey bütünleştirme kapsamındadır.

2.4 Eşleme

2.4.1 Geometri Türüne Göre Eşleme

Eşleme işlemi genellikle geometrileri aynı nesneler arasında gerçekleştirilse de, verisetleri arasında önemli bir ölçek farklılığı varsa farklı geometride nesneler arasında da gerçekleştirilmesi mümkündür. Yuan ve Tao (1999) nesnelerin geometri türlerine göre gerçekleşebilecek eşlemeleri Şekil 2.3'teki gibi özetlemiştir. Buradan yola çıkarak eşleme işlemini nesne türlerine göre sınıflandırırken; nokta, çizgi, çokgen geometrili nesneleri ve bunların karma durumlarında gerçekleştirilen eşleme işlemini ayrı ayrı açıklama gereği duyulmuştur.



Şekil 2.3 Geometri türüne göre eşleme (Yuan ve Tao 1999).

2.4.1.1 Nokta Geometrili Nesneleri Eşleme

Geometri türünün her iki verisetinde de nokta olduğu durumlarda gerçekleştirilir. Nokta geometrili nesneler genellikle iki amaçla eşlenmektedir. Birincisi, bina ve ilgi noktası gibi nokta nesneleri doğrudan eşleme amacıyla yapılır. İkincisi ise, asıl amacın çizgi veya çokgen geometrili nesneleri eşleme işlemi olduğu durumlarda

gerçekleştirilir. Örneğin, çizgisel yol nesnelerinin eşlenmesi için düğüm noktalarının eşlenmesi veya çokgenlerin eşlenmesi için ağırlık merkezi noktalarının eşlenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir (Rosen ve Saalfeld 1985, Saalfeld 1988, Cobb vd. 1998, Mustière ve Devogele 2008, Kim vd. 2010).

2.4.1.2 Çizgi Geometrilili Nesneleri Eşleme

Geometri türünün her iki verisetinde de çizgi olduğu durumlarda gerçekleştirilir. Yol, demiryolu, dere gibi çizgi geometrilili nesneleri eşlemek için genellikle noktasal ve çizgisel ölçüler yardımıyla eşleme işlemi gerçekleştirilir. Ancak az da olsa çizgi nesneleri eşleme işleminde alansal ölçülerini kullanan çalışmalar da mevcuttur. Çizgi nesnelerin alansal ölçülerini elde etmek için bazı çalışmalar tampon bölge alanından (Koukoletsos vd. 2012, Hacı ve Gökgöz 2019), bazı çalışmalar ise yolların çevrelediği ada alanından faydalanmıştır (Fan vd. 2016).

2.4.1.3 Çokgen Geometrilili Nesneleri Eşleme

Geometri türünün her iki verisetinde de çokgen olduğu durumlarda gerçekleştirilir. Bina, parsel, ada, yeşil alan gibi çokgen nesneleri eşlemek için noktasal, çizgisel veya alansal ölçüler yardımıyla eşleme işlemi gerçekleştirilir. Çokgen geometrilili nesneler, mekânsal ilişki kurma bakımından diğer geometri türlerine göre daha uygundur. Bu nedenle, mekânsal ilişkiler bazı çokgen eşleme çalışmalarında kullanılmıştır (Samal vd. 2004, Kim vd. 2010).

2.4.1.4 Karma Geometrilili Eşleme İşlemi

Gerçek dünyadaki varlıklar, verisetlerindeki ölçek veya ayrıntı düzeyi farklılıkları nedeniyle farklı geometri türünde temsil edilebilir. Örneğin, bir verisetinde nokta geometrisi ile gösterilen bir bina daha büyük ölçekte çokgen geometrisinde olabilir. Bir verisetinde çokgen ile gösterilen bir akarsu daha küçük ölçekte çizgi geometrilili olabilir. Bu çeşitlilikteki verisetlerinin bütünleştirilmesi çalışmalarında eşleme işlemi farklı geometrik temsile sahip nesneler üzerinden gerçekleştirilir.

2.4.2 Ölçü Türüne Göre Eşleme

2.4.2.1 Noktasal Ölçülerle Eşleme

Bir nokta nesnesi üzerinde veya birden fazla nokta nesnesi arasında doğrudan veya dolaylı olarak hesaplanan ölçülerle yapılan eşleme işlemidir. Örneğin; bir düğüm noktasının bağlanma derecesi (Zhang ve Meng 2007), bir binanın kat adedi, düzensiz üçgen ağındaki bir noktanın kendisine bağlanan üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu (Hacar ve Gökgöz 2019) gibi ölçülerin ya da; iki ağırlık merkezi noktası arasındaki Öklid mesafesi (Hacar ve Gökgöz 2016), kırılma açısı gibi ölçülerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

2.4.2.2 Çizgisel Ölçülerle Eşleme

Bir çizgi nesnesi üzerinde veya birden fazla çizgi nesnesi arasında doğrudan veya dolaylı olarak hesaplanan ölçülerle yapılan eşleme işlemidir. Örneğin; bir çizgisel yol nesnesinin doğrultusu (Hacar ve Gökgöz 2019), kıvrımlılığı (Hacar ve Gökgöz 2018), uzunluğu (Li ve Goodchild 2011) gibi ölçülerin ya da; iki veya daha fazla yol nesnesi arasındaki Hausdorff mesafesi (Li ve Goodchild 2011), çizgisel bağlanma derecesi (Hacar ve Gökgöz 2019) gibi ölçülerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

2.4.2.3 Alansal Ölçülerle Eşleme

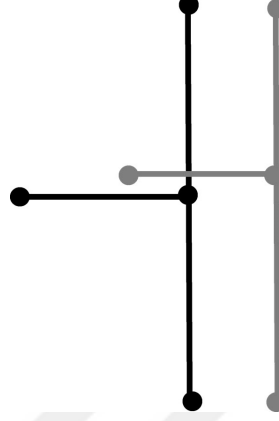
Çokgen nesnelerin alanları veya nokta ve çizgilerin tampon bölgeleri üzerinden doğrudan veya dolaylı olarak hesaplanan ölçülerle yapılan eşleme işlemidir. Örneğin, iki çokgenin alanlarının kesişim oranı (Fan vd. 2016), tampon bölge içine giren nesnelerin tespiti (Koukoletsos vd. 2012) gibi işlemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

2.4.3 İlişki Türüne Göre Eşleme

2.4.3.1 1:1 Uyumlu Eşleme

Bir verisetindeki bir nesnenin, diğer verisetindeki sadece bir nesneye eşlenmesi durumunda 1:1 (Bir'e Bir) eşleme işlemi gerçekleşmiş olur. Genellikle, benzer

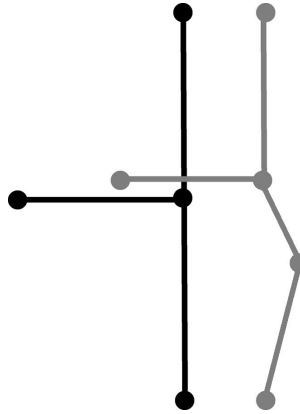
ölçekteki verisetleri arasında böyle bir uyum olması beklenir. Örneğin Şekil 2.4'te, bir verisetindeki üç çizgi geometrili nesneye (siyah), diğer verisetindeki üç çizgi geometrili nesne (gri) karşılık gelmektedir.



Şekil 2.4 1:1 uyumlu eş çizgi geometrili nesneler.

2.4.3.2 1:n veya m:1 Uyumlu Eşleme

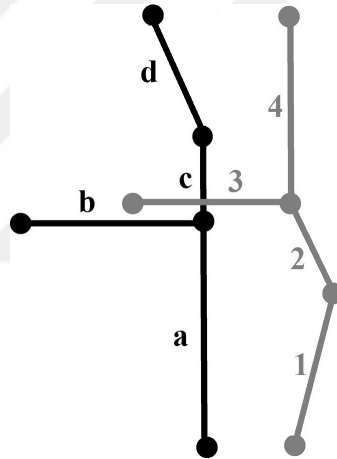
Bir verisetindeki bir nesnenin, diğer verisetindeki birden fazla nesneye eşlenmesi durumunda 1:n (Bir'e Çok) eşleme işlemi gerçekleşmiş olur. Tersisi durumda m:1 (Çok'a Bir) eşleme gerçekleşir. Genellikle bir verisetindeki nesnelerin ayrıntı düzeyi diğer verisetindeki nesnelerden düşük ise 1:n, yüksek ise m:1 eşlemenin olması beklenir. Örneğin Şekil 2.5'te, bir verisetindeki üç çizgi nesnesine (siyah), diğer verisetindeki dört çizgi nesnesi (gri) karşılık gelmektedir.



Şekil 2.5 1:n uyumlu eş çizgi geometrili nesneler.

2.4.3.3 m:n ve ya n:m Uyumlu Eşleme

Gerçek bir varlığın her iki verisetinde de farklı sayıda nesneler tarafından temsil edildiği durumlarda m:n veya n:m (Çok'a Çok) eşleme işlemi gerçekleşmiş olur. İki verisetinin ölçek bakımından farklı olduğu durumlarda bu tür eşlemenin olması beklenir (Zhang 2009). Ancak bazı durumlarda, iki verisetinin üretimi arasındaki büyük zamansal farklılıklar da bu tür eşleme işlemi gerekliliğini kılabilir. Örneğin Şekil 2.6'da, bir verisetindeki dört çizgi nesnesine (siyah), diğer verisetindeki dört çizgi nesnesi (gri) karşılık gelmektedir. Ancak, bazı nesnelere karşılık gelen nesne sayıları diğerlerinden farklıdır. Diğer bir ifadeyle birinci verisetindeki a çizgisine ikinci verisetinin 1 ve 2 numaralı çizgileri karşılık gelirken, birinci verisetindeki c ve d çizgilerine ikinci verisetinin 4 numaralı çizgisi karşılık gelmektedir.



Şekil 2.6 m:n veya n:m uyumlu eş çizgi geometrili nesneler.

2.4.4 Mekânsal Bilgi Türüne Göre Eşleme

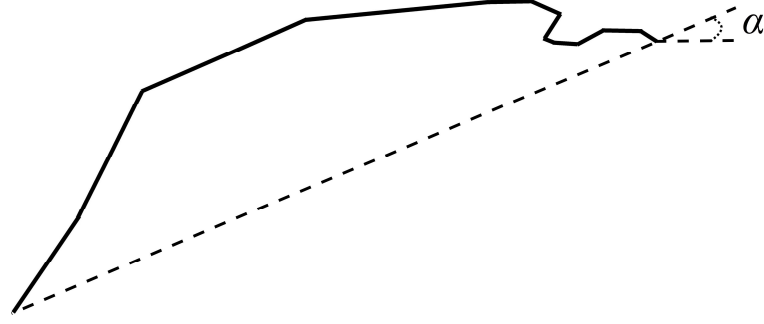
2.4.4.1 Geometrik Bilgilerle Eşleme

Zhang (2009) çalışmasında eşleme işleminde kullanılan geometrik bilgileri; mesafe, doğrultu, konum, şekil ve büyüklük olarak belirtmiştir. Xavier vd. (2016) ise; Öklid, Hausdorff ve Fréchet mesafeleri, alansal örtüşme, geometrik özellikler ve şekil olarak vurgulamıştır (Şekil 2.1). Burada, geometrik özellikler ile doğrultu ve uzunluk kastedilmektedir. Ancak, geometrik özelliklerin diğerlerinden ne gibi farklılıkları olduğunun açıklanmaması sınıflandırma işleminde karışıklığa neden

olmaktadır. Bu tez çalışmasında, mekânsal bilgi olarak geometrik ölçüler; mesafe ve konum, doğrultu, şekil, uzunluk ve alan ölçüleri şeklinde sınıflandırılmıştır.

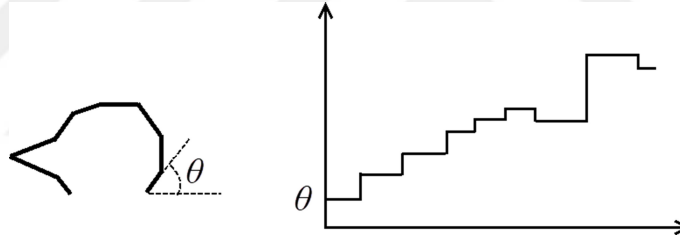
Mesafe ölçüsü, eşleme işleminde genellikle eşleme adaylarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Li ve Goodchild 2011). Nokta geometrili nesnelerin eşlenmesinde Öklid mesafesi yeterli olurken, çizgi geometrili nesnelerin eşlenmesinde hesap bakımından daha karmaşık ve çizgiler arasındaki maksimum mesafeyi ölçen Hausdorff veya Fréchet mesafeleri kullanılır (Mustière ve Devogele 2008, Zhang 2009, Li ve Goodchild 2011, Xavier 2017, Hacı ve Gökğöz 2019). Konum ölçüsü genellikle, eşleme adayı iki noktanın veya bir nokta ile bir çokgenin değerlendirildiği bir ölçüdür. Nokta-nokta eşlemesi için, noktaların koordinat değerleri arasındaki fark dikkate alınır. Çizgi ve çokgen nesneleri oluşturan nokta sayısı kadar konum bilgisi olmasından dolayı eşlemede işlem yükünü arttıracığından pek tercih edilmez. Bunun yerine, çizgi ve çokgen nesnelerin ağırlık merkezlerinde nokta oluşturulur ve bu noktalar kullanılarak bir çeşit nokta-nokta veya nokta-çokgen eşlemesi gerçekleştirilir. Literatürde çizgi ve çokgen nesnelerin eşlenmesinde mesafe ölçüsü için ağırlık merkezi konumunun kullanıldığı çeşitli çalışmalar vardır. Hacı ve Gökğöz (2019) çizgi nesneler için ağırlık merkezi noktalarını belirlemiş ve bu noktalara göre her iki verisetinde düzensiz üçgen ağı oluşturmuştur. Çizgileri temsil eden bu noktalara bağlanan üçgen kenarlarının uzunluklarının ortalaması, konuma bağlı bir çeşit mesafe ölçüsü olarak kullanılmıştır. Yuan ve Tao (1999) ve Kim vd. (2010) çokgen geometri türündeki binaları eşlerken yine ağırlık merkezlerini kullanmışlardır.

Doğrultu, çizgi geometrili nesneleri eşlemek için kullanılan doğrultu açısına dayalı bir ölçüdür. Basit olarak aday çizgilerin başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki düz çizginin doğrultu açıları (α) karşılaştırılır ve uygun değerde olup olmadığı kontrol edilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Bir çizgiye (siyah sürekli çizgi) ait doğrultu açısı örneği (α : doğrultu açısı).

Bir şekil ölçüsü olarak, Arkin vd. (1991) tarafından dönüş fonksiyonu (turning fuction) çizgi ve çokgen nesnelerin eşlenmesi için önerilmiştir. Buna göre, bir çizgi veya çokgenin kırılma noktalarındaki kümülatif açısal değerlere göre eşleme adaylarının şekilsel olarak benzeteme durumları belirlenir. Şekil 2.8’de bir çizgi için dönüş fonksiyonu grafiği gösterilmektedir (Veltkamp 2001). Burada; segment uzunlukları yatay eksen boyunca, sapma açıları (θ) ise dikey eksen boyunca işaretlenmektedir.

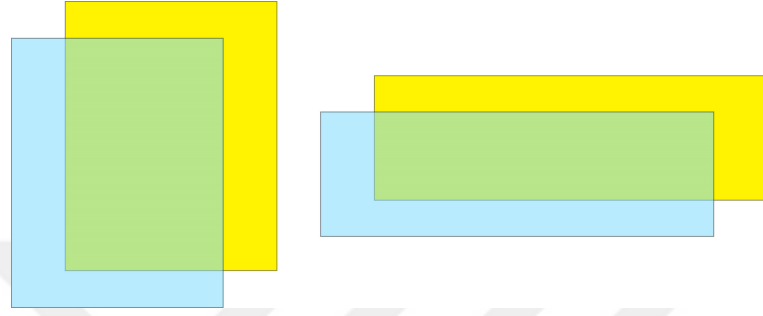


Şekil 2.8 Bir çizgi ve dönüş fonksiyonu grafiği (Veltkamp 2001).

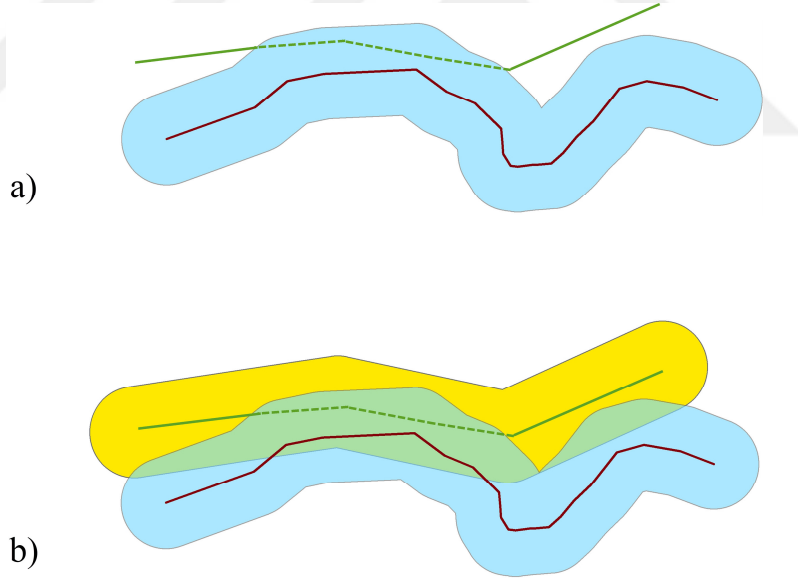
Uzunluk ölçüsü çizgi ve çokgen nesnelerin eşlenmesi için kullanılabilmektedir. Li ve Goodchild (2011) verisetlerinin çözünürlüklerine bağlı olarak, yol çizgilerinin uzunluklarındaki belirsizlikler için bir hata payı β kullanmışlardır. β verisetlerindeki çizgilerin toplam uzunluklarının oranını göstermektedir. Buna göre, herhangi bir çizginin uzunluğunun diğer verisetindeki eşleme adayının uzunluğundan maksimum β kez küçük/büyük olma şartı aranır.

Alan ölçüsü genellikle çokgen nesnelerin eşlenmesi için kullanılır. Fan vd. (2016) çokgenleri eşlerken uygun olanları alansal bir kesişim oranı ile bulmaya çalışmaktadır. Örneğin, Şekil 2.9’da bir verisetindeki binalar (mavi) ve bunların diğer verisetindeki eşleme adayı olan binaları (sarı) gösterilmektedir. Binaların örtüşme oranları, kesişim alanlarının (yeşil) binaların alanlarına oranı ile

hesaplanmaktadır. Ancak, çizgi nesnelerin etrafında belli eşik değerde tampon bölgeler oluşturarak, eşleme işlemini bu bölgelerin alanları üzerinden gerçekleştiren çalışmalar da mevcuttur. Koukoletsos vd. (2012) tampon bölge içine giren eşleme adayı çizgilerin uzunluklarını (Şekil 2.10a'daki yeşil çizgi), Hacı ve Gökğöz (2019) ise eşleme adaylarının tampon bölgelerinin örtüşme oranlarını (Şekil 2.10b) kullanmıştır.



Şekil 2.9 Eşleme adayı çokgenlerin örtüşmesi

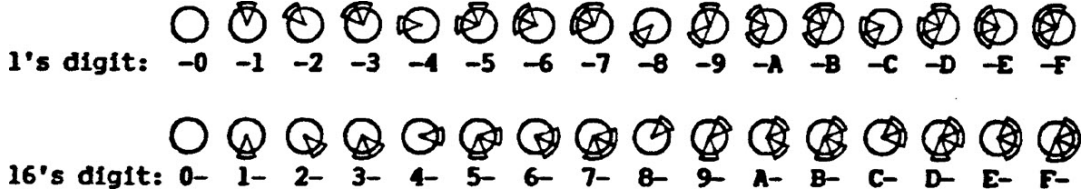


Şekil 2.10 Eşleme adayı çizgiler için tampon bölgenin kullanımı

2.4.4.2 Topolojik Bilgilerle Eşleme

Rosen ve Saalfeld (1985) ve Saalfeld (1988) tarafından geliştirilen spider fonksiyonu çizgilerin birbirine bağlandığı düğüm noktaları üzerinden çalışır. Spider fonksiyonu her bir düğüm noktası için, kendisine bağlanan çizgilerin yönlerini

onaltılı sayı (hexadecimal) gösterimi ile iki sayı veya harften meydana gelen ikili bir değerle kaydeder. Şekil 2.11 spider fonksiyonunun bir düğüm noktası için ikili değeri belirleme ölçütleri gösterilmektedir. Örneğin, ikili değeri 55 olan bir düğüm noktası için, kendisine bağlanan çizgilerin deseni kuzey-doğu-güney-batı şeklinde olacaktır.



Şekil 2.11 Spider fonksiyonunda kullanılan onaltılı sayı gösterimi (Saalfeld 1988).

Bağlanma değeri (degree of connectivity/centrality/intersection, valence, vb.) de çizgiler için kullanılan topolojik bir ölçüdür. Buna göre, yine düğüm noktasına bağlanan çizgi sayısı ilgili düğüm noktası için kaydedilir ve diğer verisetindeki eşleme adayı ile kıyaslanır (Zhang ve Meng 2007, Song vd. 2011, Hackelöer 2016). Ancak bu tür bir eşlemede çizgilerin eşlenmesi için öncelikle noktaların eşlenmesi gerekmektedir. Hacı ve Gökgez (2019) çizgisel bağlanma değerini önermiş ve düğüm noktalarının eşlenmesine ihtiyaç duymadan, doğrudan çizgi nesneleri eşlemek için kullanmıştır.

2.4.4.3 Semantik Bilgilerle Eşleme

Li ve Goodchild (2011) çizgisel yol nesnelerini eşlemek için yol isimlerinden yararlanmıştır. Eşleme adaylarının isimleri arasındaki farklılıkları tespit edebilmek için de Hamming mesafesini kullanmıştır (Hamming 1950). Buna göre, eşleme adaylarının isimlerindeki harfler karşılaştırılır. Sırasıyla farklı olan her harf için +1 değeri eklenir ve toplam değişiklik sayısı (mesafesi) hesaplanır. Bu mesafe değeri ne kadar büyükse iki eşleme adayı nesne semantik açıdan birbirinden o kadar uzak denebilir. Zhang (2009) semantik ilişkilerin seviyesinin, kaynak verisetleri değiştikçe değişeceğine işaret ederek, eşleme işlemlerinde geometrik ve topolojik ölçülerin kullanılmasının daha kapsayıcı olduğunu belirtmiştir. Çobankaya ve Uluğtekin (2014) çoklu gösterim (çok temsilli) veritabanlarında farklı ölçekli verisetlerindeki nesneleri eşlemek için, nesnelerin öznitelik bilgilerinden

faýdalanýlarak oluşturulan yegâne (tekil) tanımlıyııcıyı ve adres tanımlayııcı öznitelikleri kullanmışlardır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen eşleme yöntemlerinde semantik bilgiler bir ölçü olarak kullanılmamıştır.



Çizgisel Yol Nesnelerinin Eşlenmesinde Kullanılabilecek Hizalama Yöntemleri ve Benzerlik Ölçüleri

Bu tez çalışması kapsamında çizgisel yol nesnelerinin eşlenmesi üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Bu bölümde çizgisel yol nesnelerinin eşlenmesi için aralarındaki benzerliklerin nicel olarak belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Benzerlik denklemlerinde kullanılabilecek ölçüler çeşitli uygulamalarla test edilmiştir. Son olarak, elde edilen sonuçlar doğrultusunda ölçüler üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1 Yol Ağlarının Hizalanmasında Kullanılabilecek Dönüşüm Yöntemleri

İki yol çizgisi arasındaki benzerliğin artırılması eşleme işleminin başarılı olma ihtimalini artıracaktır. Benzerliğin artırılması için verisetlerindeki yol ağları birbirine hizalanabilmektedir. İlk bütünleştirme çalışmalarında hizalama işlemi (alignment) için rubber-sheet dönüşümü kullanılmıştır (Saalfeld 1985, Rosen ve Saalfeld 1985, Saalfeld 1988, Cobb vd. 1998, Volz 2006). Daha sonra Li ve Goodchild (2011) tarafından eşleme işlemi için geliştirilen bir iyileştirme (optimizasyon) modelinde afin dönüşümü kullanılmıştır ve ilgili çalışmada oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak literatürde hangi dönüşüm yönteminin eşleme süreçlerindeki hizalama işleminde kullanılması gerektiği üzerine kapsamlı bir çalışmanın olmaması bu konu üzerine deneysel bir araştırma yapma gerekliliğini doğurmuştur. Sıradaki bölümlerde, eşleme işlemlerinde tercih edilen (lineer rubber-sheet ve afin) ve tercih edilmeyen (benzerlik, projektif ve doğal komşuluk rubber-sheet) dönüşüm yöntemleri üzerine incelemeler yapılmış ve eşleme işleminin doğruluğundaki etkileri değerlendirilmiştir.

3.1.1 Benzerlik Dönüşümü (Helmert Dönüşümü)

Bu dönüşüm yönteminde, geometrik şekillerin alanları aynı ölçüde büyür veya küçülür. Açılar büyük ölçüde korunur. Bir ölçek, bir dönüklük ve iki öteleme olmak üzere dört parametre bulunmaktadır. Bunların hesabında kullanılan (3.1) eşitliğindeki dört katsayının lineer denklem sisteminde çözülebilmesi için en az iki ortak nokta (kontrol noktası) gereklidir (Bildirici 2004, Başçiftçi ve İnal 2008). Benzerlik dönüşümünde (x', y') sisteminden (x, y) sistemine geçiş için (3.1) eşitliği kullanılır.

$$x = a_1x' + a_2y' + a_3 \quad y = -a_2x' + a_1y' + a_4 \quad (3.1)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \vdots \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix}}_L = \underbrace{\begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 & 0 \\ y'_1 & -x'_1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_n & y'_n & 1 & 0 \\ y'_n & -x'_n & 0 & 1 \end{bmatrix}}_A \times \underbrace{\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}}_x \quad (3.2)$$

$$a_1 = m \times \cos \varepsilon \quad a_2 = m \times \sin \varepsilon \quad (3.3)$$

$$L + v = A \times x \quad (3.4)$$

a_1, a_2, a_3 ve a_4 katsayılarının lineer denklem çözümüyle belirlenebilmesi için, (3.2) eşitliği kullanılır. a_1 ve a_2 katsayılarının m (ölçek) ve ε (dönüklük açısı) ile olan ilişkisi eşitliğinde verilmiştir (3.3). Dengelemeli benzerlik dönüşümü yapabilmek için en az üç ortak noktaya ihtiyaç vardır ve dengelemeli çözüm (3.4) eşitliği ile yapılır.

3.1.2 Projektif Dönüşüm

Koordinat düzlemlerinin birbirine paralel olmadığı fotogrametrik uygulamalarda kullanılır. Açılar korunmaz. Dönüşüm öncesi paralel olan doğrular dönüşüm sonrası paralel olmayabilir. Aşağıda yer alan denklemlerin çözümü için sekiz katsayının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için dört ortak noktaya ihtiyaç duyulur (Bildirici 2004, Başçiftçi ve İnal 2008). Dengelemeli projektif dönüşüm yapabilmek için en az

beş ortak noktaya ihtiyaç vardır ve çözümü (3.4) eşitliğinde olduğu gibi yapılır. Projektif dönüşümde (x', y') sisteminden (x, y) sistemine geçiş için (3.5) eşitliği kullanılır. $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ ve a_8 katsayılarının lineer denklem çözümüyle belirlenebilmesi için (3.6) eşitliği kullanılır.

$$x = \frac{a_1x' + a_2y' + a_3}{a_7x' + a_8y' + 1} \quad y = \frac{a_4x' + a_5y' + a_6}{a_7x' + a_8y' + 1} \quad (3.5)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_1x_1 & -y'_1x_1 \\ 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & 1 & -x'_1y_1 & -y'_1y_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x'_n & y'_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_nx_n & -y'_nx_n \\ 0 & 0 & 0 & x'_n & y'_n & 1 & -x'_ny_n & -y'_ny_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

3.1.3 Afin Dönüşümü

Her iki eksen boyunca bozulmaların aynı olmadığı durumlarda kullanılır. Paralel doğrular dönüşüm sonrası da birbirine paraleldir. Açılar korunmaz. Koordinat eksenleri için iki ayrı ölçek, iki öteleme ve iki dönüklük olmak üzere altı parametre bulunmaktadır. Afin dönüşümünde (x', y') sisteminden (x, y) sistemine geçiş için (3.7) eşitliği kullanılır (Bildirici 2004, Başçiftçi ve İnal 2008).

$$x = a_1x' + a_2y' + a_3 \quad y = a_4x' + a_5y' + a_6 \quad (3.7)$$

Koordinat değerlerinin (x_i, y_i) belirlenebilmesi için altı katsayının bilinmesi gereklidir. Bunun için en az üç ortak nokta gereklidir. Dengelemeli afin dönüşümü yapabilmek için en az dört ortak noktaya ihtiyaç vardır ve çözümü (3.4) eşitliğinde olduğu gibi yapılır. a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 ve a_6 katsayılarının lineer denklem çözümüyle belirlenebilmesi için, (3.8) ve (3.9) eşitlikleri kullanılır.

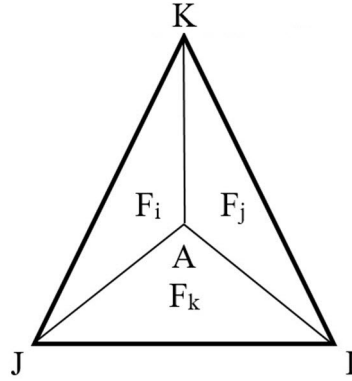
$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x'_n & y'_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x'_n & y'_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

3.1.4 Rubber-Sheet Dönüşümü

3.1.5.1 Lineer (Doğrusal) Rubber-Sheet Dönüşümü

Saalfeld (1985) tarafından önerilen yöntem, kontrol noktalarına dayalı olarak oluşturulan bir üçgenin içine düşen (x', y') noktalarının lokal barisentrik koordinatları (3.11-3.13) kullanılarak (x, y) noktalarına (3.14) eşitliği kullanılarak dönüştürülmesi işlemidir. Şekil 3.1'de A noktası I, J ve K kontrol noktalarıyla oluşturulan üçgenin içine düşmektedir. A noktası ve üçgen köşe noktaları kullanılarak üç yeni üçgen meydana getirilir. Büyük üçgenin (Δ_{IJK}) alanı F, alt üçgenlerin alanı ise F_i , F_j ve F_k olsun. A noktasının barisentrik koordinatlarını sırasıyla; $P_i = \frac{F_i}{F}$, $P_j = \frac{F_j}{F}$ ve $P_k = \frac{F_k}{F}$ temsil etmektedir. Alan hesabı üçüncü derece determinant kullanılarak aşağıdaki gibi gerçekleştirilir (Yanalak vd. 2005).



Şekil 3.1 I, J ve K kontrol noktalarıyla oluşturulan bir üçgen ve bu üçgenin içine düşen A noktasıyla oluşturulan alt üçgenler (Yanalak vd. 2005).

$$2F = (x'_j - x'_i)(y'_k - y'_i) - (x'_k - x'_i)(y'_j - y'_i) = G \quad (3.10)$$

$$P_i = (x'_j - x'_A)(y'_k - y'_A) - (x'_k - x'_A)(y'_j - y'_A)/G \quad (3.11)$$

$$P_j = (x'_k - x'_A)(y'_i - y'_i) - (x'_i - x'_A)(y'_k - y'_A)/G \quad (3.12)$$

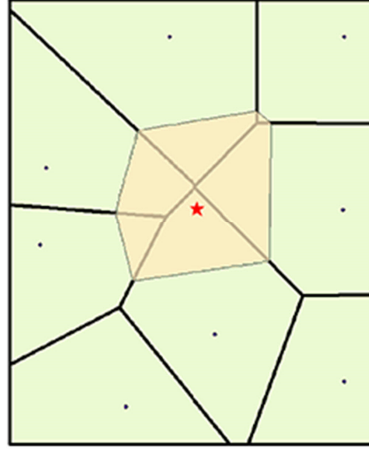
$$P_k = (x'_i - x'_A)(y'_j - y'_A) - (x'_j - x'_A)(y'_i - y'_A)/G \quad (3.13)$$

Ardından A noktasının (x, y) sistemindeki koordinat değerleri için I, J ve K kontrol noktalarının diğer verisetindeki eşleri ile oluşturulan üçgen içinde (3.14) eşitlikleri ile enterpole edilir.

$$x_A = P_i x_i + P_j x_j + P_k x_k \quad y_A = P_i y_i + P_j y_j + P_k y_k \quad (3.14)$$

3.1.5.2 Doğal Komşu (Natural Neighbor) Rubber-Sheet Dönüşümü

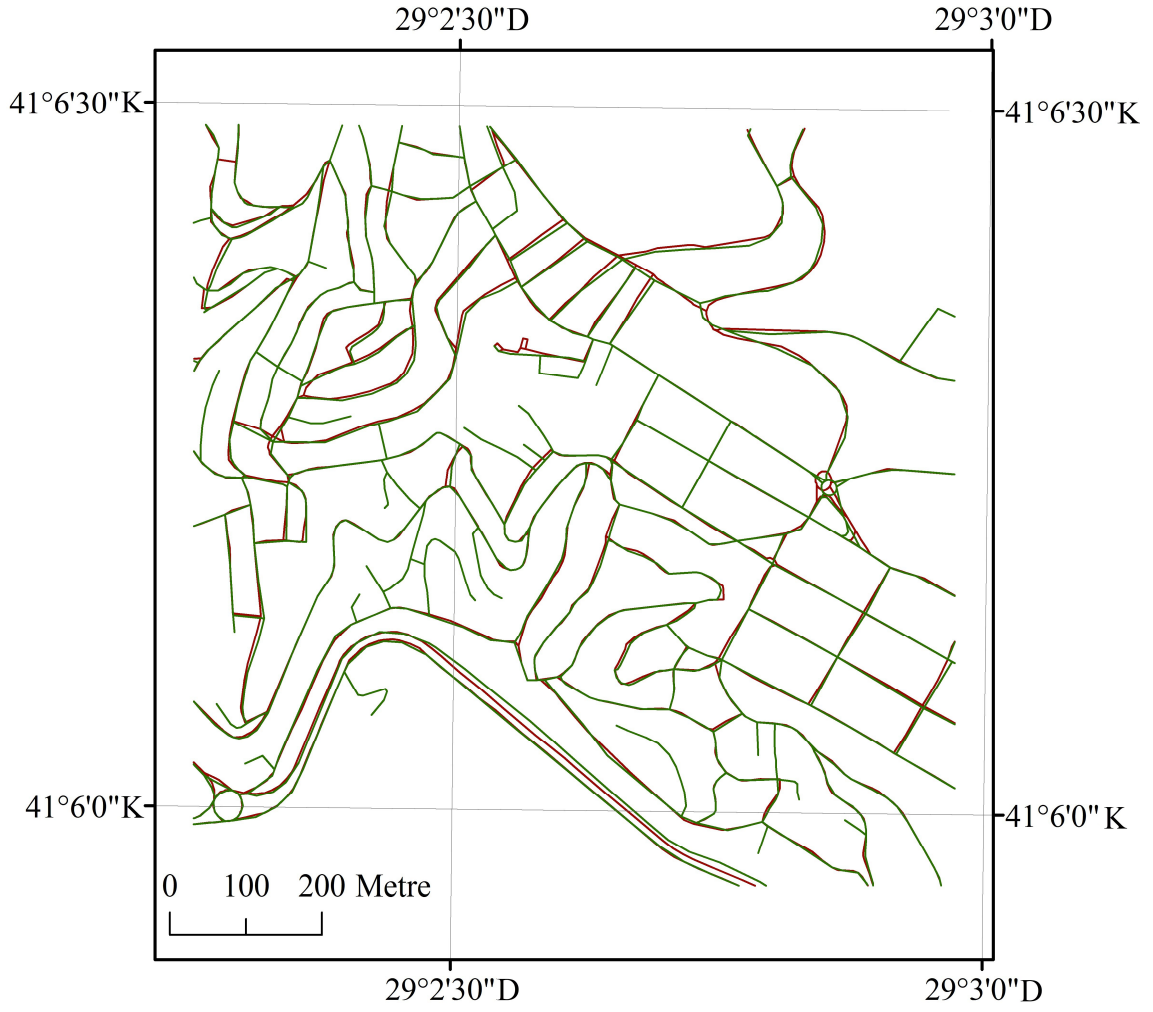
Eğer az sayıda kontrol noktası var ise bu yöntem lineer rubber-sheet yönteminden daha başarılı sonuçlar üretmektedir (Zhu 2016). Bu yöntemde öncelikle kontrol noktalarına göre bir verisetinde başlangıç-Voronoi hücreleri oluşturulur. Bu verisetinde yer alan herhangi bir A noktası etrafında, kendisi ile komşu kontrol noktalarını birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmeleri ile yeni bir Voronoi hücresi oluşturulur (Şekil 3.2). Başlangıç-Voronoi hücrelerinin yeni hücre ile kısmen örtüşen bölümlerinin yeni hücrenin alanına oranları bir ağırlıklandırma ölçütü olarak kullanılır (ESRI 2019). Bu ağırlıklar, A noktasının doğal komşularına göre hesaplanmış lokal koordinat değerleridir ve 0 ile 1 arasında değişir (Yanalak 1997). A noktasının dönüşüm sonrası koordinat değerleri, diğer verisetindeki kontrol noktalarının koordinat değerlerinden lokal koordinatların enterpolasyonu ile hesaplanır. Diğer bir ifadeyle, (3.14) eşitliğinde olduğu gibi P_i oranları diğer verisetindeki ilgili kontrol noktalarının koordinat değerleri ile çarpılır ve ağırlıklandırılmış x değerleri toplanarak x_A , ağırlıklandırılmış y değerleri toplanarak y_A koordinat değerleri hesaplanır.



Şekil 3.2 Kontrol noktaları ile türetilen Voronoi hücreleri (nokta merkezli) ve yeni Voronoi hücresi (yıldız merkezli) (ESRI 2019).

3.1.5 Uygulama 1: Yol Ağlarının Hizalanmasında Kullanılabilecek Dönüşüm Yöntemlerinin Test Edilmesi

Bu uygulamada benzerlik, projektif, afin, lineer rubber-sheet ve doğal komşu rubber-sheet dönüşüm yöntemleri kullanılarak İstanbul Sarıyer'e ait iki yol ağı hizalanmıştır. Yol ağlarından ilki, başarılı GCB platformlarından olan OSM, diğeri TomTom firmasından sağlanmıştır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi hem ağaç (tree) hem hücresel (cellular) desene sahip karma (hibrit) desenli 1 km x 1 km büyüklüğünde bir bölge seçilmiştir. Uygulamada OSM yol ağı TomTom yol ağına hizalanmıştır. Yol ağlarına ilişkin bazı istatistikler Tablo 3.1'de verilmiştir. Buradaki değerler arasındaki belirgin farklar, yol ağlarının aynı yeri temsil etmesine rağmen birbirinden ne kadar farklı olabileceğini göstermektedir.



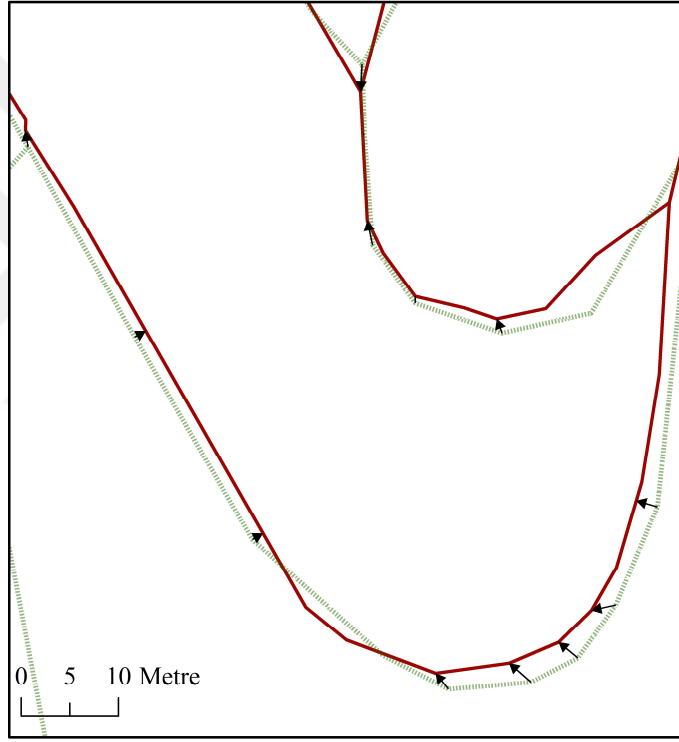
Şekil 3.3 Uygulama verileri: OSM (yeşil) ve TomTom (kırmızı).

Tablo 3.1 Yol ağlarına ilişkin bazı istatistikler.

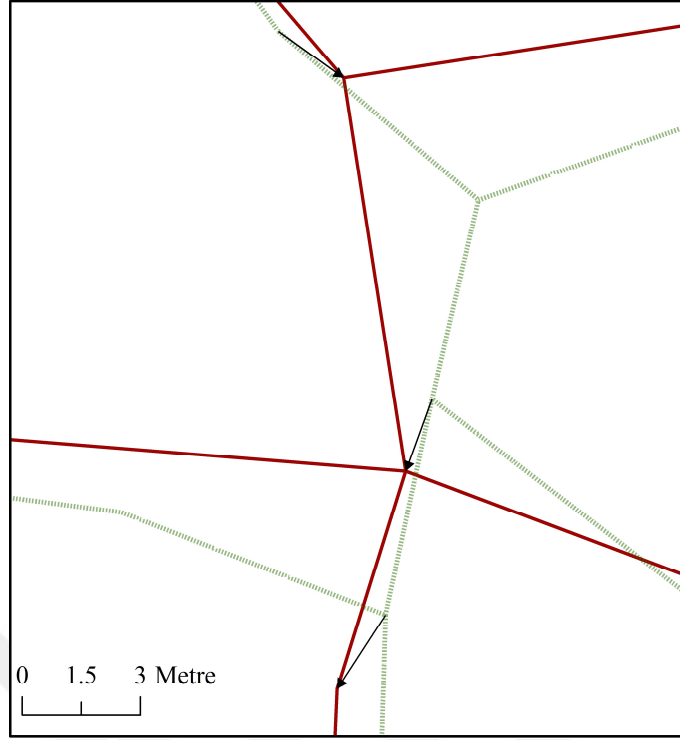
	Nesne sayısı	Yol uzunluğu (km)	Düğüm noktası sayısı	En büyük bağlanma değeri
OSM¹	288	21.9	224	5
TomTom	221	19.7	164	4
¹ OpenStreetMap				

Kontrol noktalarını belirlemek için otomatik ve manuel olmak üzere iki yöntem tercih edilmiştir. Birincisi, ArcMap 10 yazılımı yardımıyla (otomatik) (ESRI 2011), diğeri ise operatör yardımıyla (manuel) olarak gerçekleştirilmiştir.

Otomatik yöntemle kontrol noktaları belirlenirken bir eşik mesafe ölçütünün belirlenmesi gerekmektedir. Mesafe ölçütünün değeri arttıkça kontrol noktalarının sayısı da artmaktadır ancak hizalama doğruluğu azalmaktadır, diğer bir ifadeyle, yanlış kontrol noktaları türetilmektedir. Bu uygulamada mesafe kriteri olarak büyük bir değer olmayan yol şerit genişliği seçilmiştir. Kara Yolları Genel Müdürlüğü Devlet Yolları Standardı ve TSE Standardı'na (TSE, 2013) göre şehir içi yollara ait şerit genişliği uygulama bölgesinde maksimum 3 m'dir. Bu değerle 364 adet kontrol noktası otomatik olarak belirlenmiştir. Kontrol noktaları belirlenirken hem düğüm (node) hem ara noktalar (vertices) kullanılmıştır. Noktalar arası bağlantılar (links) çizgi dosyası olarak üretilmiştir (Şekil 3.4 ve 3.5).



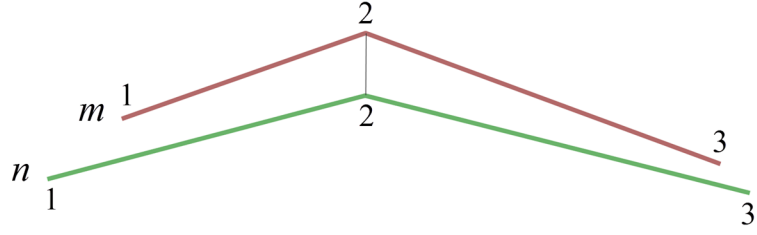
Şekil 3.4 Kontrol noktaları arası oluşturulan bağlantılar (siyah ok).



Şekil 3.5 Kontrol noktaları arası oluşturulan bağlantılar (siyah ok).

Manuel yöntemle kontrol noktaları belirlenirken, önceden kullanılan eşik değeri 3 m yerine 1.5 m alınarak 113 adet kontrol noktası üretilmiş ve bu sayede daha doğru noktaların seçilmesi için operatörün iş yükü azaltılmıştır. Kontrol noktaları görsel olarak incelenerek doğruluğu diğerlerine göre daha yüksek olan 20 kontrol noktası seçilmiştir.

Kontrol noktaları arasındaki bağlantılar kullanılarak beş farklı dönüşüm yöntemine göre hizalama gerçekleştirilmiştir. Hizalama yöntemlerinin eşleme sürecinde kullanılabilirliğini ölçmek için, her bir hizalama yöntemi çıktısı ile tek yönlü Hausdorff mesafesi kullanarak eşleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tek yönlü Hausdorff mesafesi, kısaca, önceden belirlenen bir çizgiden diğerine ölçülen minimum mesafelerden maksimum olanıdır (Şekil 3.6). Bu ölçünün matematiksel altlığı ilerleyen bölümlerde (3.15) eşitliği ile verilmiştir. Eşleme uygulamasında eşik değeri olarak yol ağları arasındaki maksimum öteleme miktarı (15 m) kullanılmıştır. Bu değeri verisetleri incelenerek deneysel olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6 m ve n çizgileri arasındaki tek yönlü Hausdorff mesafesi (ince gri çizgi) (Hacar ve Gökgöz 2016).

Her bir hizalama yöntemi çıktısıyla uygulanan eşleme işleminin sonuçları; otomatik belirlenen kontrol noktaları (OKN) için Tablo 3.2, manuel belirlenen kontrol noktaları (MKN) için Tablo 3.3'te görülmektedir. Eşleme işleminin doğruluğu manuel olarak eşlenen çizgi çiftleriyle (262 adet) karşılaştırılarak belirlenmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.2 Otomatik belirlenen kontrol noktalarının kullanıldığı hizalama yöntemlerine göre eşleme sayıları.

Eşleme	Benzerlik	Projektif	Afin	Lineer rubber-sheet	Doğal komşu rubber-sheet
Toplam	197	197	196	200	200
Doğru	171	171	171	172	172
Yanlış	26	26	25	28	28

Tablo 3.3 Manuel belirlenen kontrol noktalarının kullanıldığı hizalama yöntemlerine göre eşleme sayıları.

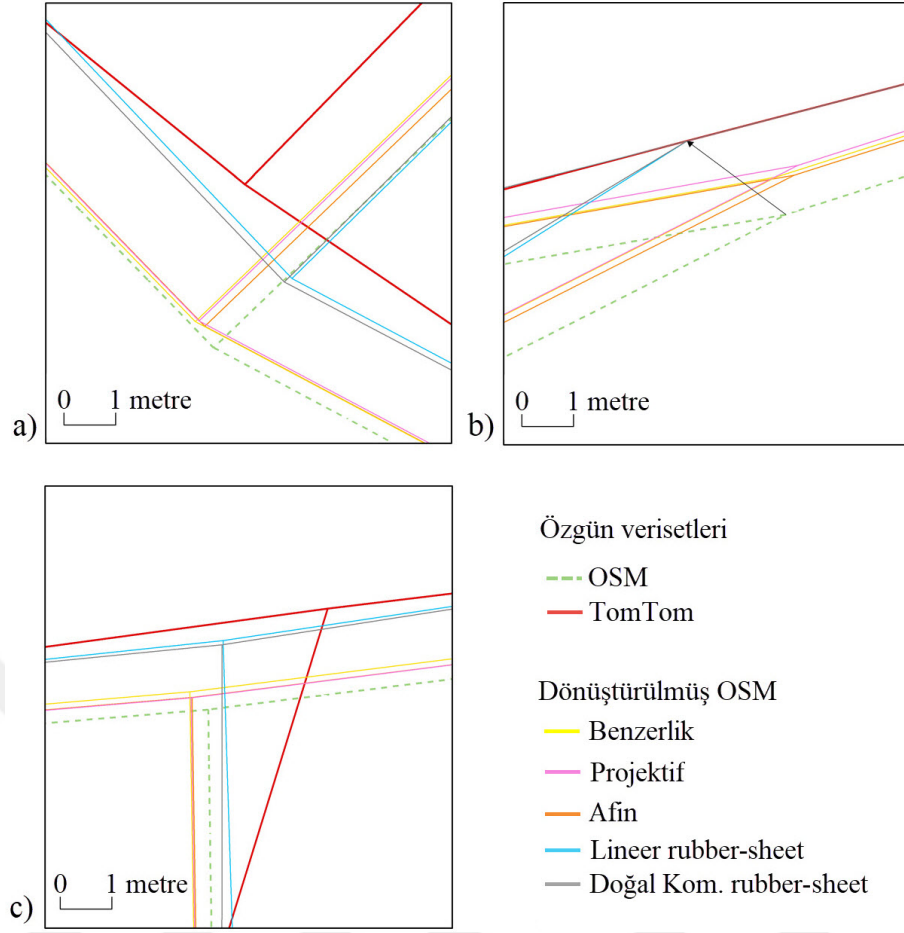
Eşleme	Benzerlik	Projektif	Afin	Lineer rubber-sheet	Doğal komşu rubber-sheet
Toplam	195	195	195	197	197
Doğru	172	172	172	172	172
Yanlış	23	23	23	25	25

Tablo 3.4 Hizalama yöntemlerine göre eşleme yüzdeleri.

Eşleme	Benzerlik		Projektif		Afin		Lineer rubber-sheet		Doğal komşu rubber-sheet	
	OKN ¹	MKN ²	OKN	MKN	OKN	MKN	OKN	MKN	OKN	MKN
Toplam	75	74	75	74	75	74	76	75	76	75
Doğru	87	88	87	88	87	88	86	87	86	87
Yanlış	13	12	13	12	13	12	14	13	14	13
¹ Otomatik ve ² Manuel belirlenen kontrol noktası										

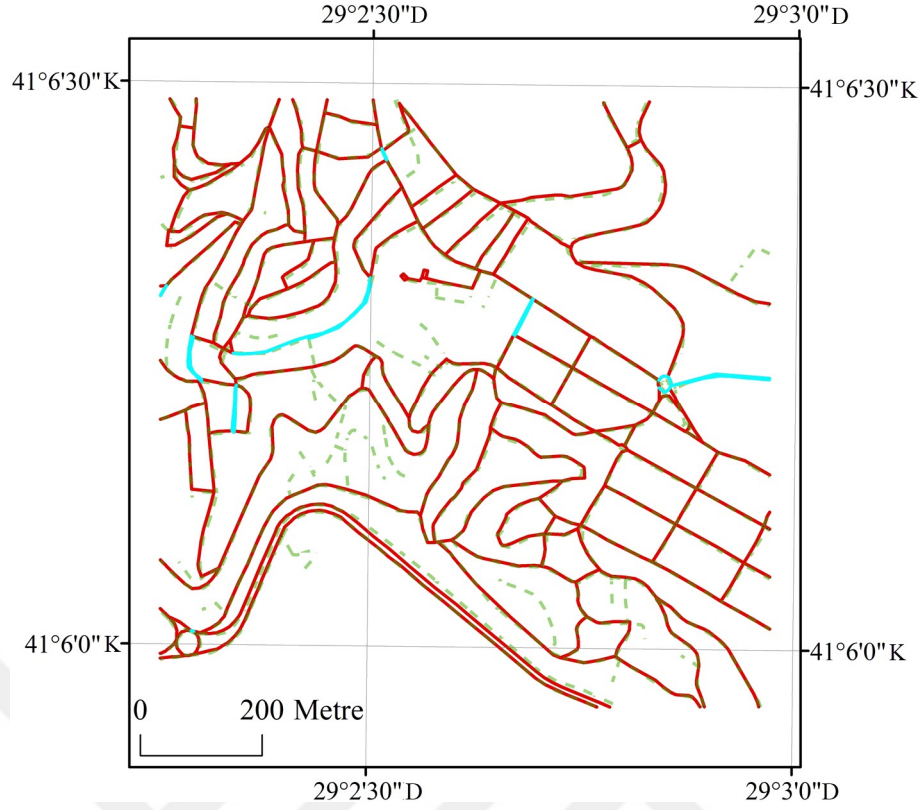
OKN ve MKN uygulamaları karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçların nicelik ve nitelik açısından birbirine benzer olduğu görünmektedir. Başka bir deyişle, kontrol noktalarının otomatik veya manuel belirlenmesi, nicelik ve nitelik açısından önemli bir fark meydana getirmemektedir. Bu bağlamda, kontrol noktalarının otomatik belirlenebileceği değerlendirilmesi yapılabilir.

Hizalama yöntemleri karşılaştırıldığında nicelik açısından (eşleme sayılarına göre) aralarında belirgin bir farkın olmadığı görülmektedir. Nitelik açısından incelendiğinde ise, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, lineer ve doğal komşu rubber-sheet dönüşüm yöntemlerinin, OSM yol ağını TomTom yol ağına diğer dönüşüm yöntemlerinden daha fazla yaklaştırdığı tespit edilmiştir. Özellikle yolların düğüm noktalarına bakıldığında, eğer kontrol noktası varsa, OSM yol ağının tam hizalandığı (Şekil 3.7b), yoksa diğer yöntemlere göre TomTom yol ağına daha fazla yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuç, rubber-sheet yöntemlerinin diğer dönüşüm yöntemleriyle kıyaslandığında yaklaşık olarak aynı eşleme yüzdesine sahip olmasına rağmen, nitelik olarak üstün olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.7 Dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması.

Ayrıca, tüm yöntemlerden elde edilen doğru ve yanlış eşlemeler neredeyse aynı çıkmıştır. Tüm yöntemlerin yanlış eşlediği yol çizgileri Şekil 3.8’de görünmektedir. Yanlış eşlenen yolların ya kavşaklarda yer aldığı ya da maksimum öteleme miktarı olarak belirlenen 15 metre mesafesinden küçük Hausdorff mesafesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, doğru eş çizgi yeterince hizalanamadığı için 15 metrelik arama bölgesine girememiştir ve bu nedenle çizgi kendisine yakın bir çizgi ile yanlış eşlenmiştir. Bu eşlenme problemi Hausdorff mesafesine getirilecek ek eşleme kriterleri (topolojik ve öznitelik) ile giderilebilir.



Şekil 3.8 Tüm dönüşüm yöntemlerinde yanlış eşlenen yollar (turkuaz).

Yol ağının hücresel desenli kısmında daha az kontrol noktası türetildiği ve buna rağmen yalnız bir adet yanlış eşleme yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu bilgi hizalama işleminin hücresel desenli yollarda daha az gerekli olduğunu göstermektedir.

Kapsamlı bir eşleme algoritmasında hizalama yöntemleri yukarıdaki uygulamada gerçekleştirildiği gibi eşleme yönteminden bağımsız olabileceği gibi (önışlem), eşleme yöntemi içerisinde iteratif değişen dönüşüm parametreleriyle yöntemle bütünleşik de olabilmektedir. Bu tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde önerilen eşleme yönteminde, niteliksel üstünlüğü nedeniyle lineer rubber-sheet kullanılmıştır. Dönüşüm işlemi, etki oranına dayalı eşleme yöntemiyle yapılan uygulamada bir önışlem olarak kullanılırken, çok aşamalı eşleme yöntemiyle yapılan uygulamada yöntemle bütünleşik kullanılmıştır.

3.2 Benzerlik Ölçüleri

Bu tez çalışmasının kalan bölümlerinde çizgisel yol ağlarında eşleme işlemine odaklanılmıştır. Ancak, benzerliklerin tespit edilme sürecinde sadece çizgisel ölçüler değil, noktasal ve alansal ölçülerden de yararlanılmıştır. İlişki türü

bakımından, m:n (Çok'a Çok) ilişkinin kurulabileceği bir yöntemin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Mekânsal bilgi bakımından ise geometrik ve topolojik bilgiler birlikte kullanılacaktır. Kısacası eşlemenin kavramsal modeline uygun; (1) çizgi geometrili nesneler için, (2) noktasal, çizgisel ve alansal ölçülere dayalı, (3) m:n ilişki kurabilen ve (4) geometrik ve topolojik bilgileri birlikte kullanabilen eşleme yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

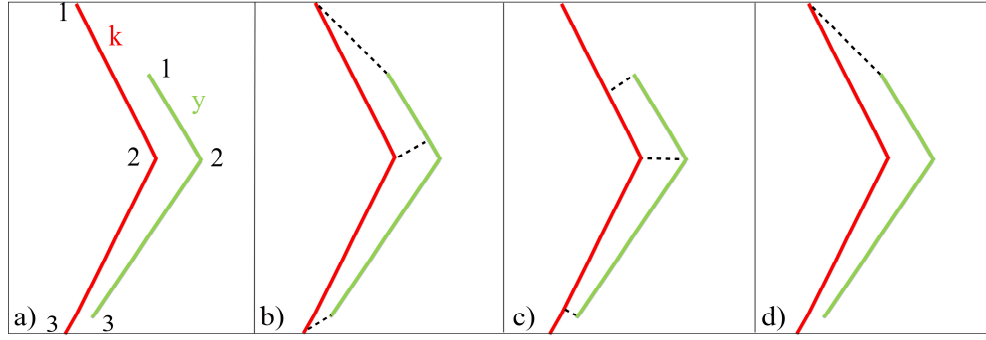
Eşleme işleminin en kritik aşaması, eşlenecek nesneler arasında benzerliklerin tespit edilmesidir. Yukarıda sıralanan sınıflandırma göz önünde tutulduğunda, geliştirilecek yöntemlerin, benzerlikleri belirleyebilmesi için geometrik ve topolojik ölçülerden yararlanacağı açıktır. Bu bölümde benzerliklerin tespit edilmesi için önerilen ölçülere yer verilmiştir.

3.2.1 Geometrik Ölçüler

3.2.1.1 Hausdorff Mesafesi

Hausdorff mesafesi, iki çizgi veya çokgen arasındaki minimum mesafelerden maksimum olanıdır (3.15) (Hausdorff 1918). Eşleme algoritmalarında eşleme adaylarının belirlenmesi sürecinde, birbirine belirli bir eşik mesafeden daha yakın olan nesneleri seçen kaba bir ölçü olarak kullanılır (Hacar ve Gökgöz 2019). Örneğin Çizgi k ve y (sırasıyla Şekil 3.9'daki kırmızı ve yeşil çizgi) eşleme adayı iki çizgi nesnesi olsun. Çizgi k'den Çizgi y'ye en kısa mesafeler $D_{k-y} = \{d_{1-y}, d_{2-y}, d_{3-y}\}$ (Şekil 3.9b), ve Çizgi y'den Çizgi k'ye en kısa mesafeler $D_{y-k} = \{d_{1-k}, d_{2-k}, d_{3-k}\}$ (Şekil 3.9c) olacaktır. Bu iki kümedeki en büyük değer, Çizgi k ve Çizgi y arasındaki Hausdorff mesafesini göstermektedir. Bu örnek için asimetric bir uzunluk olan $D_{HM_{k-y}} = d_{1-y}$ mesafesi çizgiler arasındaki Hausdorff mesafesidir (Şekil 3.9d).

$$D_{HM_{k-y}} = maks(min(D_{k-y}, D_{y-k})) \quad (3.15)$$

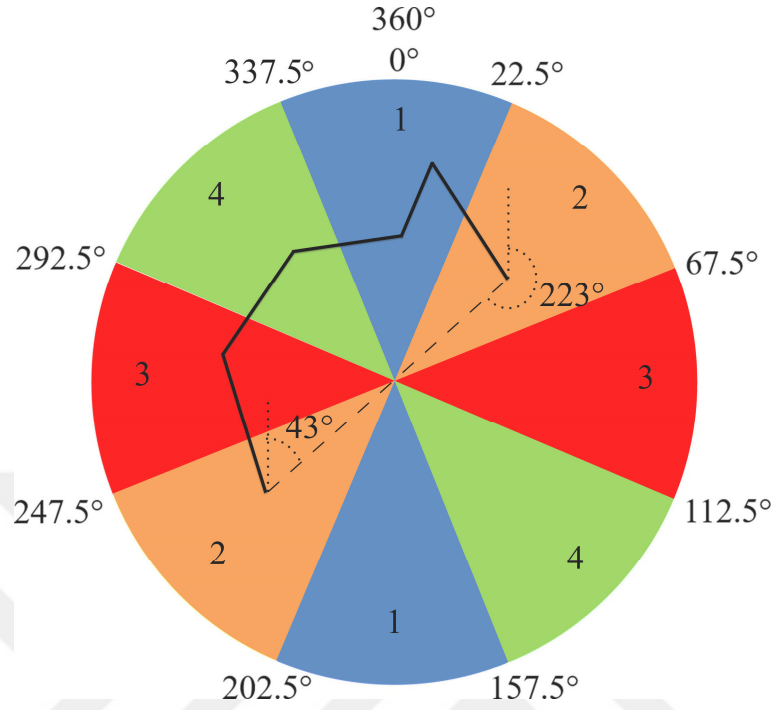


Şekil 3.9 (a) İki eşleme adayı çizgi, (b) Çizgi k'den Çizgi y'ye minimum mesafeler, (c) Çizgi y'den Çizgi k'ye minimum mesafeler ve (d) Hausdorff mesafesi.

3.2.1.2 Doğrultu

Bir yolu temsil eden çizginin (tek çizgi ya da çoklu çizgi) başlangıç ve bitiş noktasını birleştiren doğru parçasının doğrultu (*orientation*) açısıdır. Sayısal olarak bir verisetindeki çizginin doğrultusunun diğer verisetindeki kesin (doğru) eşi ile tamamen aynı olması beklenemez. Walter ve Fritsch (1999) manuel gerçekleştirdikleri test çalışmasında, eşlenen çiftlerin çoğunun arasında 10°'den daha küçük açı farkının olduğunu, sadece birkaçının 10° ile 30° arasında olduğunu fark etmişlerdir. Bu tez çalışmasında, doğrultu ölçütü için tek bir eşik değer yerine, aralıklar belirlenmiştir. Öncelikle 360°lik sistemde yönden bağımsız eşit sekiz doğrultu aralığı oluşturulmuştur. Ancak bu aralıklar yönden bağımsız olduğu için birbirine zıt yönlü olanlar birlikte değerlendirilmiştir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi zıt 45°lik aralıklar bir doğrultu sınıfını temsil etmektedir. Örneğin, yine Şekil 3.10'da görünen çizginin doğrultu açısı (açıklık açısı) çizginin sayısallaştırma (çizgiyi meydana getirme) sırasına bağlı olarak her iki uç noktasından birinde hesaplanabilir. Çizgi soldan sağa sayısallaştırılmış olursa doğrultu açısı (α) 43°, sağdan sola sayısallaştırılmış olursa doğrultu açısı 223° olacaktır. Her iki uç noktasında hesaplanan doğrultu açısı arasında 180° fark olacaktır. Bu, bir çizginin iki doğrultu açısı olduğu anlamına gelmemektedir. Bu nedenle burada her iki açı da aynı sınıfa dâhil edilmiştir ve böylece doğrultu açısı ve sınıfı, hesaplandığı noktadan bağımsız hale getirilmiştir. Şekil 3.10'daki renkler aynı doğrultu sınıflarını göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışmada dört doğrultu sınıfı kullanılmıştır (Tablo 3.5). Muhtemel eşleme sayısını artırmak için her bir doğrultu sınıfının açısal aralığı

Walter ve Fritsch (1999) tarafından önerilen 30°’den daha büyük bir değer olan 45° alınmıştır.



Şekil 3.10 Doğrultu açıları, aralıklar ve sınıflar.

Tablo 3.5 Herhangi bir n çizgisi için doğrultu sınıfları (O_n) ve aralıkları.

O_n	Doğrultu aralıkları
1	$337.5^\circ < \alpha \leq 360^\circ$ $0^\circ \leq \alpha \leq 22.5^\circ$ $157.5^\circ < \alpha \leq 202.5^\circ$
2	$22.5^\circ < \alpha \leq 67.5^\circ$ $202.5^\circ < \alpha \leq 247.5^\circ$
3	$67.5^\circ < \alpha \leq 112.5^\circ$ $247.5^\circ < \alpha \leq 292.5^\circ$
4	$112.5^\circ < \alpha \leq 157.5^\circ$ $292.5^\circ < \alpha \leq 337.5^\circ$

3.2.1.3 Kıvrımlılık

Bir çizginin kıvrımlılığı hakkında sayısal bilgi elde etmek amacıyla çeşitli hesaplamalar yapmak mümkündür. Literatürde yer alan bazı kıvrımlılık hesaplama yöntemleri Tablo 3.6’da gösterilmektedir.

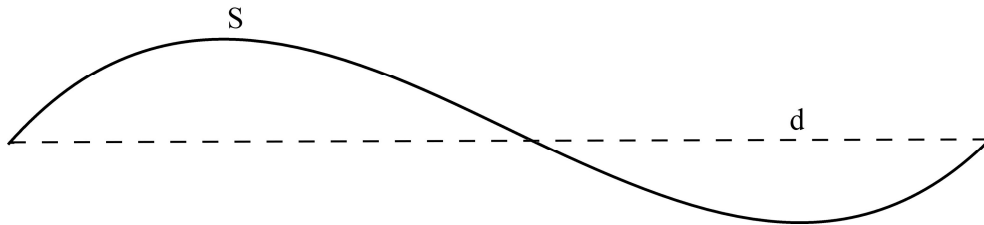
Tablo 3.6 Çeşitli kıvrımlılık yöntemleri (Haynes vd. 2007).

Yöntem	Açıklama
Viraj yoğunluğu (bend density)	Kırılma noktası sayısının toplam yol uzunluğuna oranı
Kıvrım/sapak oranı (sinuosity/detour ratio)	Yol uzunluğunun yolun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki düz uzunluğa oranı
Düzlük indeksi (straightness index)	Yolun tek segmentli kollarının toplam uzunluğunun toplam yol uzunluğuna oranı
Ortalama açı (mean angle)	Yolun kırılma noktalarında oluşan sapma açılarının aritmetik ortalaması

Bu çalışmada hesaplama kolaylığı ve kolların ana güzergâhtan bağımsız değerlendirilebilme imkânından dolayı kıvrımlılık değeri için kıvrım/sapak oranı kullanılmıştır. Bu yöntemde kıvrımlılık değeri, bir yol çizgisinin uzunluğunun, başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki Öklid mesafesine oranı şeklinde hesaplanır (Mueller 1968). Örneğin Şekil 3.11’de S uzunluğuna sahip bir i çizgisinin ilk ve son noktaları arasındaki Öklid mesafesi d dir. Bu çizgiye ait kıvrımlılık değeri:

$$K_i = S/d \quad (3.16)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil 3.11 Kıvrımlılık değeri için kullanılan uzunluklar.

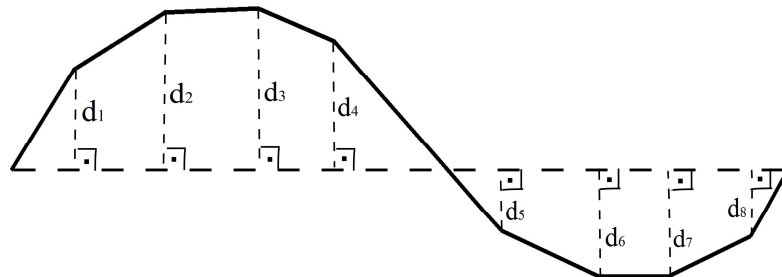
Doğrultu ölçüsünde olduğu gibi kıvrımlılık ölçüsünde de tek bir eşik değer ölçütü kullanmak yerine belli aralıklardan oluşan sınıflar kullanmak eşleme ihtimalini artıracaktır. Sonuç olarak çizgi nesnelerin az, orta ve çok kıvrımlı olmak üzere üç sınıfa ayrılmasına karar verilmiştir. Sınıflar, kıvrımlılık indeksleri olarak adlandırılmaktadır. Her bir sınıf aralığı, kıvrımlılık varyansı temel alınarak belirlenmiştir. Önerilen bu varyansa dayalı yöntemde, kıvrımlılık değerleri hesaplanmış iki veriseti için bu değerlere ait varyans hesabı yapılır ve varyansı büyük olan veriseti referans olarak kullanılarak kıvrımlılık için aralık değerleri Tablo 3.7'deki bilgiler yardımıyla hesaplanır.

Tablo 3.7 Kıvrımlılık varyansı ile aralıkların belirlenmesi.

Kıvrımlılık indeksi	Aralık değerleri
Az	< 1.0001
Orta	≥ 1.0001 ve $< 1 + \frac{\max(\sigma_1^2, \sigma_2^2)}{4}$
Çok	$\geq 1 + \frac{\max(\sigma_1^2, \sigma_2^2)}{4}$

3.2.1.4 Dik Mesafelerin Ortalaması

Bir çizginin kırılma (ara) noktalarından çizginin başlangıç ve bitiş noktalarını birleştiren doğruya inilen diklerin (d_i) aritmetik ortalamasıdır (D_{ort_p}). Şekil 3.12'de d_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) uzunlukları dik mesafeleri göstermektedir. (3.17) eşitliği ile d_i mesafeleri hesaplanırken, (3.18) eşitliği ile aritmetik ortalama hesaplanmaktadır.



Şekil 3.12 Bir yolu temsil eden çoklu doğru (sürekli çizgi), kırılma noktalarından inilen dikler (d_i) (düşey kesikli çizgiler).

$$d_i = \frac{|(Y_s - Y_b) \times X_i - (Y_s - Y_b) \times X_s - (X_s - X_b) \times Y_i + (X_s - X_b) \times Y_s|}{\sqrt{(Y_s - Y_b)^2 + (X_s - X_b)^2}} \quad (3.17)$$

$$D_{ort_P} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (3.18)$$

Eşitliklerde; X_i ve Y_i çizgiye ait herhangi bir kırılma noktasının koordinatları, X_b ve Y_b çizginin başlangıç noktasının koordinatları, X_s ve Y_s ise çizginin bitiş noktasının koordinatlarıdır.

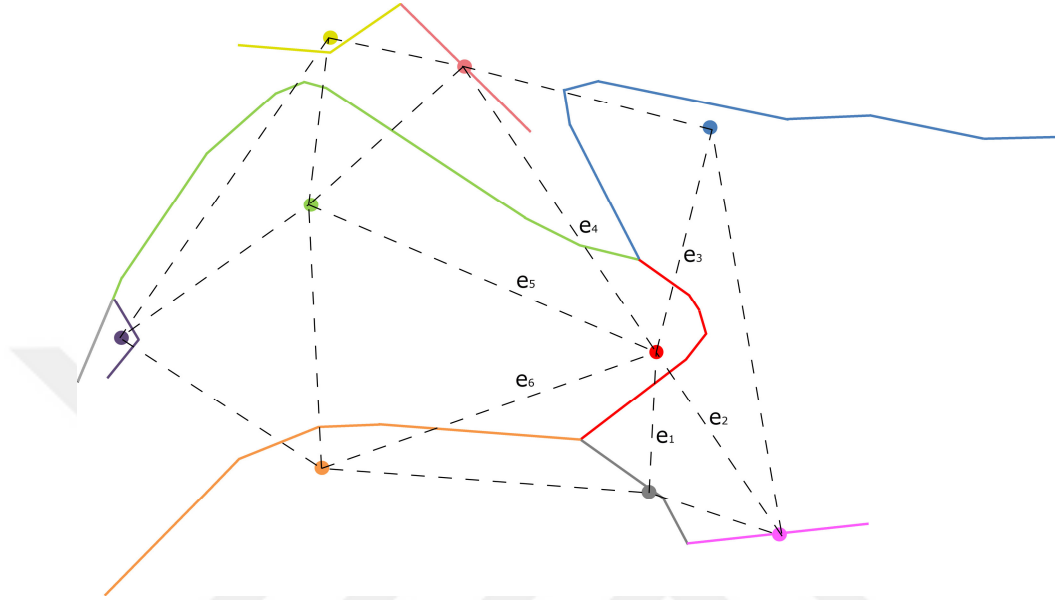
Kıvrımlılık ve dik mesafelerin ortalaması ölçülerinin her ikisi de bir çizginin çizgi ekseninden ne kadar saptığını göstermektedirler. Kıvrımlı bir çizginin dik mesafelerinin ortalaması, düz bir çizgininkine göre daha büyük olacaktır. Bu nedenle bu yöntem bir kıvrımlılık ölçütü olarak da düşünülebilir.

3.2.1.5 Üçgen Kenarlarının Ortalama Uzunluğu

Çizgilerin ağırlık merkezlerinin eşleme işleminde kullanılabileceği, Hacı (2015) ve Hacı ve Gökğöz (2016) tarafından yapılar çalışmalarda gösterilmiştir. Yönteme göre; bir çizginin ağırlık merkezi ile diğer verisetindeki çizginin ağırlık merkezi arasındaki mesafe, önceden belirlenen eşik değerden küçükse eşleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında önceki çalışmalardan farklı olarak ağırlık merkezleri arası mesafeler yerine, ilgili çizginin kendi veriseti içindeki komşu çizgilerinin ağırlık merkezleri arasında TIN (Triangulated Irregular Network) oluşturularak lokal bir yakınlık ölçüsü kullanılmıştır (Jones ve Ware 1998). Her iki verisetinde TIN oluşturulduktan sonra, ağırlık merkezlerine yakınsayan üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu her eşleme adayı çizgi için hesaplanır. Eğer hesaplanan bu ölçü değerleri arasında küçük bir fark varsa, kullanılan bu ölçü eşleme adaylarının eşlenmelerini sağlayacaktır. Teknik olarak doğru eşlenmiş çizgilerin kendi komşu çizgilerine olan mesafelerinin de benzer olması beklenir. Bu açıdan bakıldığında, bu ölçünün lokal bir yakınlık ölçüsü olduğu varsayılabilir. Örneğin, yol çizgileri ve ağırlık merkezleri Şekil 3.13'te aynı renklerle gösterilmiştir. Burada ağırlık merkezleri kullanılarak oluşturulan TIN kesikli çizgilerle gösterilmektedir. Kırmızı nokta ile gösterilen kırmızı çizginin ağırlık merkezinde, üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu (D_{ort_E}), kırmızı noktaya yakınsayan üçgen

kenarlarının uzunluklarının (yani, L_{e_i} , e_i ($i = 1, 2, \dots, 6$)) aritmetik ortalaması olarak (3.19) eşitliği ile hesaplanır.

$$D_{ort_E} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{e_i}}{n} \quad (3.19)$$

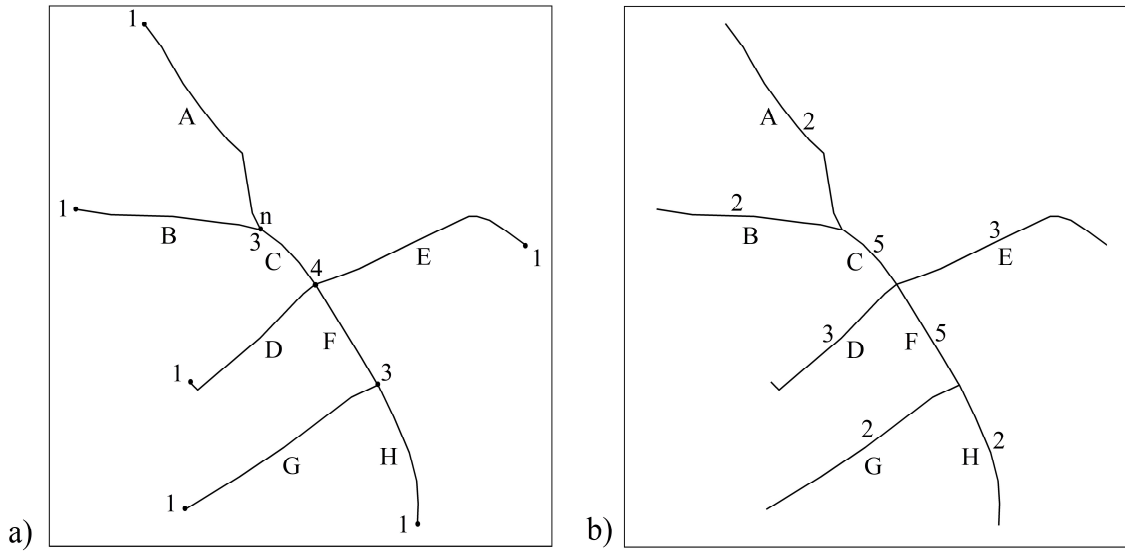


Şekil 3.13 Yol çizgileri (renkli sürekli çizgiler), ağırlık merkezleri (renkli noktalar) ve düzensiz üçgen ağı (TIN) (kesikli çizgiler).

3.2.2 Topolojik Ölçüler

3.2.2.1 Çizgisel Bağlanma Derecesi

Zhang ve Meng (2007) ile Song vd. (2011) tarafından geliştirilen eşleme yöntemlerinde topolojik bir ölçüt olarak düğüm noktalarına bağlanan çizgi sayısı (valence, degree of intersection, connectivity information) kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, çizgi nesneleri eşlemede çizgisel bağlanma derecesi, düğüm noktalarına bağlanan çizgi sayısı yerine doğrudan çizgilere bağlanan çizgi sayısı şeklinde kullanılmıştır. Örneğin Şekil 3.14a'da n düğüm noktasının bağlanma derecesi 3 iken, Şekil 3.14b'de n düğüm noktasını oluşturan A, B ve C çizgilerinin çizgisel bağlanma dereceleri (yani, C_A, C_B ve C_C) sırasıyla 2, 2 ve 5 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.14 (a) Bağlanma derecesi ve (b) çizgisel bağlanma derecesi.

3.2.3 Uygulama 2: Eşleme İşleminde Kullanılacak Ölçülerin Belirlenmesi

3.2.3.1 Kıvrımlılık Aralığı İçin Önerilen Varyans Yaklaşımının Diğer Sınıflandırma Yöntemleri ile Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında yol çizgilerinin kıvrımlılık aralıklarının (sinuosity intervals) belirlenmesine yönelik varyansa dayalı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, halen İrlanda'da standart olarak kullanılan İrlanda Ulusal Yol Ağı Kıvrımlılık İndeksi (İUYAKİ) ve çeşitli sınıflandırma yöntemleri referans alınarak eşleme işlemindeki doğrulukları bakımından incelenmiştir. Tablo 3.8'de İUYAKİ standart kıvrımlılık aralık değerleri görülmektedir (Transport Infrastructure Ireland, 2019). Buna göre; az, orta ve çok kıvrımlı olmak üzere üç çeşit yol vardır. Şekil 3.15'te üç farklı kıvrımlılık indeksine ait örnek yol çizgileri görülmektedir.

Tablo 3.8 İUYAKİ aralık değerleri.

Kıvrımlılık indeksi	Aralık değerleri
Az	<1.008
Orta	≥1.008 ve <1.031
Çok	≥1.031

	Kıvrımlılık değeri	Kıvrımlılık indeksi
	1.006971	Az
	1.024987	Orta
	1.253080	Çok

Şekil 3.15 Kıvrımlılık indeksi için çizgi örnekleri.

Eşleme çalışmasında yol çizgileri önceden belirlenmiş kıvrımlılık aralık değerlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bir yol çizgisinin bir kıvrımlılık sınıfında olması diğer verisetindeki eş yol çizgisinin de aynı ya da komşu kıvrımlılık sınıfında yer alması gerektiği hipotezini doğurur. Yol çizgilerinin kıvrımlılık değerlerini sınıflandırmak için mevcut aralık (sınır değerleri) belirleme yöntemleri kullanılabilir. Bu çalışmada sınıflandırmada sıklıkla kullanılan; eşit aralık (equal interval), kuantil (sıralı), doğal ayrımlar (natural breaks) ve geometrik aralık (geometrical interval) yöntemleri ile kıvrımlılık aralıkları belirlenmiştir (Tablo 3.9). Ayrıca mevcut yöntemlere ek olarak, önerilen kıvrımlılık varyansı yaklaşımı ile de aralıklar belirlenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Başarsoft'a ait yol ağlarının uygulama bölgesi için kıvrımlılık varyans değerleri sırasıyla $\sigma_{İBB}^2 = 0.10224$ ve $\sigma_{BS}^2 = 0.29067$ dır. Aralık değerleri Tablo 3.7'e göre belirlenmiş ve Tablo 3.9'da gösterilmiştir. Tüm yöntemlerden elde edilen aralıklara göre eşlenecek yollar "Az", "Orta" ve "Çok" kıvrımlı olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır (Tablo 3.10).

Tablo 3.9 Sınıflandırma yöntemleri ile elde edilen kıvrımlılık aralıkları.

	İBB ²			Başarsoft		
	Az	Orta	Çok	Az	Orta	Çok
İUYAKİ¹	<1.008	≥1.008 ve <1.031	≥1.031	<1.008	≥1.008 ve <1.031	≥1.031
Eşit aralık	<1.8656	≥1.8656 ve <2.7312	≥2.7312	<2.6294	≥2.6294 ve <4.2588	≥4.2588
Kuantil	<1.0027	≥1.0027 ve <1.0378	≥1.0378	<1.0021	≥1.0021 ve <1.0613	≥1.0613
Doğal ayrımlar	<1.2834	≥1.2834 ve <2.0951	≥2.0951	<1.9114	≥1.9114 ve <3.5220	≥3.5220
Geometrik aralık	<1.0027	≥1.0027 ve <1.0850	≥1.0850	<1.0009	≥1.0009 ve <1.0652	≥1.0652
Kıvrımlılık varyansı	<1.0001	≥ 1.0001 ve <1.0727	≥1.0727	<1.0001	≥1.0001 ve <1.0727	≥1.0727
¹ İrlanda Ulusal Yol Ağı Kıvrımlılık İndeksi; ² İstanbul Büyükşehir Belediyesi						

Tablo 3.10 Sınıflara ait yol çizgilerinin sayısı.

		Az	Orta	Çok
İUYAKİ¹	İBB²	65	23	46
	Başarsoft	57	16	45
Eşit aralık	İBB	131	1	2
	Başarsoft	115	2	1
Kuantil	İBB	45	45	44
	Başarsoft	39	40	39
Doğal ayrımlar	İBB	122	10	2
	Başarsoft	114	2	2
Geometrik aralık	İBB	45	54	35
	Başarsoft	32	47	39
Kıvrımlılık varyansı	İBB	23	72	39
	Başarsoft	29	53	36
¹ İrlanda Ulusal Yol Ağı Kıvrımlılık İndeksi; ² İstanbul Büyükşehir Belediyesi				

K_m ve K_n kıvrımlılık indeksleri hesaplanmış m ve n çizgilerini eşleme işlemi aşağıdaki kurallar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir:

- $K_m = \text{"Az"}$ için $K_n = \text{"Az"}$ ise,
- $K_m = \text{"Orta"}$ için $K_n = \text{"Orta"}$ ise,
- $K_m = \text{"Çok"}$ için $K_n = \text{"Çok"}$ ise,

m ve n çizgileri eşlenir.

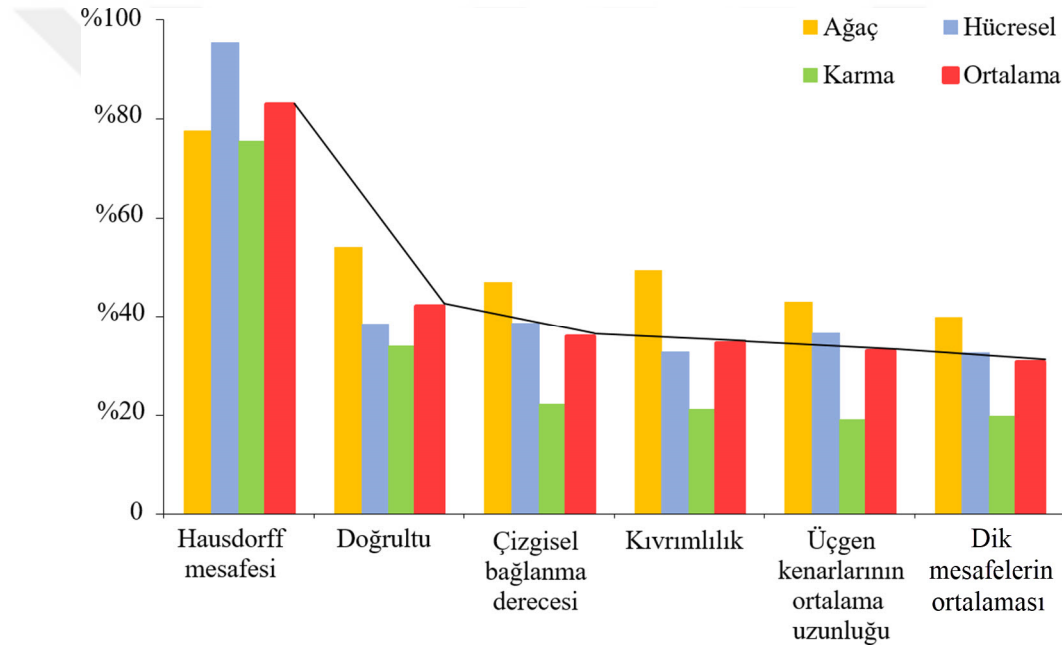
Kısaca, aynı kıvrımlılık indeksine sahip eşleme adayı çizgiler kesin eş olarak belirlenmektedir. Tüm sınıflandırma yöntemleri ile belirlenen aralıklara göre her iki verisetindeki yol çizgileri birer kıvrımlılık sınıfına atanmış (Tablo 3.10) ve yukarıdaki eşleme kuralları dikkate alınarak eşleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm sınıflandırma yöntemlerinin eşleme işlemini gerçekleştirme doğruluğu belirlenmiştir (Tablo 3.11). Eşit aralık ve doğal ayrımlar yöntemlerinde neredeyse hiçbir yol çizgisi "Orta" ve "Çok" kıvrımlı yol sınıfına giremediği için eşleme yüzdeleri diğer yöntemlere göre daha düşük çıkmıştır. Kıvrımlılık varyansı yaklaşımı sınıflandırma yöntemleri içinde en iyi sonucu vermiştir. Bu değere en yakın sonuç veren kuantil yöntemidir. Kuantil yöntemi sınıf aralıklarını, kıvrımlılık değerlerini küçükten büyüğe göre sıralayıp tüm aralıklara eşit sayıda yol çizgisi düşecek şekilde belirlemektedir. İki verisetinde eşit sayıda nesne olmadığı için nesneler farklı aralık değerleri ile sınıflandırılmıştır. Bu nedenle bu yöntemin eşit sayıda yol çizgisine sahip yol ağlarının eşleme işleminde daha başarılı olması beklenebilir.

Tablo 3.11 Sınıflandırma yöntemlerine göre eşleme istatistikleri.

	Doğru	Yanlış	Toplam	%
İUYAKİ¹	84	94	178	47.2
Eşit aralık	95	159	254	37.4
Kuantil	82	88	170	48.2
Doğal ayrımlar	95	159	254	37.4
Geometrik aralık	82	91	173	47.4
Kıvrımlılık varyansı	84	86	170	49.4
¹ İrlanda Ulusal Yol Ağı Kıvrımlılık İndeksi				

3.2.3.2 Önerilen Benzerlik Ölçülerinin Eşleme Doğruluğuna Etkilerinin Belirlenmesi

Bu uygulamada, çizgisel yol ağlarında eşleme işlemi için geliştirilecek bir yöntemde yer alabilecek geometrik ve topolojik ölçülerin eşleme doğrulukları belirlenmiştir. Ölçülerin değerlendirilebilmesi için eşleme sonucuna ne yönde etki ettiklerine bakılmalıdır. Bu amaçla, her bir benzerlik ölçüsüyle farklı desenli yollarda (ağaç, hücresel ve karma) ayrı ayrı eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yol ağları ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 5.2.1’de verilmiştir. Eşleme işleminin doğruluğu manuel eşleme sonuçları ile karşılaştırılarak belirlenmiş ve Şekil 3.16’daki dağılım grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Benzerlik ölçülerinin doğruluk dağılımı.

3.2.4 Benzerlik Ölçülerine Göre Puanlama

Puan, eşleme adaylarının belirli bir ölçü kullanılarak ne kadar benzer ya da farklı olduğunu tespit etmek amacıyla kullanılır. En az benzer olan eşleme adaylarının puanının en az, en çok benzer olanların puanının ise en yüksek olması beklenir. Bu bölümde, nesneler arasındaki benzerliklerin yukarıda bahsedilen ölçüler (geometrik ve topolojik) kullanılarak puanlanması için çeşitli ölçütler önerilmiştir. Bir ölçü değeri için benzerlik puanı olarak, o ölçü için kullanılan puanlama ölçütüne bağlı olarak; 4, 2, 1 ve 0 tam sayı değerleri atanmıştır. Sonuç olarak birbirinden farklı

geometrik ve topolojik ölçülerin, nesneler arasındaki benzerlikleri aynı birimde tespit edebilmesi sağlanmıştır.

3.2.4.1 Hausdorff Mesafesi Ölçüsüne Göre Puanlama

m ve n farklı verisetlerinde yer alan ve aynı gerçek varlığı temsil etme ihtimallerinden dolayı eşleme adayı olarak belirlenen herhangi iki çizgidir. Eşleme adayları arasındaki Hausdorff mesafeleri küçükten büyüğe doğru sıralanmakta ve en küçük üç Hausdorff mesafesi sırayla, $P_{HM_{m-n_1}} = 4$, $P_{HM_{m-n_2}} = 2$, ve $P_{HM_{m-n_3}} = 1$, şeklinde puanlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, birbirine en yakın iki eşleme adayı en yüksek puan olarak 4, daha uzak olanlar ise sırasıyla 2 ve 1 puanlarını almaktadır. Dördüncü ve daha uzak olan eşleme adayları için benzerlik puanı olarak 0 (sıfır) değeri atanmaktadır.

3.2.4.2 Doğrultu Ölçüsüne Göre Puanlama

O_m ve O_n doğrultu sınıflarına sahip m ve n eşleme adayı çizgilerin benzerlik puanları hesaplanırken, bu doğrultu sınıfları arasındaki fark kullanılmıştır. Eğer eşleme adayı çizgilerin doğrultuları aynı doğrultu sınıfındaysa, benzerlik puanı $P_{O_{m-n}} = 4$ olmaktadır. Eğer eşleme adayı çizgilerin doğrultu sınıfları arasındaki fark 1 ise, yani eşleme adayları iki komşu doğrultu sınıfında yer alıyorsa, benzerlik puanı $P_{O_{m-n}} = 2$ olmaktadır. Fakat O_m ve O_n doğrultu sınıfları arasındaki fark 2 veya 3 ise eşleme adaylarının benzerlik puanı $P_{O_{m-n}} = 0$ olmaktadır.

3.2.4.3 Kıvrımlılık Ölçüsüne Göre Puanlama

m ve n eşleme adayı çizgilerinin kıvrımlılık ölçüsüne göre benzerlik puanları hesaplanırken kıvrımlılık indeksleri arasındaki farklılıklar dikkate alınmıştır. Buna göre eşleme adaylarının kıvrımlılık ölçüsüne göre benzerlik puanı $P_{K_{m-n}}$ aşağıdaki kurallar dikkate alınarak hesaplanmaktadır:

- Eğer $K_m = Az$ ve $K_n = Az$ ise $P_{K_{m-n}} = 2$
- Eğer $K_m = Az$ ve $K_n = Orta$ ise $P_{K_{m-n}} = 1$
- Eğer $K_m = Az$ ve $K_n = Çok$ ise $P_{K_{m-n}} = 0$

- Eğer $K_m = Orta$ ve $K_n = Az$ ise $P_{K_{m-n}} = 1$
- Eğer $K_m = Orta$ ve $K_n = Orta$ ise $P_{K_{m-n}} = 2$
- Eğer $K_m = Orta$ ve $K_n = Çok$ ise $P_{K_{m-n}} = 1$
- Eğer $K_m = Çok$ ve $K_n = Az$ ise $P_{K_{m-n}} = 0$
- Eğer $K_m = Çok$ ve $K_n = Orta$ ise $P_{K_{m-n}} = 1$
- Eğer $K_m = Çok$ ve $K_n = Çok$ ise $P_{K_{m-n}} = 2$

3.2.4.4 Dik Mesafelerin Ortalaması Ölçüsüne Göre Puanlama

m ve n eşleme adayı çizgilerinin dik mesafelerinin ortalaması ölçüsüne göre benzerlik puanları, ölçü değerlerinin standart sapması (σ_p) kullanılarak belirlenmiştir. Eşleme adaylarının sahip olduğu ölçü değerleri arasındaki fark $\sigma_p/2$ 'ye eşit veya küçük ise benzerlik puanı $P_{Ort_{P_{m-n}}} = 2$, ölçü değerleri arasındaki fark σ_p 'ye eşit veya küçük ve $\sigma_p/2$ 'den büyük ise, $P_{Ort_{P_{m-n}}} = 1$ olmaktadır. Ölçü değerleri arasındaki fark bu aralıklar dışında ise, $P_{Ort_{P_{m-n}}} = 0$ olmaktadır.

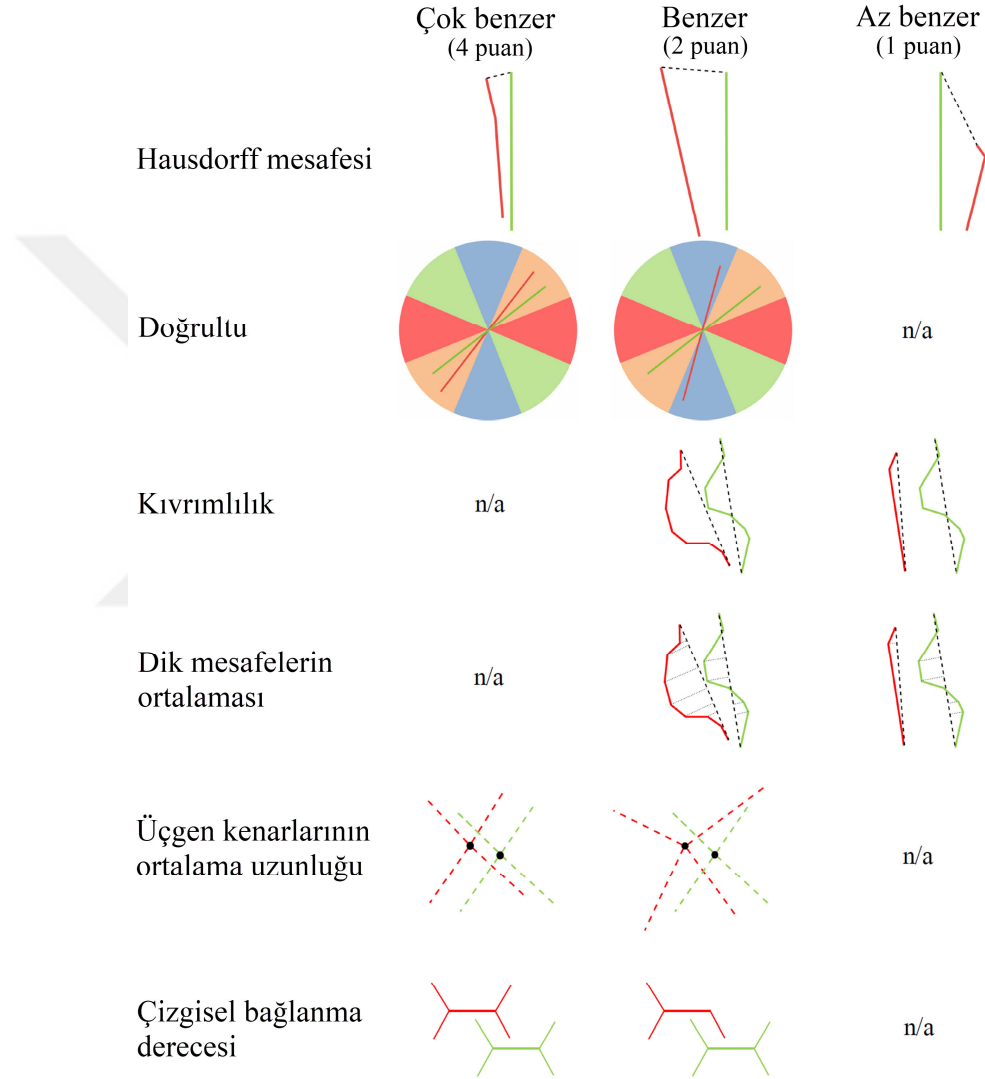
3.2.4.5 Üçgen Kenarlarının Ortalama Uzunluğu Ölçüsüne Göre Puanlama

m ve n eşleme adayı çizgilerinin üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ölçüsüne göre benzerlik puanları, ölçü değerlerinin standart sapması (σ_E) kullanılarak belirlenmiştir. Eşleme adaylarının sahip olduğu ölçü değerleri arasındaki fark $\sigma_E/2$ 'ye eşit veya küçük ise benzerlik puanı $P_{Ort_{E_{m-n}}} = 4$, ölçü değerleri arasındaki fark σ_E 'ye eşit veya küçük ve $\sigma_E/2$ 'den büyük ise, $P_{Ort_{E_{m-n}}} = 2$ olmaktadır. Ölçü değerleri arasındaki fark bu aralıklar dışında ise, $P_{Ort_{E_{m-n}}} = 0$ olmaktadır.

3.2.4.6 Çizgisel Bağlanma Derecesi Ölçüsüne Göre Puanlama

m ve n eşleme adayı çizgilerinin çizgisel bağlanma derecesi ölçüsüne göre benzerlik puanları, ölçü değerleri arasındaki farklar dikkate alınarak belirlenmiştir. Eğer eşleme adayı çizgilerin çizgisel bağlanma derecesi birbirine eşit ise, benzerlik puanı $P_{C_{m-n}} = 4$ olmaktadır. Eğer eşleme adayı çizgilerin çizgisel bağlanma dereceleri arasında sadece 1 fark varsa, $P_{C_{m-n}} = 2$ olmaktadır. Ölçü değerleri arasındaki fark 1'den büyük ise, $P_{C_{m-n}} = 0$ olmaktadır.

Tüm geometrik ve topolojik ölçülerin puanlama ölçütlerini Şekil 3.17'deki gibi özetlemek mümkündür. Dikkat edileceği üzere, kıvrımlılık ve dik mesafelerin ortalaması ölçülerinin maksimum puanları 2 iken, diğer tüm ölçülerin maksimum puanları 4'tür. Kıvrımlılık ve dik mesafelerin ortalaması ölçüleri aynı benzerlik durumunu ölçtükleri için bu iki ölçünün en büyük puanları toplamı (2+2) diğer ölçülerin en büyük puanına (4) eşit olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3.17 Eşleme adaylarının ölçü türüne göre puanlanması (n/a: Uygulanamaz).

Etki Oranına Dayalı Yarı-Otomatik Eşleme Yöntemi

4.1 Yöntem

Bu tez çalışmasında, eşleme işleminin geometrik ve topolojik ölçülere göre hesaplanan puan ve etki oranı yardımıyla gerçekleştirildiği bir yöntem geliştirilmiştir. Akış diyagramı Şekil 4.1’de görünen bu yöntem bundan sonra kısaca etki oranına dayalı yöntem olarak anılacaktır. Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada ilk olarak, birbirilerine önceden tanımlanmış eşik mesafe değerinden (T) daha yakın olan yol çizgileri, eşleme adayı olarak belirlenmektedir. Eşleme adayları arasındaki yakınlığın belirlenmesi için Hausdorff mesafesi kullanılmaktadır. T , tüm olası eşlemeleri tespit edebilecek büyüklükte, yani, muhtemel eş çizgileri belirleyecek kadar büyük ve çok fazla yanlış eşlemeye neden olmayacak kadar küçük bir değer olmalıdır. Eşleme adayları belirlendikten sonra her eşleme adayı için; (1) Hausdorff mesafesi, doğrultu, kıvrımlılık, dik mesafelerin ortalaması, üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ve çizgisel bağlanma derecesi ölçülerine göre benzerlik puanları hesaplanmakta (Şekil 3.17), (2) hesaplanan puanlar toplanarak bir toplam benzerlik puanı elde edilmekte ve (3) toplam benzerlik puanı maksimum olan eşleme adayları kesin eş olarak seçilmekte ve diğer adaylar elenmektedir. Birinci aşama tam otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

Yöntemin ikinci aşaması yarı-otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. İlk olarak birinci aşamada tam otomatik gerçekleştirilen eşleme işleminin sonuçları manuel gerçekleştirilen eşleme işleminin sonuçları ile karşılaştırılarak doğruluğu belirlenir. Doğruluk analizinde her bir geometrik ve topolojik ölçünün tek başına kullanılması durumunda yaptığı eşlemelerin sonuçları incelenir. Ölçülere göre doğru ve yanlış sayısı belirlendikten sonra, hangi ölçüye dayalı olarak atanacak puanın artırılıp, hangisinin azaltılacağı belirlenir. Diğer bir ifadeyle, doğru sayısı fazla ve yanlış sayısı az sonuç üreten ölçüye dayalı olarak atanacak puanın doğru sayısı az ve yanlış sayısı

fazla sonuç üreten ölçüye dayalı olarak atanacak puandan fazla olması sağlanır. Bunun için her bir ölçünün ortaya koyduğu doğru ve yanlış eşleme sayısının birlikte yer aldığı E_j etki oranı kullanılır. Bu oran, Maksimum-Minimum normalizasyon yöntemi kullanılarak hesaplanır. E_j etki oranı her bir ölçü için ayrı ayrı hesaplanır. E_j etki oranları, ölçüler için kullanılan benzerlik puanları ile çarpılarak, eşlemeyi yüksek doğrulukla gerçekleştiren ölçünün etkisi (puanı) artırılır ve eşlemeyi düşük doğrulukla gerçekleştiren ölçünün etkisi azaltılır.

$$K = \frac{X_j - X_{min}}{X_{maks} - X_{min}} \quad (4.1)$$

$$Z = \frac{X_{maks} - X_j}{X_{maks} - X_{min}} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki formüller Maksimum-Minimum normalizasyon ölçütleri (K: Kar (4.1) ve Z: Zarar (4.2)) olarak kullanılmaktadır (Başaraner 2011, Şen 2013). Bu ölçütler doğru ve yanlış eşleme sayıları için aşağıdaki şekilde uyarlanabilir.

$$K_j = \frac{D_j - D_{min}}{D_{maks} - D_{min}} \quad (4.3)$$

$$Z_j = \frac{Y_{maks} - Y_j}{Y_{maks} - Y_{min}} \quad (4.4)$$

Burada; D_j , ilgili ölçü kullanılarak elde edilen doğru eşleme sayısını, D_{min} ölçüler arasında en az doğru eşleme sayısını ve D_{maks} ölçüler arasında en fazla doğru eşleme sayısını temsil etmektedir. Ayrıca, Y_j , ilgili ölçü kullanılarak elde edilen yanlış eşleme sayısını, Y_{min} ölçüler arasında en az yanlış eşleme sayısını ve Y_{maks} ölçüler arasında en fazla yanlış eşleme sayısını temsil etmektedir.

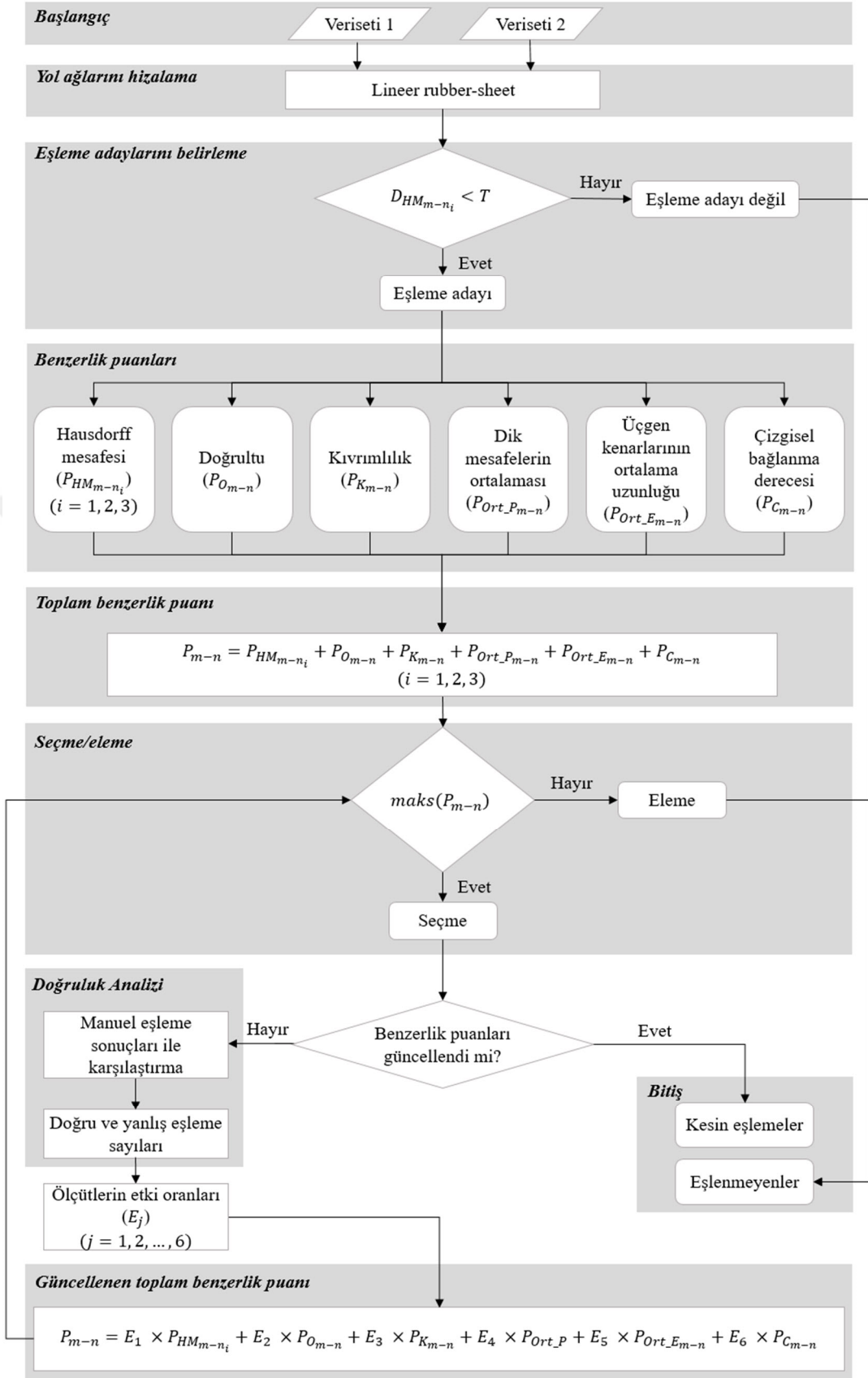
$$E_j = K_j \times Z_j \quad (4.5)$$

Etki oranları (4.5) eşitliği ile hesaplandığında en fazla sayıda yanlış veya en az sayıda doğru eşleme gerçekleştiren ölçü için $E_j = 0$ olacaktır. Bu durum, ilgili ölçü için kullanılan puanın 0 (sıfır) çarpanı ile çarpılmasına ve ilgili ölçünün yöntemin ikinci aşamasında etkisiz kalmasına yol açacaktır. Bu durumun önüne geçebilmek için, üstel fonksiyon kullanılmış ve E_j etki oranının 0 ile 1 arasında bir değer almasının önüne geçilmiştir (4.6). Böylece, E_j etki oranının değeri 1 ile 2 arasında değişecektir.

$$E_j = 2^{K_j \times Z_j} \quad (4.6)$$

Eşleme işlemi E_j etki oranları ile güncellenen (iyileştirilen) benzerlik puanları ile tekrar edilir. Toplam benzerlik puanı en yüksek olan eşleme adayları kesin eş olarak belirlenir.





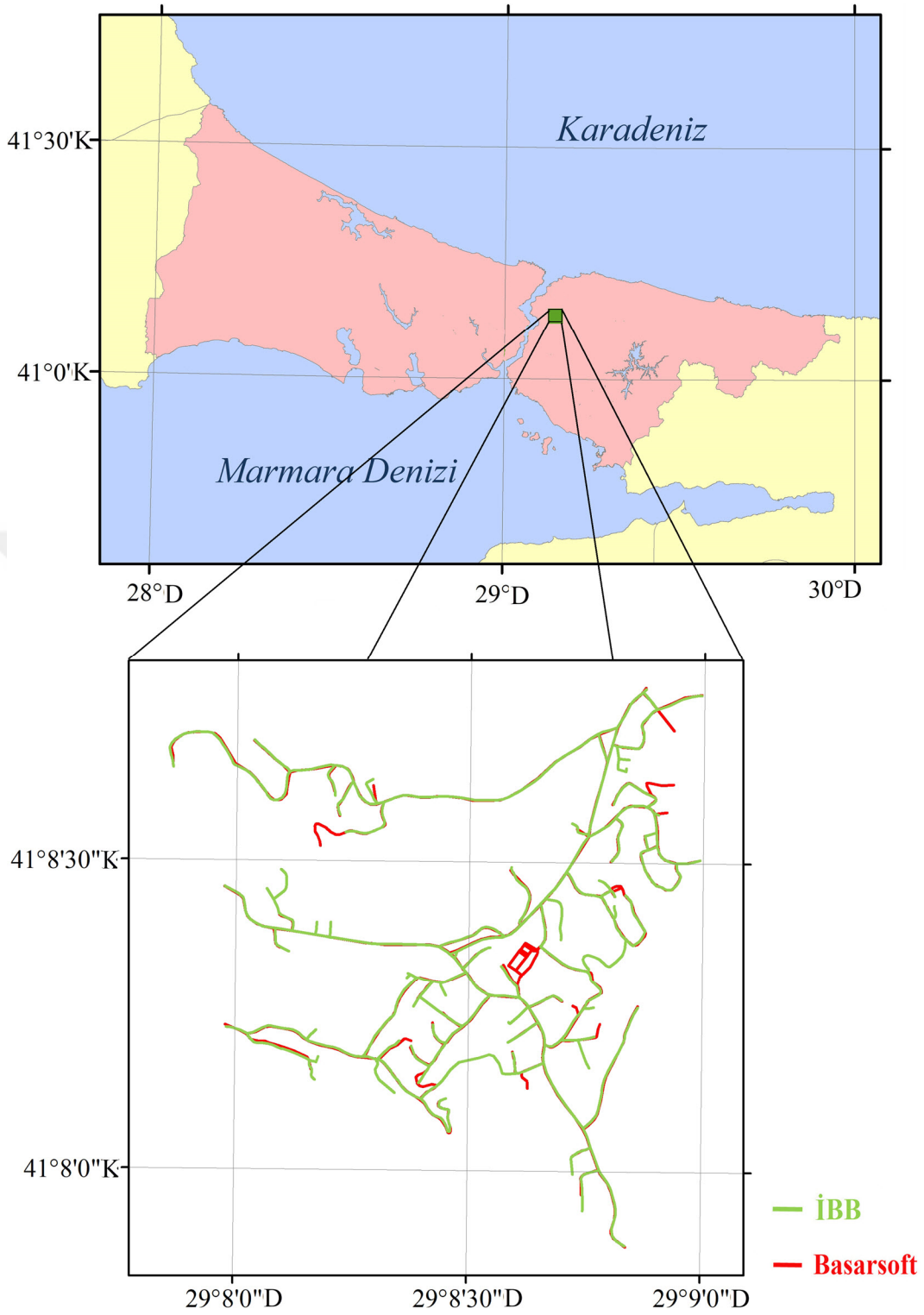
Şekil 4.1 Etki oranına dayalı eşleme yönteminin akış diyagramı.

4.2 Uygulama: Etki Oranına Dayalı Eşleme Yöntemiyle Ağaç Desenli Yol Nesnelerini Eşleme

4.2.1 Çalışma Bölgesi ve Kullanılan Verisetleri

Geliştirilen yöntem, İstanbul'un Beykoz ilçesindeki yol ağları ile test edilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamada, farklı kurumlarda üretilen veriler kullanılmıştır. Uygulama, bir kamu kurumu olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve bir özel kuruluş olan Başarsoft firmasından temin edilen navigasyon amaçlı yol ağlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Bir yol ağında eşleme işlemi yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilirken başka birinde düşük doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir. Bunun nedeni yol ağlarının bazılarının karmaşık yapıda olmasıdır. Marshall (2005) tarafından yol desenleri için önerilen bütüncül bir sınıflandırmaya göre yol ağları genel olarak beş farklı desene sahip olabilir: doğrusal, dairesel, hücresel, ağaç ve karma (hibrit). Uygulama önceki deneyimlerimizden karmaşıklık bakımından orta seviye olarak belirlediğimiz ağaç desenli yollarda (Şekil 4.2) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2 Çalışma bölgesi ve yol ağının deseni.

4.2.2 Önışlem: Yöntemin Kodlanması ve Verisetlerinin Hazırlanması

Etki oranına dayalı eşleme yöntemi, Jupyter Notebook (Pérez ve Granger 2007, Kluyver vd. 2016) arayüzünde Python (2.7) programlama dili ile kodlanmıştır (Ek

B). Jupyter Notebook bulut tabanlı kullanıma imkân veren, içerisinde farklı programlama dillerinde yazılmış kodların derlenebildiği, açık kaynaklı birçok kütüphaneye doğrudan bağlanılabilen ve komut satırı aracılığıyla çevrimiçi veya yerel bilgisayardan harici kütüphanelere de bağlanılabilen bir editördür (Kluyver vd. 2016). Yöntemin kodlanması sırasında bazı işlevler için, numpy, pandas, arcpy ve geopandas kütüphanelerinden faydalanılmıştır (Oliphant 2006, McKinney 2010, ESRI 2011).

Kullanılan verisetleri birbirinden farklı formatlara ve farklı koordinat sistemlerine sahiptir (Tablo 4.1). Bu durum, verisetlerindeki aynı gerçek varlığı temsil eden yol nesneleri arasında benzerlik belirleme süreçlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Kodlanarak otomatik hale getirilen yöntemlerin uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi için bütün verisetleri aynı koordinat sistemine ve aynı dosya yapısına sahip olmalıdır. Başarsoft verisetindeki coğrafi nesneler WGS84 datumundaki coğrafi koordinatlara sahiptir. Uygulamada kullanılan ölçüler metrik olarak hesaplanacağı için Başarsoft verisetindeki nesnelerin coğrafi koordinatları, İBB verisetinin tanımlandığı ITRF96 datumuna (Gauss-Krüger projeksiyonu (Dilim orta meridyeni: 30°) ve GRS80 elipsoidi) göre dönüştürülmüş ve ESRI shapefile (.shp) formatında kaydedilmiştir.

Tablo 4.1 Verisetlerinin koordinat sistemleri ve formatları.

	Projeksiyon/Koordinat sistemi	Datum	Elipsoid	Format
İBB¹	Transversal Mercator	ITRF96	GRS80	.shp (ESRI)
Başarsoft	Coğrafi koordinat sistemi	WGS84	WGS84	.tab (MapInfo)
¹ İstanbul Büyükşehir Belediyesi				

Ayrıca önerilen yöntemde, bir önışlem olarak hizalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda, Bölüm 3.1.4.1’de matematiksel altlığı verilen lineer rubber-sheet dönüşüm yöntemi kullanılarak otomatik elde edilen kontrol noktalarıyla iki yol ağı hizalanmıştır.

4.2.3 Uygulama Sonuçları

Her bir geometrik ve topolojik ölçü ile ayrı ayrı ve birlikte (bütünleşik) gerçekleştirilen eşleme işleminin sonuçları (Ek C) manuel eşleme sonuçlarıyla (Ek A) karşılaştırılarak Tablo 4.2'deki doğru ve yanlış eşleme sayıları belirlenmiştir. Yöntemin birinci aşamasında en çok doğru ve en az yanlış eşleme Hausdorff mesafesi ölçüsü ile gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla; doğrultu, kıvrımlılık ve çizgisel bağlanma derecesi ölçüleri hem doğru hem de yanlış eşleme sayıları bakımından birbirine yakın sonuç vermiştir. Ancak dik mesafelerin ortalaması ve üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ölçülerinde, yanlış sayısı doğru sayısından oldukça fazla olmuştur.

Tablo 4.2 Doğru ve yanlış eşleme sayı ve yüzdeleri.

		HM ¹	Doğ. ²	Kıv. ³	DMO ⁴	ÜKOU ⁵	ÇBD ⁶	1. Aşama
Doğru	Sayı	90	88	84	83	86	86	88
	%	78	54	49	40	43	47	75
Yanlış	Sayı	26	75	86	125	114	97	30
	%	22	46	51	60	57	53	25
¹ Hausdorff mesafesi; ² Doğrultu; ³ Kıvrımlılık; ⁴ Dik mesafelerin ortalaması; ⁵ Üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu; ⁶ Çizgisel bağlanma derecesi								

Ölçülerin her birinden elde edilen bu sonuçlar, benzerlik ilişkilerindeki önem sırası bakımından, yöntem için yeni bir puanlamaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Örneğin, en iyi sonucu veren Hausdorff mesafesinin doğru eşleme yüzdesi %78 iken, bütünleşik yönteminki %75 çıkmıştır. Çünkü diğer ölçülerin benzerlikleri tespit etme konusundaki görece başarısızlığı belirleyici olmuştur. Ölçüler için birinci aşamada kullanılan benzerlik puanları, Tablo 4.3'teki E_j etki oranları ile çarpılarak, ikinci aşamada kullanılacak yeni benzerlik puanları hesaplanmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.3 Ölçülerin etki oranları.

	HM ¹	Doğ. ²	Kıv. ³	DMO ⁴	ÜKOU ⁵	ÇBD ⁶
Etki oranı (E)	2.00000	1.28409	1.03978	1.00000	1.03356	1.08765
¹ Hausdorff mesafesi; ² Doğrultu; ³ Kıvrımlılık; ⁴ Dik mesafelerin ortalaması; ⁵ Üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu; ⁶ Çizgisel bağlanma derecesi						

Tablo 4.4 Birinci ve ikinci aşamada kullanılan benzerlik puanları.

Aşama	$P_{HM_{m-n_i}}$			$P_{O_{m-n}}$		$P_{K_{m-n}}$		$P_{Ort_{P_{m-n}}}$		$P_{Ort_{E_{m-n}}}$		$P_{C_{m-n}}$	
Birinci	4	2	1	4	2	2	1	2	1	4	2	4	2
İkinci	8	4	2	5.136	2.568	2.080	1.040	2	1	4.134	2.067	4.351	2.175

İkinci aşamada, eşleme adayları arasındaki ilişkiler yeni benzerlik puanlarıyla belirlenmiş ve eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.5). Buna göre, iyileştirilmiş, yani puanları güncellenmiş, bütünleşik yöntem neredeyse manuel eşleme sayısı ile aynı sayıda eşleme gerçekleştirmiştir. Güncellenen benzerlik puanları ile gerçekleştirilen eşleme işleminde doğru eşleme sayısı 4 artmış, yanlış eşleme sayısı ise 7 azaltmıştır.

Tablo 4.5 Eşleme yöntemine göre eşleme sayıları.

		Doğru	Yanlış	Eksik	Toplam
Manuel eşleme		116	-	-	116
Etki oranına dayalı eşleme	1. Aşama	88	30	-	118
	2. Aşama	92	23	1	115

4.2.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Eşleme yöntemlerinin doğruluğunun sadece doğru eşleme sayısı ile belirlenmesi tek başına yeterli bir analiz değildir. Örneğin, manuel eşleme ile 100 eş olması gerektiği tespit edilmişken, bir yöntem ile 10 eş belirlenmiş olsun. Bu eşleme işleminde yanlış olmaması durumunda eşleme yöntemi %100 doğrulukla çalışmış sayılmaktadır. Oysaki manuel eşlemeye göre yöntem 90 adet eşi belirleyememiştir (eksik eşleme). Bu durum, doğruluk ile ilgili değerlendirmeleri yaparken bütünlüğün (completeness) de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, veri biliminde de sıklıkla kullanılan istatistiksel ölçülerden üçü (kesinlik (precision) (4.7), bütünlük (recall) (4.8) ve F-ölçüsü (4.9)) geliştirilen yöntemi değerlendirmek için kullanılmıştır (Samal vd. 2004, Song vd. 2011, Fan vd. 2016). Kesinlik ölçüsü, doğru eşleme sayısının toplam eşleme sayısına oranıdır. Bu nedenle kesinlik ölçüsü,

tezin geri kalan kısmında doğruluk ölçüsü olarak anılacaktır. İstatistiksel ölçülere göre değerlendirme, eşleme işleminin amacına göre yapılmalıdır. Örneğin, navigasyon amaçlı bir eşleme işleminde, bütünlüğün %85'ten büyük olması beklenirken, yaya ve bisiklet yollarının entegrasyonu amacıyla gerçekleştirilen bir eşleme işleminde bu beklenti daha düşük olabilir.

$$Doğruluk = \frac{Doğru}{Doğru + Yanlış} \quad (4.7)$$

$$Bütünlük = \frac{Doğru}{Doğru + Eksik} \quad (4.8)$$

$$F - ölçüsü = \frac{2 \times Doğruluk \times Bütünlük}{Doğruluk + Bütünlük} \quad (4.9)$$

Yöntemin istatistiksel ölçülere göre değerlendirilmesi için üç parametre tanımlanmıştır: Doğru eşleme sayısı (Doğru: Doğru pozitif), yanlış eşleme sayısı (Yanlış: Yanlış pozitif) ve eksik eşleme sayısı (Eksik: Yanlış negatif). Eksik eşleme sayısı, manuel eşleme sayısından yöntemin gerçekleştirdiği toplam eşleme sayısının (doğru ve yanlış eşleme sayılarının toplamı) çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

F-ölçüsü doğruluk ve bütünlük değerlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Diğer bir deyişle F-ölçüsü, doğruluk ve bütünlüğün birlikte dengeli bir şekilde etkilediği bir değerlendirme ölçüsüdür.

Etki oranına dayalı eşleme yönteminin ikinci aşamasında doğruluk %5 ve F-ölçüsü %2.8 artmıştır (Tablo 4.6). Elde edilen sonuçların doğruluk bakımından umut verici olduğu söylenebilir. Bütünlük ölçüsü, yöntemlerin ne kadar eksik eşleme yaptığını gösteren bir ölçüdür ve fazla yapılan eşlemeler bütünlük ölçüsünün değerini etkilemez. Örneğin, Tablo 4.5 dikkatlice incelendiğinde manuel eşlemeye göre birinci aşamada 2 eşleme fazla, ikinci aşamada 1 eşleme eksik yapmıştır. Tablo 4.6'da görüldüğü gibi fazla eşleme yapılan birinci aşamada bütünlük değeri %100 iken, ikinci aşamada %98.9'dur. Bu durum bütünlük değerinin de tek başına bir değerlendirme ölçüsü olamayacağını, fakat, doğruluk ölçüsü hakkında yorum yapmak için kullanılabileceğini göstermektedir. İstatistiksel sonuçlara göre, etki oranlarına dayalı yöntem, hassas eşleme işlemine ihtiyaç duyulmayan özel amaçlı

uygulamalarda tercih edilebilir. Ancak, navigasyon, posta verisi entegrasyonu, veri güncelleme gibi hassas eşleme işlemine ihtiyaç duyulan uygulamalarda tercih edilmemelidir.

Tablo 4.6 İstatistiksel ölçü sonuçları.

		Doğruluk (%)	Bütünlük (%)	F-ölçüsü (%)
Etki oranına dayalı eşleme	1. Aşama	75	100	85.7
	2. Aşama	80	98.9	88.5

Hausdorff mesafesi ölçüsü ile gerçekleştirilen eşleme işleminde doğru sayısı yanlış sayısının 3.5 katıdır. Doğrultu, kıvrımlılık ve çizgisel bağlanma derecesi ölçüleri ile gerçekleştirilen eşleme işleminde doğru ve yanlış sayıları birbirine oldukça yakındır. Ancak dik mesafelerin ortalaması ve üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ölçülerinde, yanlış sayısı doğru sayısından oldukça fazladır. Bu durum açıkça gösteriyor ki, en iyi eşleyen Hausdorff mesafesi ölçüsü ile en kötü eşleyen dik mesafelerin ortalaması ölçüsü eşdeğer sahip olmamalıdır.

Ölçüler ayrı ayrı eşleme işlemi için kullanıldığında hepsinin doğru eşleme sayısı birbirine yakın çıkmıştır. Bu nedenle, etki oranının belirlenmesinde yalnızca doğru eşleme sayısı değil, yanlışların da dâhil olduğu bir eşitliğin kullanımı doğru bir yaklaşımdır. Maksimum-Minimum normalizasyonunda Kâr-Zarar (Doğru-Yanlış) ölçütlerinden ve üstel fonksiyondan faydalanılması, etki oranlarının 1 ile 2 arasına indirgenmesini ve en az etkiye sahip dik mesafelerin ortalaması ölçüsünün bile benzerlik puanı hesabında kullanılmasını sağlamıştır.

Bu uygulamada ağaç desenli bir yol ağı için etki oranları belirlendiği için, benzer yapıdaki yol ağlarının eşlenmesinde artık birinci aşamaya gerek kalmayacak, ikinci aşama ise tam otomatik olarak gerçekleştirilebilecektir. Farklı desenli bir yol ağı için etki oranları yeniden hesaplanmalıdır. Ayrıca etki oranları, çok sayıda veri içeren verisetleri için küçük örneklemeler üzerinden hesaplanıp ardından esas veriye

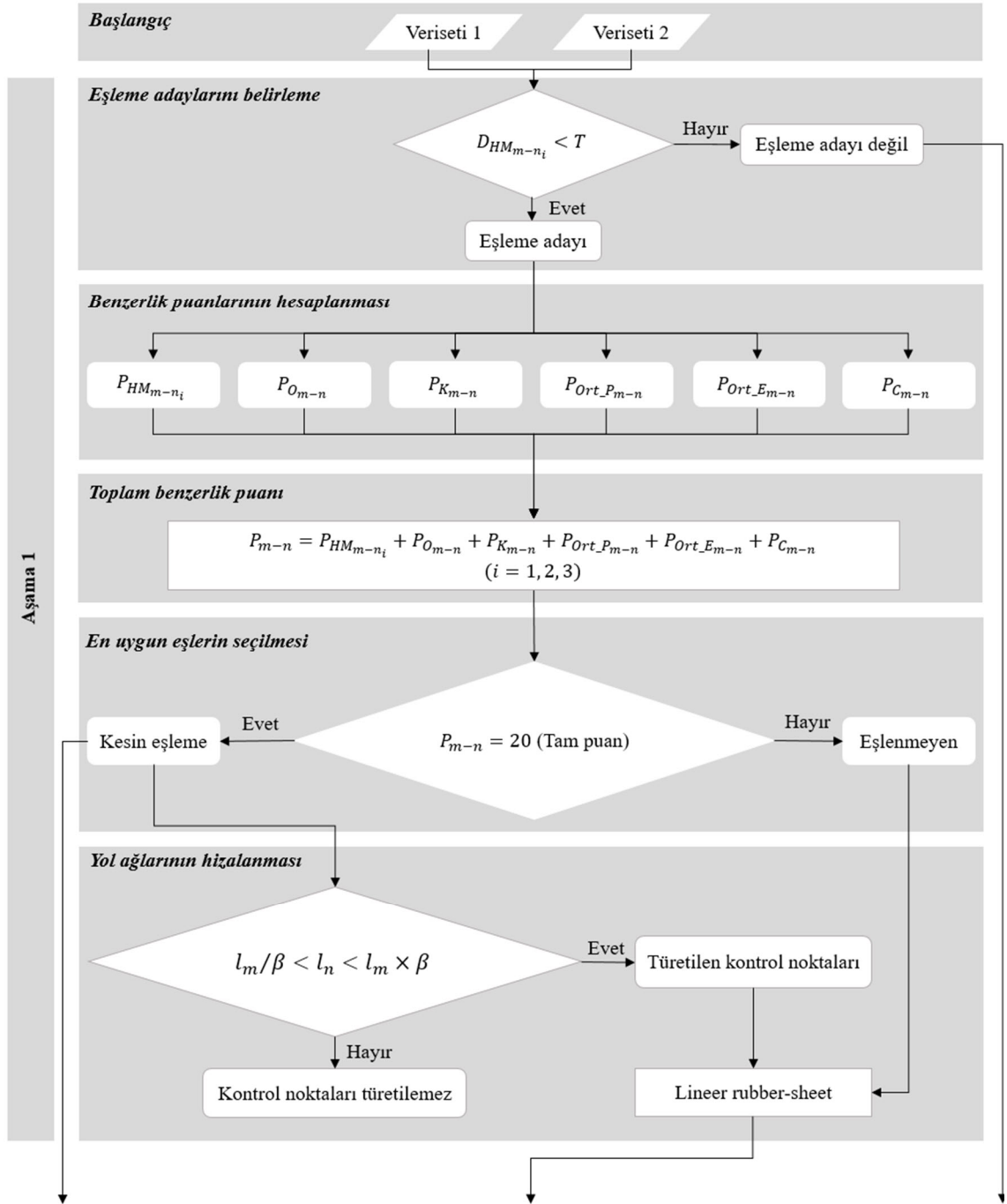
uygulanabilir. Bu durumda, ilk aşamada etki oranları manuel eşleme kontrolü ile yarı-otomatik belirlenir ve ardından bu etki oranları kullanılarak esas veri tam otomatik eşlenir.

Literatürdeki mevcut eşleme yöntemlerinin genel olarak en az %85 doğrulukla eşleme işlemini gerçekleştirdiği görünmektedir. Çalışmanın bir amacı da navigasyon gibi hassas doğruluğa ihtiyaç duyan bir sistemin sürekliliğini sağlamak olduğu için eşleme işleminin doğruluğunun daha da yüksek olması hedeflenmektedir. Dolayısıyla, etki oranına dayalı olarak geliştirilen bu yöntem hedeflenen başarı seviyesine tam olarak ulaşamamıştır.

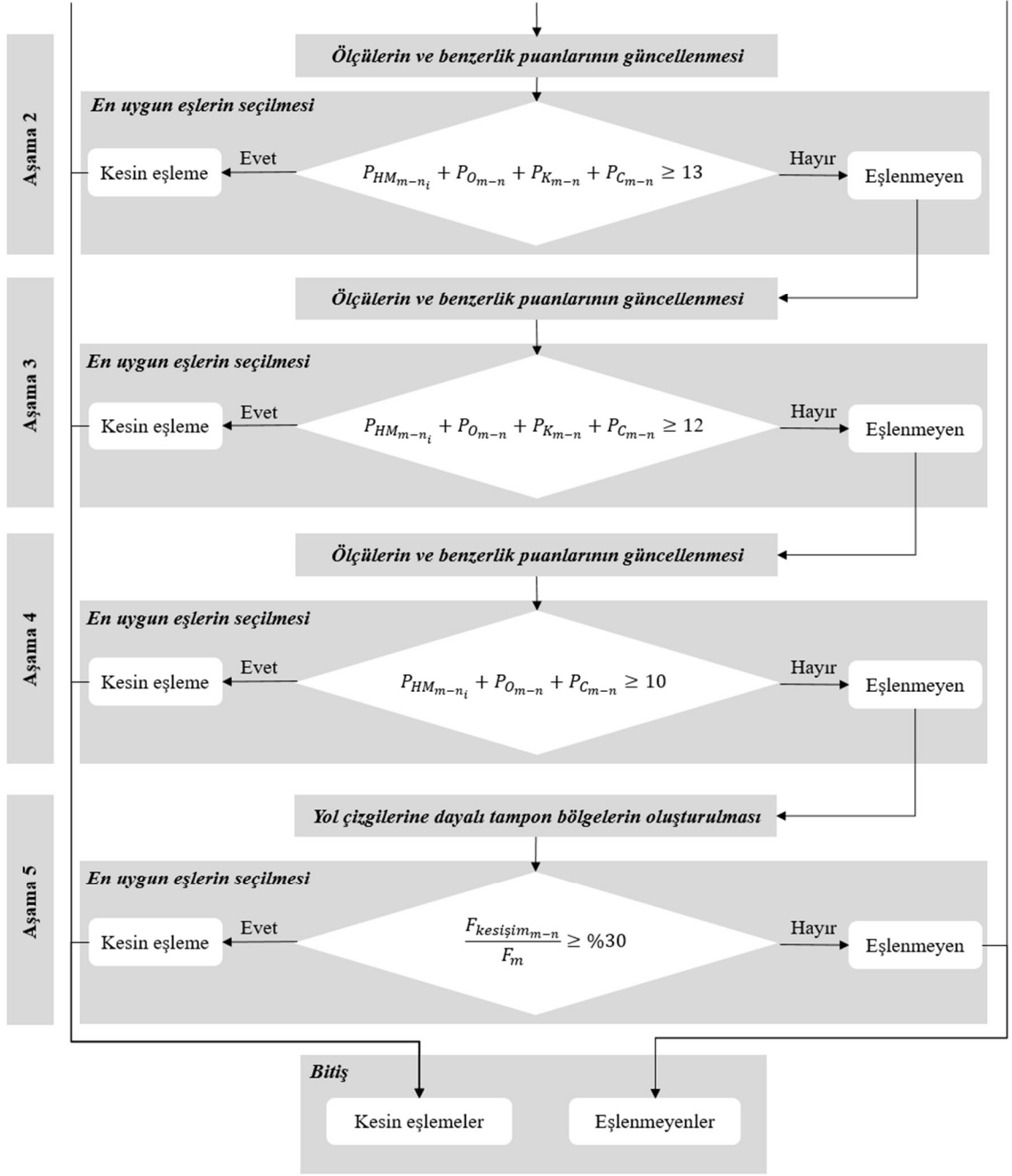


5.1 Yöntem

Bu tez çalışmasında, ikinci bir yöntem olarak, beş aşamadan oluşan, her bir aşamada seçme/eleme işleminin gerçekleştirilmesine imkân veren bir yöntem geliştirilmiştir (Şekil 5.1). Bu yöntemin ilk dört aşamasında eşleme adayları arasındaki benzerlik puanlarına göre eşleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Benzerlik puanları Şekil 3.17'deki geometrik ve topolojik kurallar dikkate alınarak her eşleme adayı çifti için hesaplanmaktadır. İlk dört aşamada sadece noktasal ve çizgisel ölçüler için puanlama yapılmaktadır. Bu aşamaların her birinde, yeterli puana sahip eşleme adaylarını belirlemek için minimum benzerlik puanı bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Minimum benzerlik puanı, geometrik ve topolojik ölçülerin doğruluk dağılımını gösteren Şekil 3.18'deki histogram dikkate alınarak her bir aşamada esnetilmektedir. Histogramdaki ortalama doğruluk değerlerine göre en az doğruluk değerine sahip ölçüden başlanarak ölçü sayısı azaltılmakta ve geriye kalan ölçüler için minimum puan ölçütü biraz daha esnetilmektedir. Beşinci aşamada, noktasal ve çizgisel ölçüler kullanılarak eşlenemeyen çizgiler, bir alansal ölçü (yol çizgilerinin temsili olarak kapladıkları alanların örtüşme oranı) ile eşlenmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada, benzerlik puanı kullanılmamaktadır.



Şekil 5.1 Çok aşamalı yöntemin akış diyagramı



Şekil 5.1 Çok aşamalı yöntemin akış diyagramı (devamı)

5.1.1 Eşleme Aşamaları ve Puan Ölçütleri

Aşama-1:

Birbirlerine önceden tanımlanmış eşik mesafesinden (T) daha yakın olan yol çizgileri, eşleme adayı olarak belirlenir. Eşleme adayları arasındaki yakınlığın belirlenmesi için Hausdorff mesafesi kullanılır. T , tüm olası eşlemeleri tespit edebilecek büyüklükte, yani, muhtemel eş çizgileri belirleyecek kadar büyük ve çok

fazla yanlış eşlemeye neden olmayacak kadar küçük bir değer olmalıdır. Verisetine göre değişiklik gösterebilecek bu değer, manuel gözlem veya bir dizi önışlem ile belirlenebilir. Eşleme adaylarının belirlenmesinin ardından; doğrultu, kıvrımlılık, dik mesafelerin ortalaması, üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ve çizgisel bağlanma derecesi ölçüleri hesaplanır. Tüm ölçüler kullanılarak Şekil 3.17'deki ölçütlere göre eşleme aday çiftlerinin benzerlik puanları belirlenir. Toplam puanı 20 olan, yani, tüm ölçütlerden tam puan alan (en çok benzer) eşleme adayları kesin eş olarak seçilir.

Bu aşamada, son olarak, benzerliği arttırmak için yol ağları hizalanır. Kesin eş olarak belirlenen yol çizgilerinin uç noktaları kontrol noktası olarak belirlenerek lineer rubber-sheet dönüşümü uygulanır (Şekil 5.2). Ancak daha iyi bir sonuç elde etmek için kontrol noktaları belirlenirken ek olarak Li ve Goodchild (2011) tarafından önerilen bir çizgi benzerlik ölçütü daha kullanılır. β parametresi, farklı verisetlerindeki çizgisel yol nesnelerinin uzunlukları arasındaki belirsizliği gösterir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

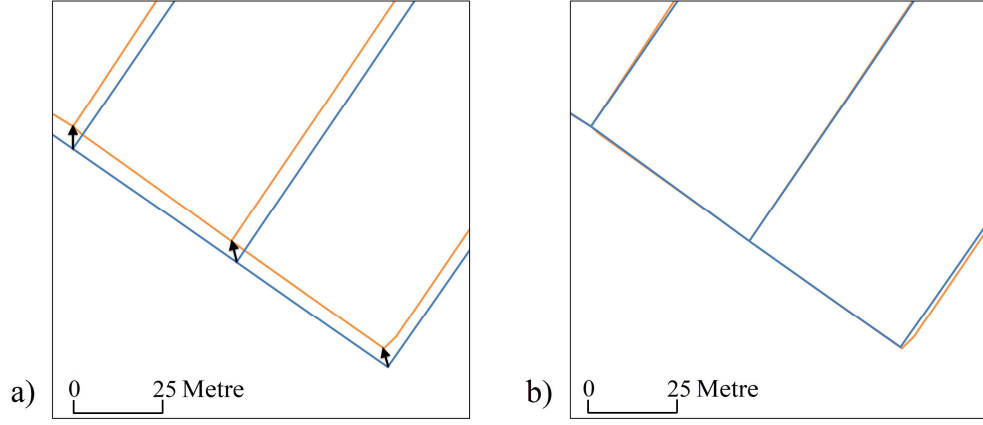
$$\beta = \frac{\sum l_n}{\sum l_m} \quad (5.1)$$

l_m ve l_n , sırasıyla, eşlenmiş m ve n çizgilerinin uzunluklarını göstermektedir. Çok aşamalı yöntemde, β parametresi aşağıdaki gibi bir sınırlayıcı koşul olarak kullanılmaktadır:

$$l_m/\beta < l_n < l_m \times \beta \quad (5.2)$$

Buna göre, l_n uzunluğu l_m uzunluğundan en az β defa küçük ve en fazla β defa büyük olursa, m ve n çizgilerinin uç noktaları kontrol noktası olarak kullanılabilir. β parametresinin kullanılmasıyla, kesin eş çizgilerden uzunluk değerleri birbirine en yakın olanların seçilmesi sağlanmaktadır. Böylece, uzunlukları arasında çok büyük farklılıklar olan kesin eş çizgilerden kontrol noktalarının türetilmesi önlenmektedir.

Dönüşüm için seçilen m ve n çizgilerinin belirlenmesinin ardından uç noktaları kontrol noktası olarak tanımlanır ve lineer rubber-sheet dönüşüm yöntemi ile iki verisetindeki tüm yol çizgileri hizalanır.



Şekil 5.2 Lineer rubber-sheet yöntemi ile kontrol noktaları (siyah ok) kullanılarak yol ağlarının (mavi ve turuncu çizgiler) hizalanması: (a) Öncesi ve (b) sonrası.

Aşama 2:

Eşleme işlemi hizalanmış ve eşlenmemiş yol çizgileri üzerinden devam eder. Eşleme adayları arasındaki benzerlikleri daha hassas tespit edebilmek için, bu aşamadan sonra dik mesafelerin ortalaması ve üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ölçüleri puan hesabının dışında tutulur. Eşleme adayları için kalan ölçüler güncellenerek yeniden benzerlik puanları hesaplanır. Kesin eşleri belirlemek için eşleme adaylarının geçmesi gereken bir minimum puan ölçütü (eşik değer) kullanılır. Bu eşik değer, toplam alınabilecek en büyük değer (tam puan) olan 14 puanın 1 eksikidir. Sonuç olarak, toplam puanı en az 13 olan (yani, en az, tam (14) puandan 1 puan daha az toplam puana sahip) eşleme adayları kesin eş olarak seçilir.

Aşama 3:

Eşlenmemiş adaylar için aynı ölçülerin değerleri güncellenir ve benzerlik puanları yeniden hesaplanır. Minimum eşik puan değeri kesin eşleme çifti sayısını arttırmak için 1 puan daha eksiltir. Diğer bir ifadeyle, toplam puanı en az 12 olan eşleme adayları kesin eş olarak seçilir.

Aşama 4:

Daha hassas benzerlik ölçüleri ile değerlendirme yapabilmek için, bu aşamada kıvrımlılık ölçüsü puan hesabının dışında tutulur. Eşleme adayları için kalan ölçüler güncellenir ve benzerlik puanları tekrar hesaplanır. Aşama 3'teki minimum eşik puan değerinden (12) kıvrımlılık ölçüsü için kullanılan maksimum benzerlik puanı (2) çıkartılarak bu aşama için minimum eşik puan değeri belirlenir. Sonuç olarak,

toplam puanı en az 10 olan (yani, en az, tam (12) puandan 2 puan daha az toplam puana sahip) eşleme adayları kesin eş olarak seçilir.

Aşama 5:

Bu aşamada, hala eşlenmemiş olan yol çizgilerinin kapladığı alanlar esas alınarak kesin eşler belirlenir. Alan hesabını gerçekleştirebilmek için her yol çizgisinin 3 m genişliğinde iki şeritten oluştuğu varsayılmıştır. Yol çizgilerinin alanları, her bir yol etrafında, iki şerit genişliğinde (2x3 m) tampon bölge oluşturularak hesaplanır. Ardından, eşleme adayları için tampon bölgelerinin kesişen (örtüşen) alanları belirlenir (Şekil 2.9b). Kesişim alanının birinci verisetindeki ilgili eşleme adayı çizginin tampon bölgesinin alanına oranının aşağıdaki eşitliğe uygunluğu araştırılır:

$$\frac{F_{kesişim_{m-n}}}{F_m} \geq \%30 \quad (5.3)$$

Burada $F_{kesişim_{m-n}}$ m ve n eşleme adayı çizgilerinin tampon bölgelerinin kesişim alanını, F_m ise m çizgisinin tampon bölgesinin alanını göstermektedir. (5.3) eşitliği, Fan et al. (2016) tarafından yapılan çalışmadan uyarlanmıştır. Fan et al. (2016), kesişim alanının %50'den büyük olması şartıyla yapı adalarının (yollarla çevrili alanların) eşlenmesi için çokgenlere dayalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Ancak, yollara dayalı oluşturulan tamponların yüz ölçümü adalardan çok daha küçüktür. Ayrıca, kapladığı alan sadece bir yol çizgisine bağlıdır ve eşleme adayı çizgileri arasındaki küçük bir şekilsel farklılık, tampon bölgelerinin örtüşme oranını düşürmektedir. Bu nedenle, örtüşme oranı eşik değeri %30'a kadar düşürülmüştür. Örtüşme oranı bu değerden büyük olan m ve n eşleme adayları kesin eş olarak seçilir.

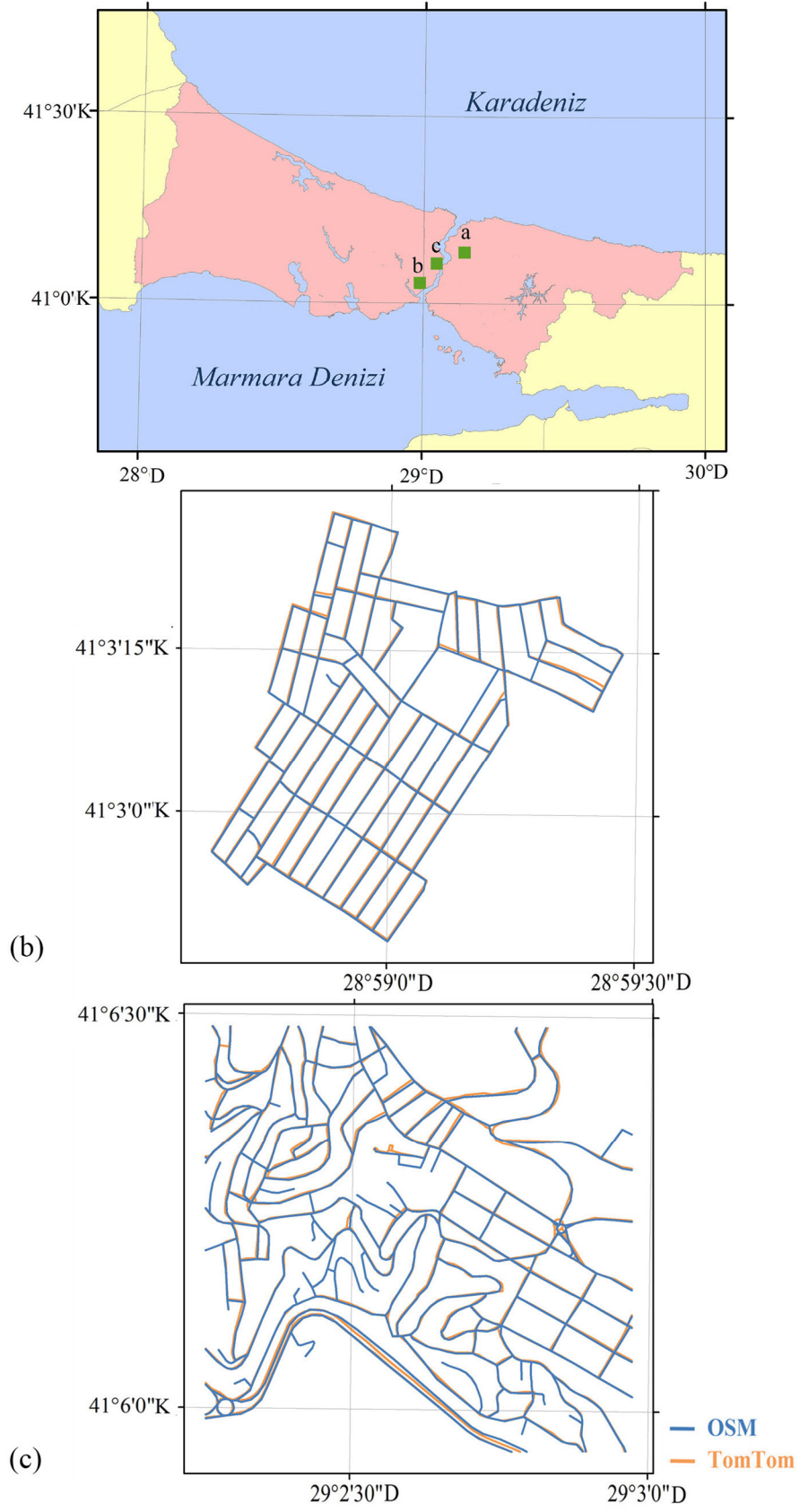
5.2 Uygulama 1: Çok Aşamalı Eşleme Yöntemiyle Farklı Desenli Yol Nesnelerini Eşleme

5.2.1 Çalışma Bölgesi ve Kullanılan Verisetleri

Bu uygulamada, çok aşamalı yöntem, İstanbul'un farklı yerlerindeki yol ağlarında test edilmiştir (Şekil 5.3). Geliştirilen yöntemin tüm veri sağlayıcıların problemlerine cevap vermesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen

uygulamada, olabildiğince farklı kurumlarda üretilen verilerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Kamu veri sağlayıcısı olarak İBB, navigasyon hizmetleri sunan özel veri sağlayıcıları TomTom ve Başarsoft ve son olarak bir GCB projesi olan OSM kaynaklarından temin edilen yol ağları kullanılmıştır.

Eşleme işlemi bir yol ağında yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilirken, başka birinde düşük doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir. Bunun nedeni bazı yol ağlarının karmaşık yapıda olmasıdır. Yol ağları için geliştirilen eşleme yöntemlerinin, farklı desene sahip yollarda test edilmeleri daha rasyonel bir şekilde değerlendirilmelerini sağlamaktadır. Bunun için desen türlerine göre bir yol ağı sınıflandırmasının referans alınması gereklidir. Marshall (2005) tarafından yol desenleri için önerilen bütüncül bir sınıflandırmaya göre yol ağları genel olarak beş farklı desene sahip olabilir: doğrusal, ağaç, dairesel, hücresel, karma (hibrit). Doğrusal desenler ağaç ve karma desenlerinin içinde küçük parçalar halinde yer alabilirken, dairesel desenler hücresel desenlerden meydana gelebilmektedir. Bu uygulamada, doğrusal ve dairesel desenli yol ağlarını ayrı ayrı kullanmak yerine, üç belirgin desen türü olan; ağaç (Şekil 4.2), hücresel (Şekil 5.3b) ve karma (Şekil 5.3c) desenli yol ağları kullanılmıştır.



Şekil 5.3 Çalışma bölgeleri ve yol ağlarının desenleri: (a) Ağaç, (b) hücresel ve (c) karma.

5.2.2 Önişlem: Yöntemin Kodlanması ve Verisetlerinin Hazırlanması

Bu yöntem, Jupyter Notebook (Pérez ve Granger 2007, Kluyver vd. 2016) arayüzünde Python (2.7) programlama dili ile kodlanmıştır (Ek B). Yöntemin kodlanması sırasında bazı işlevler için, arcpy, pandas, geopandas ve numpy kütüphanelerinden faydalanılmıştır (Oliphant 2006, McKinney 2010, ESRI 2011).

Kullanılan kamu verisi ve özel navigasyon verileri topolojik olarak yapılandırılmış verilerdir. Ancak, OSM verisi bu bakımdan düzensiz bir yapıdadır. Eşleme işleminde, çizgisel yol nesnelerinin benzerlikleri dikkate alındığından dolayı, OSM verisindeki yollar da, diğer verisetlerindeki gibi eşleme işlemi öncesinde, topolojik olarak yapılandırılmıştır.

Kullanılan verisetleri birbirinden farklı formatlara ve farklı koordinat sistemlerine sahiptir (Tablo 5.1). TomTom, Başarsoft ve OSM verisetlerindeki nesneler farklı formatlarda kayıtlı olmalarına rağmen, hepsi WGS84 datumundaki coğrafi koordinatlara sahiptir. Uygulamada kullanılan ölçüler metrik olarak hesaplanacağı için bu verisetlerindeki nesnelerin coğrafi koordinatları, İBB verisetinin tanımlandığı ITRF96 datumuna (Gauss-Krüger projeksiyonu (Dilim orta meridyeni: 30°) ve GRS80 elipsoidi) göre dönüştürülmüş ve ESRI shapefile (.shp) formatında kaydedilmiştir.

Tablo 5.1 Verisetlerinin koordinat sistemleri ve formatları.

	Projeksiyon/Koordinat sistemi	Datum	Elipsoid	Format
İBB ¹	Transversal Mercator	ITRF96	GRS80	.shp (ESRI)
TomTom	Coğrafi koordinat sistemi	WGS84	WGS84	.shp (ESRI)
Başarsoft		WGS84	WGS84	.tab (MapInfo)
OSM ²		WGS84	WGS84	.osm (OSM)
¹ İstanbul Büyükşehir Belediyesi; ² OpenStreetMap				

5.2.3 Uygulama Sonuçları

Birinci aşamadaki eşleme işlemi gerçekleştirildikten sonra, yol çizgilerinin benzerliklerini arttırmak için, β parametresi kullanılarak elde edilen kontrol noktaları (Tablo 5.2) kullanılarak rubber-sheet dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece yol ağları, bu aşamada belirlenen kesin eşler referans alınarak hizalanmış ve yol çizgileri arasındaki benzerlikler (konum, uzunluk, doğrultu gibi) artırılmıştır.

Eşleme sonuçları (Ek C) manuel eşleme sonuçları (Ek A) ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Tablo 5.3'te yol ağı desenine ve eşleme aşamasına göre doğru, yanlış ve eksik eşleme sayıları verilmiştir. Burada, eksik eşleme sayılarının bir sonraki aşamaya geçişle birlikte azaldığı, buna karşın doğru eşleme sayılarının arttığı görülmektedir. Ancak, yanlış eşleme sayısı ile eksik eşleme sayıları arasında herhangi bir korelasyon bulunmamaktadır. Ayrıca en çok yanlış eşleme karma desenli yol ağında gerçekleşmiştir. Hücresel desenli yol ağında yanlış eşleme yapılmamıştır.

Tablo 5.2 Hizalamada kullanılan β parametresinin değerleri ve kontrol noktası çiftlerinin sayıları.

	β	Kontrol noktaları
Ağaç	1.06612	41
Hücresel	1.02218	49
Karma	1.11479	66

Tablo 5.3 Doğru, yanlış ve eksik eşleme sayıları.

	Eşleme Sayıları								
	Ağaç			Hücresele			Karma		
	D ¹	Y ²	E ³	D	Y	E	D	Y	E
Manuel	116	-	-	150	-	-	262	-	-
Aşama 1	42	-	74	65	-	85	64	2	196
Aşama 2	22	2	50	68	-	17	66	1	129
Aşama 3	12	2	36	9	-	8	26	6	97
Aşama 4	6	1	29	1	-	7	20	9	68
Aşama 5	15	-	14	4	-	3	36	1	31
Sonuç	97	5	14	147	-	3	212	19	31
¹ Doğru; ² Yanlış; ³ Eksik									

5.2.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Önerilen çok aşamalı yöntem doğruluk bakımından oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir. Hücresele desenli yol ağlarında eşleme işlemi tam doğru (%100) olarak gerçekleşmiştir (Tablo 5.4). Ağaç ve karma desenli yol ağlarındaki eşleme işlemlerinde de doğruluk oldukça yüksektir. Bütünlük açısından da en iyi sonuç hücresele desenli yol ağlarında elde edilmişken, onu ağaç ve karma desenli yollar takip etmiştir.

Tablo 5.4 İstatistiksel ölçü sonuçları.

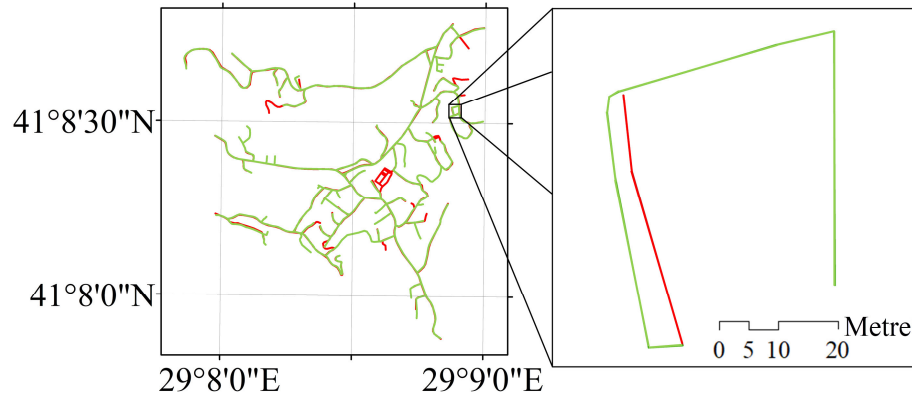
	İstatistiksel ölçüler								
	Ağaç			Hücresele			Karma		
	D ¹ (%)	B ² (%)	F ³ (%)	D (%)	B (%)	F (%)	D (%)	B (%)	F (%)
Aşama 1	100	-	-	100	-	-	97.0	-	-
Aşama 2	91.7	-	-	100	-	-	98.5	-	-
Aşama 3	85.7	-	-	100	-	-	81.3	-	-
Aşama 4	85.7	-	-	100	-	-	69.0	-	-
Aşama 5	100	-	-	100	-	-	97.3	-	-
Sonuç	95.1	87.4	91.1	100	98.0	99.0	91.8	87.2	89.4
¹ Doğruluk; ² Bütünlük; ³ F-ölçüsü									

Yol ağlarının toplam uzunlukları arasındaki farklılık ne kadar az ise β değeri o kadar 1'e yaklaşır. Aksi durumda 1'den uzaklaşır. Bu değer, yol ağlarının uzunluklarına göre benzerlik durumlarını yansıtmaktadır. Sonuçların değerlendirilmesi için ilave bir ölçü olarak kullanılabilir. β değerleri, yol desenlerine göre; hücresele, ağaç ve karma şeklinde küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır (Tablo 5.2). Ayrıca, en doğru eşlemenin en benzer girdi verisetleri arasında yapıldığı varsayımıyla, desen çeşidine göre yol ağlarındaki benzerliği, çok benzer olandan az benzer olana doğru; hücresele, ağaç ve karma şeklinde sıralayabiliriz. Böylece, β değeri ile verisetlerinin benzerlikleri arasında bir uyum olduğu söylenebilir.

Önerilen yöntem çok aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşamanın sonunda, yeni eşlenen yollar hariç tutularak eşlenmeyen yollarla bir sonraki aşamaya geçilmektedir. Her aşamada eşleme ölçütü biraz daha esnetilerek doğru eşleme sayısı artırılmaktadır. Örneğin, ağaç desenli yol ağlarındaki doğru eşleme sayısı ilk aşama sonunda 42 iken, ikinci aşama sonunda 22 doğru eşleme daha eklenerek 64 olmuştur (Tablo 5.3). Buna karşın, ölçütlerdeki bu gibi esnetmeler doğrulukta düşüşe neden olmuştur. Yine aynı örnek incelendiğinde, ilk aşamada %100 olan doğruluğun, ikinci aşamada %91.7'ye düştüğü görülmektedir (Tablo 5.4). Bunun bir

diğer nedeni, eşleme adayları arasında çok benzer olanların birinci aşamada eşlenmesi ve ikinci aşamaya görece daha az benzer eşleme adaylarıyla devam edilmesidir. Karma desenli yol ağlarında gerçekleştirilen eşleme işleminin dördüncü aşamasında, benzerlik puanının hesabında kullanılan ölçüler eşleme adaylarını doğru eşlemede yetersiz kalmıştır. Bu nedenle, doğrulukta büyük bir düşüş yaşanmıştır (Tablo 5.4). Böyle bir düşüş diğer iki desende görülmemiştir. Bu nedenle, dördüncü aşamada hariç tutulan kıvrımlılık ölçüsünün, karma desenli yolların eşlenmesinde önemli bir ölçü olduğu çıkarımında bulunulabilir.

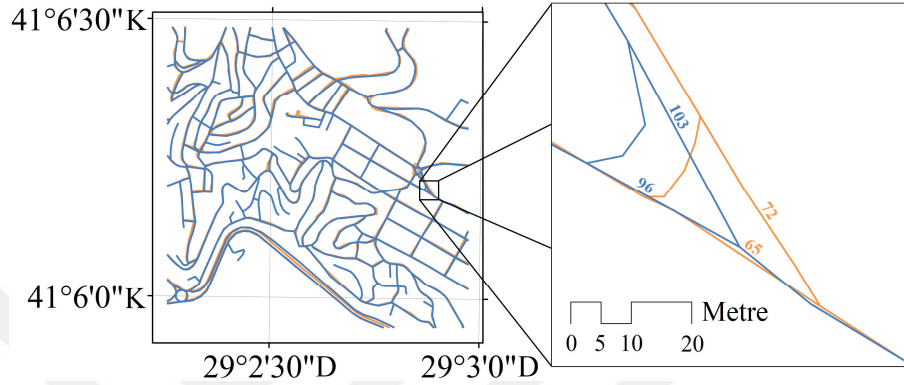
Eksik eşlemelerden dolayı bütünlük değeri doğruluk değeri kadar yüksek değildir (Tablo 5.4). Ağaç ve karma desenli yol ağlarında bütünlük değeri, hücreli desenli yol ağlarındaki kadar yüksek çıkmamıştır. Eksik eşleme sayılarındaki fazlalığın nedeni, bir nesnenin farklı verisetlerinde oldukça farklı şekillerde temsil edilmiş olmasıdır (Tablo 5.3). Nesneler arasındaki şekilsel farklılıklar arttıkça, benzerlik azalır ve eşleme imkânı giderek güçleşir. Ağaç desenli yol ağlarında eşlenmeyen yolların sayısı 14'tür (Tablo 5.3). Bunun ana nedeni, eşleme adaylarının şekillerinin oldukça farklı olmasıdır (Şekil 5.4). Böyle bir sorun, uzun yolların parçalanarak kısa olanlarla eşlenmesine dayanan bazı yaklaşımlarla giderilebilir (Kang vd. 2015).



Şekil 5.4 Eksik eşlemeye bir örnek: İBB (yeşil) ve Başarsoft (kırmızı).

Eşleme işleminde yanlış eşlemeler iki şekilde gerçekleşebilir: (1) İlgili aşamada kullanılan ölçülerin eşleme adayları arasındaki benzerliği belirlemedeki yetersizliği ve (2) eşleme adaylarının bir kısmının rastlantısal olarak benzer şekle sahip olması. Örneğin, ikinci durum için Şekil 5.5'teki yollar incelenebilir. 103 numaralı OSM çizgisi, 72 numaralı TomTom çizgisi ile 1:1 eşlenmelidir. Geliştirilen yöntem bu eşlemeyi gerçekleştirmiştir. Ancak, ilave olarak, 65 numaralı TomTom çizgisinin

103 numaralı OSM çizgisine olan benzerliğinden (doğrultu, kıvrımlılık, dik mesafelerin ortalaması ve çizgisel bağlanma derecesi ölçüleri bakımından benzer olmasından) ötürü bu iki yolu da eşlemiştir. Diğer bir deyişle, 103 numaralı yol hem 72 hem 65 numaralı yolla 1:n olarak eşlenmiştir. Neredeyse bütün yanlış eşlemeler, bu örnekte de görüldüğü gibi, kavşaklarda gerçekleşmiştir. Bu çeşit küçük yol segmentleri kendilerine özgü ek ölçütler gerektirmektedir.



Şekil 5.5 Yanlış eşlemeye bir örnek: OSM (mavi) ve TomTom (turuncu).

5.3 Uygulama 2: Çok Aşamalı Eşleme Yöntemiyle Çok Sayıda Nesne İçeren Yol Ağlarını Eşleme

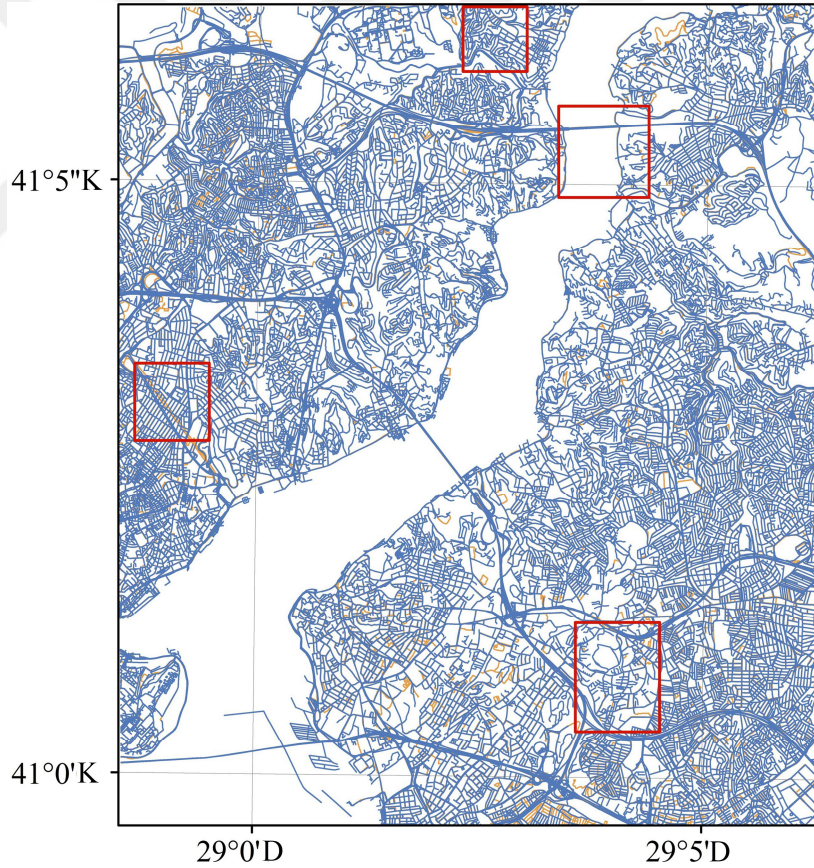
Manuel eşleme işlemi, bir operatör tarafından gerçekleştirildiği için çok sayıda nesne içeren verisetlerinde doğruluk analizi gerçekleştirmek emek-yoğun bir iş olabilmektedir. On binlerce hatta milyonlarca yol nesnesini test etmek kolay bir iş değildir. Önerilen çok aşamalı yöntem otomatik gerçekleşmesinden dolayı büyük verisetleri için çok uygundur. Yöntemin büyük verisetlerinde kullanımı durumunda doğruluğu, verisetlerinin farklı yerlerinden alınan örneklemelerin doğruluklarının ağırlıklandırılması ile belirlenebilir. Bu uygulamada, çok aşamalı eşleme işlemi, çok sayıda nesne içeren verisetlerindeki nesneleri eşlemek için gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi İstanbul Boğaz'ında 11 km x 13 km'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 5.6). Girdi olarak kullanılan OSM veriseti yol nesnesi sayısı ve toplam yol uzunluğu bakımından, TomTom verisetinden oldukça farklıdır (Tablo 5.5). Uygulama sonuçlarını değerlendirebilmek için, Şekil 5.6'da görünen örneklemeler içerisinde eşlenen yollar manuel eşleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 5.6'da örneklemelerdeki yol nesnelerinin çok aşamalı yöntemle eşlenme istatistikleri

verilmiştir. Tüm örneklemelerde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Verisetinin tümünün eşleme sonuçlarını değerlendirmek için, örneklemelerden elde edilen istatistiksel ölçüler (D: doğruluk, B: bütünlük ve F: F-ölçüsü) eşleme sayıları (N: doğru ve yanlış eşleme sayılarının toplamı) ile ağırlıklandırılmıştır ((5.4), (5.5) ve (5.6)).

$$\frac{\sum_i^n N_i \times D_i}{\sum_i^n N_i} \quad (5.4)$$

$$\frac{\sum_i^n N_i \times B_i}{\sum_i^n N_i} \quad (5.5)$$

$$\frac{\sum_i^n N_i \times F_i}{\sum_i^n N_i} \quad (5.6)$$



Şekil 5.6 Çalışma bölgesindeki OSM (mavi) ve TomTom (turuncu) yol nesneleri ile örneklem bölgeleri (kırmızı dikdörtgen) (soldan sağa 1, 2, 3 ve 4).

Tablo 5.5 Yol ağılarına ilişkin bazı istatistikler.

	Nesne sayısı	Toplam yol uzunluğu (km)
OSM	42264	2901.277
TomTom	29816	2314.272

Tablo 5.6 Eşleme sayısı ve istatistiksel ölçü sonuçları.

	Eşleme sayısı	İstatistiksel ölçüler		
		Doğruluk (%)	Bütünlük (%)	F-ölçüsü (%)
Örneklem 1	147	100	98.0	99.0
Örneklem 2	231	91.8	87.2	89.4
Örneklem 3	88	87.5	91.7	89.5
Örneklem 4	375	88.0	93.2	90.5
Ağırlıklandırılmış	-	91.1	92.2	91.6

Ayrıca, çok aşamalı yöntemin eşleme performansını belirlemek için toplam eşleme sayısı, Li ve Goodchild (2011) tarafından geliştirilen iyileştirme modeline göre aynı verisetleri kullanılarak gerçekleştirilen uygulama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hacı (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada olduğu gibi, iyileştirme modeline göre gerçekleştirilen uygulamada semantik bilginin olmadığı senaryo dikkate alınmıştır. Uygulama sonuçlarına göre, çok aşamalı yöntem OSM ve TomTom verisetlerini kullanarak 30877 eşleme gerçekleştirirken, iyileştirme modeli aynı verisetlerini kullanarak 25986 eşleme gerçekleştirmiştir. Eşleme sayıları ile birlikte çok aşamalı yöntemin doğruluğu da dikkate alındığında eşleme performansının iyileştirme modelinin performansından daha iyi olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, ağırlıklandırılmış doğruluk (%91.1), bütünlük (%92.2) ve F-ölçüsü (%91.6) değerleri, eşleme performansı ve Uygulama 1'den elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında önerilen çok aşamalı yöntemin, navigasyon, posta verisi

entegrasyonu, veri g¼ncelleme gibi hassas eşleme s¼reçlerinde kullanılabileceği s¼ylenbilir.



Bu tez çalışmasında, eşleme işleminin kavramsal model oluşturulmuştur. Burada, eşleme işleminin veri entegrasyonundaki yeri, rolü ve işlevi gösterilmiştir. Bu sayede, “eşleme” kavramı daha iyi anlaşılabilir olacaktır. Bununla birlikte, bu tez çalışmasının başlıca özgün değeri, çizgisel yol nesnelerinin eşlenmesinde kullanılabilir, etki oranına dayalı ve çok aşamalı iki eşleme yönteminin geliştirilmiş olmasıdır.

Eşleme aday nesnelerin ve kesin eşlerin belirlenmesi, nesneler arasındaki benzerliklerin belirlenmesine bağlıdır. Benzerlikler ne kadar fazlaysa eşleme işlemi o kadar ikirciksiz (kararlı) bir biçimde gerçekleştirilir. Bazı verisetleri arasında düzenli ya da düzensiz konumsal sapmalar olabilmektedir. Konumsal sapmalar nesneler arasındaki benzerlikleri olumsuz etkilemektedir. Bu durumlarda, eşleme işlemi öncesinde verisetlerindeki nesneler hizalanmalıdır. Bu çalışmada, diğer dönüşüm yöntemlerine göre yol nesnelerini birbirine daha çok yaklaştırdığı için lineer rubber-sheet dönüşüm yöntemi hizalama yöntemi olarak seçilmiştir. Hizalama işlemi, etki oranına dayalı eşleme yönteminde bir ön işlem olarak kullanılırken, çok aşamalı eşleme yönteminde bütünleşik olarak gerçekleştirilmektedir.

Yol nesneleri arasındaki benzerliklerin belirlenmesi için kullanılacak geometrik ve topolojik ölçüler üzerine de araştırmalar yapılmıştır. Çizgisel yol nesnelerinin arasındaki benzerliklerin belirlenmesi için önerilen ölçüler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Eşleme adaylarının belirlenmesi için literatürde de önerilen Hausdorff mesafesi kullanılmıştır.

Çizgi eşlemesinde doğrultu ölçüsünün kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Tek bir doğrultu eşik değeri yerine, doğrultu sınıfları kullanılmıştır. Böylece iki eşleme adayı çizginin, tamamen aynı doğrultuda olmasalar bile, eşlenmesi sağlanmıştır.

Aynı gerçek dünya varlığını temsil eden çizgilerin benzer kıvrımlılığa sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada kıvrımlılık ölçüsü de benzerliklerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Kıvrımlılık değerleri için de bir eşik değer kullanmak yerine az, orta ve çok kıvrımlı olmak üzere üç sınıf kullanılmıştır. Bu üç sınıfın belirlenmesi için varyansa dayalı bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, yaygın olarak kullanılan mevcut sınıflandırma yöntemleri ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca, kıvrımlılık ölçüsüne benzer bir ölçü olarak, dik mesafelerin ortalaması önerilmiştir. Bu ölçü, bir çizginin kendi ekseninden ne kadar saptığını göstermektedir. Her iki ölçü de kıvrımlı yolların karakteristiğini belli aralıklara göre tespit ettiği için, tüm verisetindeki çizgilerin aynı aralıkta yer aldığı durumda, eşleme işleminde etkisiz kalacaklardır. Örneğin, düz yollardan oluşan hücreli desenli (ızgara) yol ağlarında eşleme işlemi için kullanılacak kıvrımlılık ölçü değeri tüm yollar için “Az” olurken, benzerlik puanı tüm eşleme adayları için maksimum olacaktır. Başka bir deyişle, tüm eşleme adayları aynı kıvrımlılık sınıfında yer alacağından, bu ölçünün eşleme işleminin başarısına bir katkısı olmayacaktır. Ancak, gerçekleştirdiğimiz uygulamadaki gibi hücreli yolların bir bölümü düz çizgilerden, bir bölümü kıvrımlı yollardan oluşuyorsa, bu ölçüler yöntemin başarısını artırmaktadır.

Çalışmada ayrıca çizgi nesnelerin yakınlık durumlarını tespit etmeye yönelik bir ölçü önerilmiştir. Bu ölçü, çizgilerin ağırlık merkezlerine dayalı oluşturulan TIN modeldeki her noktanın kendisine bağlanan komşu üçgen kenarlarının ortalama mesafesini göstermektedir. Her ne kadar dik mesafelerin ortalaması ve üçgen kenarlarının ortalama mesafesi diğer ölçülere göre düşük doğruluğa sahip olsa da, nesneler arasındaki benzerlikleri kendilerine özgü yaklaşımlarla tespit etmektelerdir. Örneğin, geometrik ölçülerden sadece biri (üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu), bir nesnenin aynı verisetindeki diğer nesnelerle arasındaki yakınlık ilişkisini göstermektedir.

Bu tez çalışmasında ayrıca topolojik ölçüler de incelenmiş ve düğüm noktalarına göre belirlenen klasik bağlanma derecesinin yerine, doğrudan çizgileri referans alarak hesaplanan çizgisel bağlanma derecesinin kullanılması önerilmiştir. Bu ölçü, kısaca, çizgilere bağlanan çizgi sayısını göstermektedir.

Önerilen tüm ölçüler kullanılarak farklı desenli yollarda bir dizi eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçüler, eşleme işlemlerindeki rollerine (eşleme başarısına katkılarına) göre genel olarak şöyle sıralanabilir: Hausdorff mesafesi, doğrultu, çizgisel bağlanma derecesi, kıvrımlılık, üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu ve dik mesafelerin ortalaması. Etki oranına dayalı yöntem, her bir ölçü için etki oranını, referans aldığı verisetlerine dayalı olarak belirlediği için, ölçülerin desen türüne göre doğrulukları bu yöntemde dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, çok aşamalı yöntemde ölçülerin doğruluk sıralaması dikkate alınmıştır. Özellikle her bir aşamada kullanılacak ölçüler ve eşik değerler tespit edilirken bu sıralama ve eşleme süreçlerinde edinilen gözlem ve deneyimler belirleyici olmuştur.

Önerilen benzerlik puanları, birbirinden farklı geometrik ve topolojik ölçülerin, nesneler arasındaki benzerliklerin aynı birimde tespit edilebilmesini sağlamıştır. Benzerlik puanları, bu tez çalışmasında geliştirilen her iki yöntemde de kullanılmaktadır.

Kaynağı aynı olan farklı verisetlerinde eşleme işlemini gerçekleştirmek için karmaşık algoritmalara gerek yoktur. Çünkü eşlenecek nesneler arasındaki farklılık minimumdur. Diğer bir ifadeyle, eşlenecek nesneler çok benzerdir. Bir eşleme yönteminin başarısı, kaynağı farklı olan verisetlerinde en iyi şekilde tespit edilebilir. Bu tez çalışmasında geliştirilen yöntemler, farklı kurumlarda (İBB, TomTom, Başarsoft ve OSM) üretilen yol ağlarıyla test edilmiştir.

Etki oranlarına dayalı yöntemin test edildiği uygulamanın sonuçlarından, yöntemin hassas eşleme işlemine ihtiyaç duyulmayan özel amaçlı uygulamalarda tercih edilebileceği anlaşılmıştır. Bu yöntem, navigasyon, posta verisi entegrasyonu, veri güncelleme gibi hassas eşleme süreçlerinde tercih edilmemelidir.

Herhangi bir eşleme çalışmasında bir eşleme yöntemi seçilirken, küçük örneklemeler üzerinden doğruluk analizi gerçekleştirilir ve yöntemin uygulanacak verisetine uygun olup olmadığı araştırılır. Yöntem belirleme sürecinde çok sayıda nesneden oluşan verisetleri için çok sayıda örnekleme ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu durum, doğruluk analizi manuel eşleme sonuçlarına göre yapıldığı için, yöntem belirleme sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Ancak, bir yöntemin daha önceden test edildiği bir yol deseni için, bu ön işleme gerek duyulmayabilir. Bu amaç

doğrultusunda, bu tez çalışmasında geliştirilen çok aşamalı eşleme yöntemi, dört farklı veri sağlayıcısından temin edilen verisetlerindeki farklı desenlere sahip yol ağlarıyla test edilmiştir.

Etki oranına dayalı yöntemle aynı benzerlik puanlarının kullanıldığı çok aşamalı yöntemde beş aşama bulunmaktadır. Gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları değerlendirildiğinde, önerilen bu kural-temelli otomatik yöntemin bazı avantajlarının olduğu görülmektedir. Yöntem noktasal, çizgisel ve alansal ölçüleri birlikte kullanmaktadır. Bu ölçülerden ikisi (dik mesafelerin ortalaması ve üçgen kenarlarının ortalama uzunluğu) ilk kez, üçü (doğrultu, kıvrımlılık, ve çizgisel bağlanma derecesi) ise yeniden tanımlanarak bu tez çalışmasında geliştirilen yöntemlerde kullanılmıştır. β parametresinin (Li ve Goodchild 2011) uyarlanarak çok aşamalı yöntemde dâhil edilmesiyle, kesin eşlerden uzunluk bakımından birbirlerine daha benzer yol çizgilerinin seçilmesi ve bunlardan türetilen kontrol noktalarına dayalı olarak lineer rubber-sheet dönüşüm yöntemiyle olabildiğince doğru bir şekilde hizalanması sağlanmıştır. Ayrıca, doğru eşleme sayısını artırmak için, örtüşme oranı (Fan vd. 2016) da uyarlanmış ve yöntemin son aşamasına dâhil edilmiştir. Ağaç ve karma desenli yol ağlarının eşlenmesinde yanlış eşlenen yollar ortaya çıkmış olmasına rağmen, hücreli desenli yol ağlarının eşlenmesinde yanlış eşlenen yollar ortaya çıkmamıştır. Sonuç olarak, tüm yol desenlerinde yüksek doğruluk elde edilmiştir. Diğer istatistiksel ölçü olan bütünlük açısından değerlendirildiğinde ise elde edilen sonuçların çalışma amacına göre oldukça yeterli olduğu ifade edilebilir.

Çok aşamalı yöntem, çok sayıda nesneden oluşan verisetleriyle de test edilmiştir. Gerçekleştirilen tüm uygulamaların sonuçları değerlendirildiğinde, yöntemin; navigasyon, posta verisi entegrasyonu, veri güncelleme gibi hassas eşleme süreçlerinde tercih edilebileceği; kamu, özel ve gönüllü veri sağlayıcıların verileriyle de kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Çok aşamalı eşleme yöntemi, düzensiz yapıdaki (ağaç ve karma desenli) yol ağlarında, düzenli yapıdaki (hücreli desenli) yol ağlarına kıyasla daha fazla eksik eşleme gerçekleştirmiştir. Yöntem, dörtyol, kavşak, dönel kavşak gibi yol

kesişimlerine özgü küçük parçalardan oluşan yol çizgilerini ve çok uzun bir yol çizgisi ile küçük bir yol çizgisini doğru eşleme konusunda zorlanmıştır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen iki yöntem de herhangi bir semantik bilgi kullanmamaktadır. Diğer bir ifadeyle, yol isimlerinin bile bilinmediği durumlarda çizgisel yol nesnelerini eşleme işlemini gerçekleştirmektedirler. Yöntemlerin yetersiz olduğu durumlar ileriki çalışmaların konusunu belirlemiştir. Eşleme konusunda yapılacak gelecek çalışmaların farklı kavşak karakteristiklerinin incelenmesi ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



A

Manuel Eşleme

Bu tez çalışmasında geliştirilen yöntemlerin doğruluklarının belirlenmesi için tüm yol desenlerinde manuel olarak eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağaç, hücresel ve karma desenli yol ağlarındaki ilk yirmi manuel eşleme, sırasıyla Tablo A.1, Tablo A.2 ve Tablo A.3'te gösterilmektedir. Manuel eşleme sonuçlarının tümüne Müslüm Hacı'ın akademik sayfasından erişilebilmektedir (Avesis: Müslüm Hacı 2019).

Tablo A.1 Ağaç desenli yol ağlarının manuel olarak eşlenmesi.

İBB Yol_ID	Başarsoft Yol_ID
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	7
7	8
8	9
9	18
10	10
12	11
13	11
15	7
16	12
17	13
18	14
19	15
20	17
21	16

Tablo A.2 Hücresel desenli yol ağlarının manuel olarak eşlenmesi.

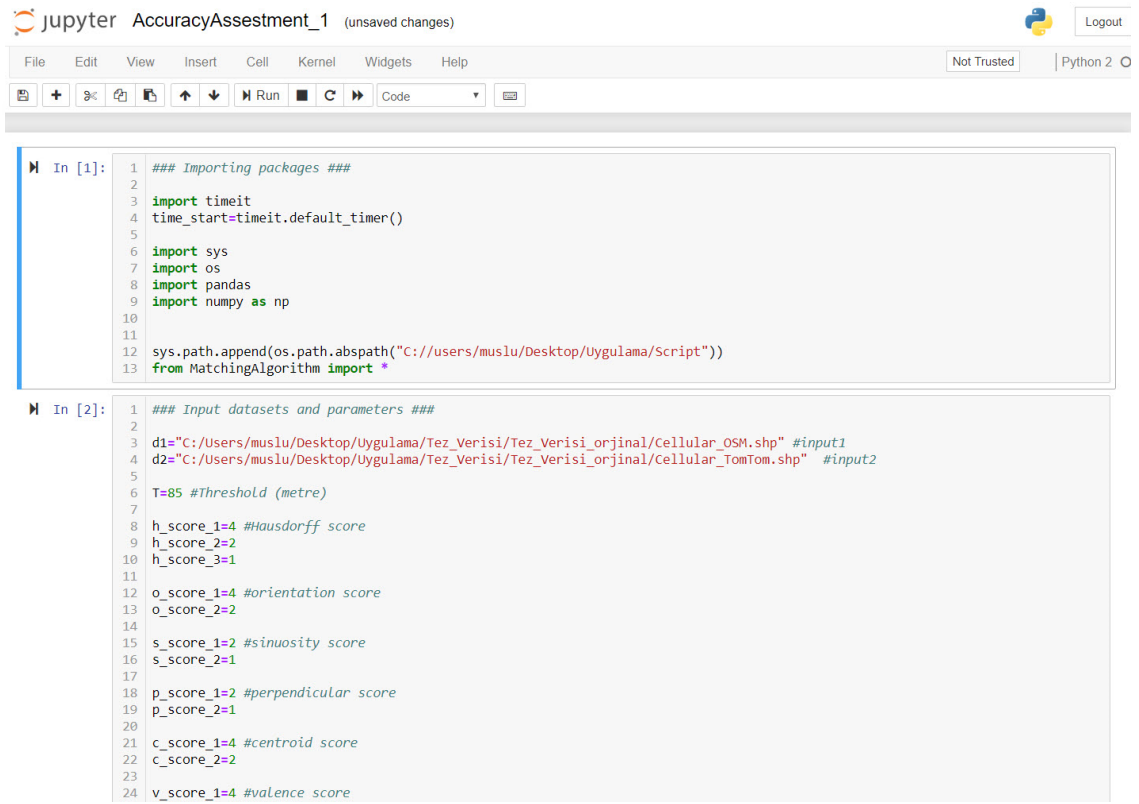
OSM Yol_ID	TomTom Yol_ID
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	16
16	17
17	15
18	18
19	19

Tablo A.3 Karma desenli yol ağlarının manuel olarak eşlenmesi.

OSM Yol_ID	TomTom Yol_ID
0	18
2	1
3	0
4	1
6	2
7	3
8	29
9	4
10	5
11	6
12	7
13	8
14	10
15	9
16	11
18	12
19	13
20	14
21	15
22	54

Yöntemlerin Python Programlama Diliyle Kodlanması

Yöntemlerin Python programlama dilindeki kodlarına Müslüm Hacar'ın akademik sayfasından erişilebilmektedir (Avesis: Müslüm Hacar 2019). Jupyter Notebook'ta kodların düzenlenmesini sağlayan arayüz ve kodların bir kısmı Şekil B.1'de görülmektedir.



```

jupyter AccuracyAssessment_1 (unsaved changes)
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Not Trusted Python 2
In [1]: 1 ## Importing packages ##
2
3 import timeit
4 time_start=timeit.default_timer()
5
6 import sys
7 import os
8 import pandas
9 import numpy as np
10
11
12 sys.path.append(os.path.abspath("C:/users/muslu/Desktop/Uygulama/Script"))
13 from MatchingAlgorithm import *

In [2]: 1 ## Input datasets and parameters ##
2
3 d1="C:/Users/muslu/Desktop/Uygulama/Tez_Verisi/Tez_Verisi_orjinal/Cellular_OSM.shp" #input1
4 d2="C:/Users/muslu/Desktop/Uygulama/Tez_Verisi/Tez_Verisi_orjinal/Cellular_TomTom.shp" #input2
5
6 T=85 #Threshold (metre)
7
8 h_score_1=4 #Hausdorff score
9 h_score_2=2
10 h_score_3=1
11
12 o_score_1=4 #orientation score
13 o_score_2=2
14
15 s_score_1=2 #sinuosity score
16 s_score_2=1
17
18 p_score_1=2 #perpendicular score
19 p_score_2=1
20
21 c_score_1=4 #centroid score
22 c_score_2=2
23
24 v_score_1=4 #valence score
  
```

Şekil B.1 Jupyter Notebook arayüzü ve doğruluk analizi için yazılan kodların bir bölümü.

C

Uygulama Sonuçları

Etki oranına dayalı yöntemle ağaç desenli yol ağında ve çok aşamalı yöntemle ağaç, hücreli ve karma desenli yol ağlarında gerçekleştirilen eşleme işleminin sonuçları (ilk yirmi eşleme), sırasıyla Tablo C.1, Tablo C.2, Tablo C.3 ve Tablo C.4'te gösterilmektedir. Eşleme sonuçlarının tümüne, Müslüm Hacıoğlu'nun akademik sayfasından erişilebilmektedir (Avesis: Müslüm Hacıoğlu 2019).

Tablo C.1 Etki oranına dayalı yöntemle ağaç desenli yol ağlarının eşlenmesi.

İBB Yol_ID	Başarsoft Yol_ID
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	7
7	8
8	9
10	10
11	10
12	11
13	11
16	12
17	13
18	14
19	15
20	17
21	16
22	16

Tablo C.2 Çok aşamalı yöntemle ağaç desenli yol ağlarının eşlenmesi.

İBB Yol_ID	Başarsoft Yol_ID
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	7
7	8
8	9
10	10
12	11
13	11
16	6
17	13
18	14
19	15
20	17
21	16
22	21
24	20

Tablo C.3 Çok aşamalı yöntemle hücresel desenli yol ağlarının eşlenmesi.

OSM Yol_ID	TomTom Yol_ID
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	16
16	17
17	15
18	18
19	19

Tablo C.4 Çok aşamalı yöntemle karma desenli yol ağlarının eşlenmesi.

OSM Yol_ID	TomTom Yol_ID
0	18
1	11
2	1
3	0
6	2
7	3
8	29
9	4
10	5
11	6
12	7
13	8
14	10
15	9
18	12
19	13
20	14
21	15
22	54
23	16

- Arkin, E. M., Chew, L. P., Huttenlocher, D. P., Kedem, K., & Mitchell, J. S. (1991). An efficiently computable metric for comparing polygonal shapes. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(3), 209-226.
- Avesis (2019). Müslüm Hacı akademik web sayfası: Duyurular&Dökümanlar. Çevrimiçi bağlantı: <http://avesis.yildiz.edu.tr/mhacar/dokumanlar> (Erişim tarihi 11 Nisan 2019)
- Başaraner, M. (2011). A zone-based iterative building displacement method through the collective use of Voronoi tessellation, spatial analysis and multicriteria decision making. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17(2), 161-187.
- Başçıftçı, F., & İnal, C. (2008). Jeodezide Kullanılan Bazı Koordinat Dönüşümlerinin Programlanması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1): 27-40.
- Bildirici, İ. Ö. (2004). *Analitik Kartografya*. Lisansüstü Ders Notu, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Cobb, M. A., Chung, M. J., Foley III, H., Petry, F. E., Shaw, K. B., & Miller, H. V. (1998). A rule-based approach for the conflation of attributed vector data. *GeoInformatica*, 2(1), 7-35.
- Corcoran, P., Mooney, P., & Bertolotto, M. (2013). Analysing the growth of OpenStreetMap networks. *Spatial Statistics*, 3, 21-32.
- Çobankaya, O.N., & Uluğtekin, N. (2014). Çoklu gösterim veritabanlarında güncelleme: model genelleştirme ve obje eşleştirme aşaması, *Harita Dergisi*, 80(152), 25-39.
- Douglas, D. H., & Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *Cartographica: the international journal for geographic information and geovisualization*, 10(2), 112-122.
- Doytsher, Y., Filin, S., & Ezra, E. (2001). Transformation of datasets in a linear-based map conflation framework. *Surveying and Land Information Systems*, 61(3), 159-169.
- ESRI (2011). *ArcGIS desktop: release 10*. Environmental Systems Research Institute, Redlands, Kaliforniya, ABD.
- ESRI (2019). How Natural Neighbor Works. Çevrimiçi bağlantı: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm> (Erişim tarihi 30 Mart 2019).
- Fan, H., Yang, B., Zipf, A., & Rousell, A. (2016). A polygon-based approach for matching OpenStreetMap road networks with regional transit authority data. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(4), 748-764.

- Flowerdew, R. (1992). *Spatial Data Integration*, in Geographic Information Systems: 1 eds by Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. Principles. Longman: 375-387.
- Foley, H., & Petry, F. (2000). Fuzzy knowledge-based system for performing conflation in geographical information systems. In *Intelligent Problem Solving. Methodologies and Approaches*; Logananthara, R., Palm, G., Ali, M., Eds.; IEA/AIE 2000; *Lecture Notes in Computer Science*; Springer: Heidelberg, Berlin, 2000; 1821, pp. 260-269.
- Hacar, M. (2015). *Mekânsal veri altyapılarında geometrik entegrasyon*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Hacar, M., & Gökgöz, T. (2016). An experiment on distance metrics used for road matching in data integration. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences*, 34(4), 527-542.
- Hacar, M., & Gökgöz, T. (2016). The complexities of matching İstanbul Metropolitan Municipality road data with OpenStreetMap data. *INSPIRE Conference 2016*, Barselona, İspanya, 26-30 Eylül 2016.
- Hacar, M., & Gökgöz, T. (2017). Determining transformation method for the alignment process of road matching. *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences*, Çanakkale, 18-21 Ekim 2017; pp.78-78.
- Hacar, M., & Gökgöz, T. (2018). Usage of variance in determination of sinuosity intervals for road matching. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(5), 779-786.
- Hacar, M., Kılıç, B., & Şahbaz, K. (2018). Analyzing OpenStreetMap road data and characterizing the behavior of contributors in Ankara, Turkey. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 400.
- Hacar, M., & Gökgöz, T. (2019). A New, Score-Based Multi-Stage Matching Approach for Road Network Conflation in Different Road Patterns. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 81.
- Hackelöer, A. (2016). *Conflation of Road Networks from Digital Maps*. Doktora Tezi, Technische Universität München, Münih, Almanya.
- Hamming, R. W. (1950). Error detecting and error correcting codes. *The Bell System Technical Journal*, 29(2), 147-160.
- Hardy, R. L. (1971). Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 76(8): 1905-1915.
- Haunert, J.H. (2005). Link based conflation of geographic datasets. In *Proceedings of the 8th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Coruña, İspanya, 7-8 Temmuz 2005.
- Hausdorff, F. (1918). Dimension und äußeres Maß. *Mathematische Annalen*, 79(1-2), 157-179.

- Haynes, R., Jones, A., Kennedy, V., Harvey, I., & Jewell, T. (2007). District variations in road curvature in England and Wales and their association with road-traffic crashes. *Environment and Planning A*, 39(5), 1222-1237.
- Jones, C. B., & Ware, J. M. (1998). Proximity search with a triangulated spatial model. *The Computer Journal*, 41(2), 71-83.
- Kang, B., Scully, J. Y., Stewart, O., Hurvitz, P. M., & Moudon, A. V. (2015). Split-Match-Aggregate (SMA) algorithm: integrating sidewalk data with transportation network data in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(3), 440-453.
- Kim, J. O., Yu, K., Heo, J., & Lee, W. H. (2010). A new method for matching objects in two different geospatial datasets based on the geographic context. *Computers & Geosciences*, 36(9), 1115-1122.
- Kluyver, T., B. Ragan-Kelley, F. Pérez, B. Granger, M. Bussonnier, J. Frederic, K. Kelley, vd. (2016). Jupyter Notebooks – a Publishing Format for Reproducible Computational Workflows. Positioning and Power in Academic Publishing: Players, Agents and Agendas: *Proceedings of the 20th International Conference on Electronic Publishing*, 87–90, Göttingen.
- Koukoletsos, T., Haklay, M., & Ellul, C. (2012). Assessing data completeness of VGI through an automated matching procedure for linear data. *Transactions in GIS*, 16(4), 477-498.
- Li, L., & Goodchild, M. F. (2011). An optimisation model for linear feature matching in geographical data conflation. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(4), 309-328.
- López-Vázquez, C., & Manso Callejo, M. A. (2013). Point-and curve-based geometric conflation. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(1), 192-207.
- Lunde, K. (2005). *Geographical and syntactical integration of Geospatial Data*. Yüsek Lisans Tezi, Østfold University College, Halden, Norveç.
- Lupien, A., & Moreland, W. (1987). A general approach to map conflation. In *Proceedings of the Autocarto 8*, Baltimore, MD, ABD, 29 Mart–3 Nisan 1987; pp. 630–639.
- Lynch, M., & Saalfeld, A. (1985). In *Proceedings of the Autocarto 7*, Washington, DC, ABD, 11–14 Mart 1985; pp. 343–352.
- Marshall, S. (2005). *Streets and Patterns*. Routledge: Londra, Birleşik Krallık.
- McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. In *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, edited by S. van der Walt, J. Millman pp. 51–56.
- Mueller, J. E. (1968). An introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indexes. *Annals of the Association of American Geographers*, 58(2), 371-385.
- Mustière, S., & Devogele, T. (2008). Matching networks with different levels of detail. *GeoInformatica*, 12(4), 435-453.

- Neis, P., & Zipf, A. (2012). Analyzing the contributor activity of a volunteered geographic information project—The case of OpenStreetMap. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 1(2), 146-165.
- Oliphant T. E. (2006) . *A guide to NumPy*, ABD: Trelgol Publishing.
- Pérez, F., & Granger, B. E. (2007). IPython: a system for interactive scientific computing. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 21-29.
- Pourabdollah, A., Morley, J., Feldman, S., & Jackson, M. (2013). Towards an authoritative OpenStreetMap: conflating OSM and OS OpenData national maps' road network. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3), 704-728.
- Python Software Foundation. Python Language Reference, sürüm 2.7. Çevrimiçi bağlantı: <http://www.python.org> (Erişim tarihi 30 Mart 2019).
- Rahimi, S., Cobb, M., Ali, D., Paprzycki, M., & Petry, F. (2002). A knowledge-based multi-agent system for geospatial data conflation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 6(2), 67-81.
- Rosen, B., & Saalfeld, A. (1985). Match criteria for automatic alignment. In *Proceedings of the Autocarto 7*, Washington, DC, ABD, 11-14 Mart 1985; pp. 1-20.
- Ruiz, J. J., Ariza, F. J., Urena, M. A., & Blázquez, E. B. (2011). Digital map conflation: a review of the process and a proposal for classification. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(9), 1439-1466.
- Saalfeld, A. (1985). A fast rubber-sheeting transformation using simplicial coordinates. *The American Cartographer*, 12(2), 169-173.
- Saalfeld, A. (1988). Conflation automated map compilation. *International Journal of Geographical Information System*, 2(3), 217-228.
- Samal, A., Seth, S., & Cueto 1, K. (2004). A feature-based approach to conflation of geospatial sources. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(5), 459-489.
- Song, W., Keller, J. M., Haithcoat, T. L., & Davis, C. H. (2011). Relaxation-based point feature matching for vector map conflation. *Transactions in GIS*, 15(1), 43-60.
- Şen, A. (2013). *Kartografik genelleştirmede seçme/eleme işlemi için yapay zekâ yöntemlerinin akarsu ağlarına uygulanabilirliği*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tong, X., Shi, W., & Deng, S. (2009). A probability-based multi-measure feature matching method in map conflation. *International Journal of Remote Sensing*, 30(20), 5453-5472.
- Transport Infrastructure, 2019. National Road Network Sinuosity Index: Ireland. Çevrimiçi bağlantı: <https://data.gov.ie/dataset/national-road-network-sinuosity-index> (Erişim tarihi 30 Mart 2019).
- TSE, 2013. *TS 7249 Şehir İçi Yollar-Boyutlandırma ve Tasarım Esasları*. Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Ankara.

- Veltkamp, R. C. (2001, Mayıs). Shape matching: Similarity measures and algorithms. In *Proceedings International Conference on Shape Modeling and Applications* (pp. 188-197). IEEE.
- Volz, S. (2006). An iterative approach for matching multiple representations of street data. In *Proceedings of the ISPRS Workshop on Multiple Representation and Interoperability of Spatial Data*, Hannover, Almanya, 22–24 Şubat 2006, 36(Part 2/W40), pp. 101–110.
- Walter, V., & Fritsch, D. (1999). Matching spatial data sets: a statistical approach. *International Journal of geographical information science*, 13(5), 445-473.
- Xavier, E., Ariza-López, F. J., & Ureña-Cámara, M. A. (2016). A survey of measures and methods for matching geospatial vector datasets. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 49(2), 39.
- Xavier, E. M. (2017). *Automatic evaluation of geospatial data quality using web services*. Doktora Tezi, Universidad de Jaén, Jaén, İspanya.
- Xiong, D., & Sperling, J. (2004). Semiautomated matching for network database integration. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote sensing*, 59(1-2), 35-46.
- Yanalak, M. (1997). *Sayısal arazi modellerinden hacim hesaplarında en uygun enterpolasyon yönteminin araştırılması*. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yanalak, M., Ipbuker, C., Coskun, M. Z., & Bildirici, I. O. (2005). New local transformation method: Non-sibsonian transformation. *Journal of Surveying Engineering*, 131(1), 1-8.
- Yang, B., Luan, X., & Zhang, Y. (2014). A Pattern-Based Approach for Matching Nodes in Heterogeneous Urban Road Networks. *Transactions in GIS*, 18(5), 718-739.
- Yuan, S., & Tao, C. (1999). Development of conflation components. In *Proceedings of the Geoinformatics'99 Conference*, Ann Arbor, MI, ABD, 19–21 Haziran 1999; pp. 1–13.
- Zhang, M., & Meng, L. (2007). An iterative road-matching approach for the integration of postal data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(5), 597-615.
- Zhao, P., Jia, T., Qin, K., Shan, J., & Jiao, C. (2015). Statistical analysis on the evolution of OpenStreetMap road networks in Beijing. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 420, 59-72.
- Zhu, X. (2016). *GIS for environmental applications: a practical approach*. Routledge: Londra, Birleşik Krallık.

İletişim Bilgisi: mhacar@yildiz.edu.tr

Makaleler

1. Hacı, M., & Gökğöz, T. (2019). A New, Score-Based Multi-Stage Matching Approach for Road Network Conflation in Different Road Patterns. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 81.
2. Hacı, M., & Gökğöz, T. (2018). Usage of Variance in Determination of Sinuosity Intervals for Road Matching. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(5), 779-786.

Konferans Bildirileri

1. Hacı, M., & Gökğöz, T. (2017). Determining Coordinate Transformation Method for the Preprocess of Road Matching. *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences*, Çanakkale, 18-21 Ekim 2017.
2. Hacı, M., & Gökğöz T. (2016). The Complexities of Matching İstanbul Metropolitan Municipality Road Data with OpenStreetMap Data. *INSPIRE Conference 2016*, Barselona, İspanya, 26-30 Eylül 2016.