

**TRAFİK AĞLARINDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ
ROTA PLANLAMASI**

Sinem BOZKURT
Yüksek Lisans Tezi

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak-2013

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Sinem BOZKURT'un “**Trafik Ağlarında Çok Ölçütlü Rota Planlaması**” başlıklı **Bilgisayar Mühendisliği** Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 17/01/2013 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı - Soyadı		İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Serkan GÜNAL	
Üye (II. Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Ahmet YAZICI	
Üye	: Doç. Dr. Yusuf OYSAL	
Üye	: Doç. Dr. Cüneyt AKINLAR	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Metin ÖZKAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
TRAFİK AĞLARINDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ ROTA PLANLAMASI

Sinem BOZKURT
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Serkan GÜNAL
II. Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Ahmet YAZICI

2013, 74 sayfa

Bu tez çalışmasında, çok ölçütlü rota planlama için gerçek maliyet fonksiyonlarının yanı sıra A* arama algoritmasının kullanacağı bir sezgisel fonksiyon tanımlanmaktadır. Uygulamada trafik ağı için seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütleri göz önüne alınmaktadır. Ayrıca kullanıcı tercihleri ve karar stratejileri de Analitik Sıradüzen Süreci ve Sıralı Ağırlıklı Ortalama yöntemleri kullanılarak rota planlamasına dâhil edilmektedir. Farklı test ortamları kullanılarak, çok ölçütlü rota planlama algoritmalarının fonksiyonellik ve başarımları testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testlerden Tomtom navigasyon yazılımından elde edilen verilerden seyahat süresi ve mesafe ölçütleri için mevcut sayısal değerler kullanılırken güvenlik ve yakıt tüketimi için de modeller önerilmektedir. Yapılan testlerde, çok ölçütlü rota planlamadan, sezgisel kullanıldığı takdirde, diğer rota planlama algoritmalarına göre bellek kullanımı açısından %55'e varan iyileşmeler sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemleri, Çok Ölçütlü Rota Planlama, Rota Planlama, A* Arama Algoritması, Dijkstra Algoritması, Sürücü Tercihleri, Karar Stratejileri

ABSTRACT
Master of Science Thesis

MULTICRITERIA ROUTE PLANNING IN TRAFFIC NETWORKS

Sinem BOZKURT

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Computer Engineering Program**

Supervisor: Yard. Doç. Dr. Serkan GÜNAL

Co-supervisor: Yard. Doç. Dr. Ahmet YAZICI

2013, 74 pages

In this study, a heuristic function that used by A* search algorithm is defined as well as real cost functions for multicriteria route planning. In practice, travel time, distance, safety and fuel consumption criteria are considered for traffic network. Additionally, user preferences and decision-making strategies using Analytic Hierarchy Process and Ordered Weighted Averaging methods have been included in route planning. Using different test environments, multicriteria route planning algorithms are implemented functionality and performance tests. In these tests, models for safety and fuel consumption are proposed as well as current numerical values for travel time and distance that obtained from Tomtom navigation software are used. In tests, multicriteria route planning algorithms are provided up to %55 improvements in terms of memory usage from other route planning algorithms when using a heuristic.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Multicriteria Route Planning, Route Planning, A* Search Algorithm, Dijkstra Algorithm, Driver Preferences, Decision-Making Strategy

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan tez danışmanlarım Sayın Yard. Doç. Dr. Ahmet YAZICI'ya ve Sayın Yard. Doç. Dr. Serkan GÜNAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda ortam modellenmesinde kullandığım verileri sağlayan Infotech Bilişim ve İletişim Teknolojileri A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Aynı zamanda tez çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarım Züher KAZANCI, Kemal KESKİN ve Burak URAZEL'e sonsuz teşekkür ederim.

Sinem BOZKURT

Ocak, 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ	1
2.ÇOK ÖLÇÜTLÜ ROTA PLANLAMA	6
2.1. Çok Ölçütlü Rota Planlamada Etkili Olan Parametreler	7
2.2.Farklı Tipteki Ölçütlerin Bir Araya Getirilmesi	9
2.2.1.Kullanıcı Tercihlerinin Dahil Edilmesi	10
2.2.2.Kullanıcı Karar Stratejilerinin Dahil Edilmesi	15
2.3. Rota Planlama Algoritmaları	17
3.ÖNERİLEN YÖNTEM	20
3.1. Başlatma	21
3.2. Ölçütlerin Tanımlanması ve Normalizasyonu	22
3.3. Kullanıcı Tercihlerinin Dikkate Alınması	26
3.4. Kullanıcı Karar Stratejilerinin Dikkate Alınması	27
3.5. Her Bir Ayrıtın Maliyet Hesabı.....	27

3.6. Rota Planlama.....	27
3.6.1. Başlangıç Düğümünden Bulunan Düğüme Olan Gerçek Maliyet (g(n)) Hesabı.....	28
3.6.2. Bulunan Düğümden Hedef Düğüme Olan Sezgisel Maliyet (g(n)) Hesabı.....	28
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	31
4.1. Küçük Ortam Testi.....	31
4.2. Büyük Ortam Testi	35
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR.....	42
EK-Bir başlangıç noktasından çizgedeki diğer tüm düğümlere olan rota hesabının Dijkstra ve A* algoritmaları ile bellek kullanımı açısından karşılaştırılması.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1.Dijkstra algoritması kaba kodu.....	18
3.1. Uygulanan yöntemeye ait akış diyagramı.....	21
3.2. Yol güvenliği modelinin tanımlandığı akış şeması.....	23
3.3. A* algoritması kaba kodu.....	30
4.1. Küçük test ortamı gösterimi.....	31
4.2. Test ortamının çizge gösterimi.....	32
4.3. Kış koşullarındaki en güvenli rota.....	33
4.4.Yaz koşullarındaki en güvenli rota.....	33
4.5. Kış koşullarındaki en hızlı rota.....	34
4.6. Kış koşullarındaki en güvenli ve en hızlı rota.....	34
4.7. Kış koşullarındaki en güvenli ve en hızlı rota.....	35
4.8.Büyük test ortamı gösterimi.....	36
4.9. Büyük test ortamı çizge gösterimi.....	36
4.10.Test ortamında seçilen beş düğümün gösterimi.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Ölçütler yol, araç ve insan olmak üzere üç sınıfa ayrılır.....	8
2.2. Yol sınıfına ait alt ölçütler.....	8
2.3.İkili karşılaştırmalar matrisi için değerlendirme skalası.....	11
2.4. RI değerleri	14
2.5. α değerleri.....	16
3.1. Fonksiyonel yol sınıfı	23
3.2. Yol formu.....	23
3.3. Ölçütlerin normalizasyonu.....	25
4.1. Büyük ortam için yapılan test sonuçları 1	38
4.2. Büyük ortam için yapılan test sonuçları 2	38
4.3. Büyük ortam için yapılan test sonuçları 3	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
RYS	: Rota Yönlendirme Sistemleri (Route Guidance Systems)
RPS	: Rota Planlama Sistemleri (Route Planning Systems)
AHP	: Analitik Sıradüzen Süreci (Analytic Hierarchy Process)
TSK	: Takagi-Sugeno-Kang
OWA	: Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Ordered Weighted Averaging)
ANP	: Analitik Şebeke Süreci (Analytic Network Process)
CR	: Tutarlılık Oranı
λ	: Temel Değer
CI	: Tutarlılık Göstergesi
VSP	: Araç Özgül Güç (Vehicle Specific Power)

1.GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve sürekli artan nüfus ile birlikte motorlu taşıtlar hayatımızda gittikçe artan bir şekilde yer edinmektedir. Yaşantımızı kolaylaştırmalarına karşın ulaşım problemlerini de beraberinde getirmektedir. Ulaşımındaki bu problemleri gidermek amacıyla alt yapısal iyileştirmelerin yanında bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanılarak farklı çözümler üretilmektedir. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ulaşım sorunlarını çözmek amacıyla bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanmaktadır [1]. Bu yolla ulaşımında güvenliğin artırılması, trafik sıkışıklığında harcanan zaman ve yakıt tüketiminin azaltılması, sistem işletme maliyetlerinin azaltılması, zararlı çevresel etkileri olan gazların azaltılması, rota yönlendirme vb. alanlarda iyileştirmeler yapılabilir [1].

AUS’da Rota Yönlendirme Sistemleri (Route Guidance Systems) önemli bir yere sahiptir [2]. Rota Yönlendirme Sistemleri (RYS), seyahate başlamadan önce seçilecek rotanın, harekete başlama zamanının belirlenmesinde, seyahat sırasında ise sürücülerini kaza, trafik tıkanıklığı, kötü hava koşulları vb. önceden tespit edilemeyen durumlara karşı uyararak seçilen rotanın doğru olup olmadığı hakkında bilgiler vermektedir [3]. Böylece sürücünün bulunduğu konumdan, varacağı hedef noktaya en uygun şekilde ulaşmasını sağlar. Trafik ağlarında artan trafik yoğunluğu ile birlikte bir noktadan diğer bir noktaya gidilebilecek yol alternatifleri artmaktadır. İstenilen hedef noktaya en kısa yol, en kısa zaman, en güvenli veya en az yakıt tüketimi, vb. ölçütler kullanılarak alternatif yollarla ulaşılabilir. Bu amaçla bir başlangıç ve bitiş noktası arasındaki yolu bulmakta kullanılan Rota Planlama Sistemleri (RPS), RYS’ nin en önemli bileşenlerinden biridir [4].

Gerçek zamanlı trafik koşullarını dikkate alarak belirlenen iki nokta arasındaki en uygun yolu planlamak RPS’nin en önemli amaçlarından biridir. Bu sistemleri kullanan sürücülerin, trafik ağ düzeni veya seyahat koşulları hakkında bilgi sahibi olması gerekmez. Klasik RPS’lerde genellikle rota bulurken tek bir ölçüt;

- mesafe,
- seyahat süresi,

- yakıt tüketimi,
- güvenlik,
- veya trafik sıkışıklığı

üzerinden rota planlaması yapılır. Literatürde seyahat süresi ve mesafe yaygın olarak kullanılan ölçütlerdir. En kısa mesafeli yolu seçme eğiliminde olan sürücüler için mesafe en etkili faktördür [5]. Bu çalışmada, A* algoritması ile en kısa mesafeli rota hesaplanmaktadır. Fakat artan trafik yoğunluğu ile beraber bu her zaman en kısa süreli yola karşılık gelmemektedir. Seyahat süresi, hedef noktasına varış için seçilen yola, yoldaki arıza veya kaza durumuna, yola katılan ve yoldan ayrılan trafik yoğunluğuna, karşı yönden gelen trafiğe, harekete başlama zamanının seçimine, vb. durumlara bağlıdır [6]. Etiket düzeltme (label correcting) algoritması ile benzer şekilde çalışan uyarlanabilir etiketleme (adaptive labelling) algoritması ile en kısa seyahat süresine sahip rotanın planlanması yapılabilir. RPS' de, insan, araç, yol veya çevresel faktörlerden kaynaklanan trafik kazalarından kaçınmak için güvenlik ölçütü dikkate alınarak yol planlaması yapılabilir [7]. Bu çalışma ile oluşturulan güvenlik modeli genetik algoritma üzerinde uygulanmaktadır. Artan yakıt maliyetleri en aza indirmek için sürücüler en ucuz yakıt maliyetli yolu tercih edebilir [8]. Bu amaçla tavlama benzetimi algoritması ile [8]'de aracın en düşük yakıt tüketimine sahip rotayı izlemesi sağlanmaktadır. Seyahat mesafesini hatta seyahat süresini arttırsa da sürücüler trafik sıkışıklığından mümkün olduğunca kaçınırlar. Bu çalışmalarda RPS'lerde tek bir ölçüt dikkate alınarak rota planlaması yapılmaktadır. Fakat bu, kişilerin tercihini yansıtmayabilir. Klasik RPS'lerde rota seçimi ve sürücü tercihleri arasındaki ilişki göz ardı edilerek genellikle mesafe veya seyahat süresi üzerinden rota planlaması yapılır. Dolayısıyla kişilere özgü rotalar yerine tek bir tip rota önerisinde bulunur. Bu sorunu çözmek amacıyla sürücü tercihleri ve birden fazla ölçütün bir araya getirilerek rota planlamasının yapıldığı çok ölçütlü rota planlama uygulamaları geliştirilmektedir.

Literatürde çok ölçütlü rota planlama kapsamında yapılan değişik çalışmalar vardır. Bu alanda yapılan bir çalışmada [9], mesafe, seyahat süresi ve sürüş kolaylığı (dönüş sayısı, yol genişliği, vb. faktörlerle ifade edilen) ölçütleri optimize edilmektedir. Daha sonra melez genetik algoritma (genetik ve Dijkstra

algoritmaları) kullanılarak en uygun rotanın planlanması yapılmaktadır. Başka bir çalışmada [10], çok ölçütlü optimizasyon problemini çözmek için bulanık küme teorisi, dinamik rotalama problemine uygulanmaktadır. Bu çalışmada ölçüt değerleri zamanla değişen ve değeri zamanla değişmeyen olarak sınıflandırılmaktadır. Sürücü tercihlerini temsil eden bu ölçütlerden seyahat süresi ve trafik yoğunluğu dinamik, yol tipi ve uzunluğu statik olarak seçilmektedir. Başka bir yapılan çalışmadaki amaç, sürücülerin rota seçim kararlarını etkileyen ölçütlere karar veren bireysel davranış tabanlı yöntemi geliştirmektir [11]. Ağırlık-değerlendiren model (weight-assessing model) ve alışılmış alan teorisi (habitual domain theory) temelinde, rota seçim ölçütlerinin dinamik ağırlıklarına göre dinamik olarak değiştiği gösterilmektedir. Akıllı rota seçim sisteminin tarif edildiği bir çalışmada, gerçek-zamanlı trafik koşullarının ve trafik verisinin yanı sıra sürücü davranış modeli de en uygun rotaya karar vermede kullanılmaktadır [12]. Burada mesafe, zaman, sıkışıklık, otoyol ücreti, zorluk ve manzara ölçütleri dikkate alınarak uyarlanabilir rota seçim algoritması ile rota planlaması yapılmaktadır. Bu çalışma ile araç navigasyon sistemlerinin sürücü tarafından kabul edilebilirlik seviyesinin artırılması, olumsuz güvenlik etkilerinin ise azaltılması hedeflenmektedir. Başka bir çalışma [13]'de, Grey incidence analysis ve gelişmiş Analitik Sıradüzen Süreci (AHP) temelinde, sürücü tercihlerini yansıtan en uygun rota seçim yöntemi tanımlanmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak, rota ölçütlerinden mesafe, zaman, sıkışıklık, otoyol ücreti, zorluk ve manzara AHP yöntemi ile sürücü tercihlerine göre önem derecesine göre ağırlıklandırılmaktadır. Daha sonra grey incidence analysis'e göre beş farklı rota ağırlıklarına göre küçükten büyüğe göre sıralandırılmaktadır. En son aşamada, en büyük ağırlığa sahip rota sürücü tercihinine göre en uygun rota olarak bulunmaktadır. Ek olarak, değişen sürücü tercihleriyle farklı rotaların bulunması sağlanmaktadır. Diğer bir çalışmada [14], birden fazla ölçütün göz önüne alınarak hedef noktasına olan en uygun rotayı bulan yeni bir Dinamik Programlama yöntemi önerilmektedir. Bir hedef noktasına göre çok ölçütlü en uygun rotayı bulmak amacıyla bu çalışmada Q değer güncelleme algoritması tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, seyahat süresi, yol tipi ve kesişim noktalarındaki dönüşler optimize edilecek ölçütler olarak göz önüne alınmaktadır. Ayrıca, rota planlamada birçok ölçüte göre hesaplanan genel indeks

tanımlanmaktadır. Uyarlanabilir rota planlama sisteminin geliştirildiği [15]'de TSK (Takagi-Sugeno-Kang) çıkarım sistemi ile birden fazla ölçüt (mesafe, trafik akışı ve manzara) bir araya getirilerek maliyet modeli oluşturulmaktadır. Bu maliyet modeli Dijkstra algoritmasında kullanılarak sürücü tercihinine göre planlanmış en uygun rota bulunmaktadır. Bu çalışmada, aynı zamanda sürücünün bulunan rotayı tercih etmeyip farklı bir rotayı izlemesi durumunda, önerilen uyarlanabilir bulanık çıkarım sistemleri yardımıyla sistemin daha sonraki kullanılışında daha iyi rotalar önerilir. Mesafe, zaman, yakıt tüketimi ve güvenlik ölçütleri dikkate alınarak oluşturulan çok-ölçütlü genetik algoritma [17]'de, araç navigasyon sistemleri için yeni bir matematiksel model olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir çalışma [16]'da kişisel rota planlamak amacıyla AHP ve ontoloji-tabanlı yaklaşımı kullanan kullanıcı-merkezli maliyet modeli tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, kişisel maliyet modelini etkileyen çevre (şehir dışı trafik, güvenlik, yol tesisleri, hava koşulları) ve kullanıcı (kullanıcı tercihleri, turistik yerler) olarak sınıflandırılan bir çok ölçüt tanımlanarak tek bir maliyet modelinde bir araya getirilmektedir. Böylece, rota planlama sürecinde sürücü tercihlerini içeren bir model oluşturulmaktadır. Kişisel rota planlamak amacıyla başka bir çalışmada ise AHP ve nitelik-güdümlü OWA (quantifier-guided ordered weighted averaging) yöntemleri bir araya getirilerek çok-ölçütlü karar verme modeli açıklanmaktadır [17]. Bu çalışmada, rotaların on temel özelliği olan mesafe, seyahat süresi, yol tipi, seyahat güvenliği, doğru gidiş, yol kalitesi, genişlik, eğim, dur işaretlerinin sayısı ve manzaralı yolların sayısı modellenmek üzere seçilerek sürücü tercihlerinin dâhil edilmesiyle rota planlamada kişiselleştirme geliştirilmektedir.

Yukarıda yapılan çalışmalara bakıldığında çok ölçütlü rota planlamada birden fazla ölçütün bir araya getirilip maliyet modeli oluşturulmasında değişik yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında, sürücü tercihlerine göre seçilen ve ağırlıklandırılan birden fazla ölçütün bir araya getirilmesinde AHP yönteminden yararlanılmaktadır. Kullanıcı tercihlerinin yanında karar stratejilerini de çok ölçütlü rota planlamaya dahil etmek amacıyla Sıralı Ağırlıklı Ortalama (OWA) yöntemi kullanılmaktadır. Ölçütleri, AHP ve OWA ile belirlenen ağırlıkları ile bir araya getirme işlemi ise doğrusal kombinasyon ile yapılmaktadır. Ayrıca, çok ölçütlü rota planlama için gerçek maliyet fonksiyonlarının yanı sıra

sezgisel fonksiyon tanımlanarak A* algoritması kullanılmaktadır. Literatürde A* arama algoritmasının çok ölçütlü rota planlamada uygulanmasına rastlanmamaktadır. Farklı test ortamları kullanılarak çok ölçütlü rota planlama algoritmalarının fonksiyonellik ve başarımları testleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan testlerde, çok ölçütlü rota planlamadan, sezgisel kullanıldığı takdirde, diğer rota planlama algoritmalarına göre bellek kullanımı açısından %55'e varan iyileşmeler sağlanmaktadır.

Tezin takip eden bölümünde çok ölçütlü rota planlama sistemleri ve bu sistemler ile literatürde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilerek rota planlamada Dijkstra algoritmasının kullanımı anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, çok ölçütlü rota probleminin ayrıntıları, önerilen sezgisel fonksiyon ve A* algoritmasının kullanımı verilmektedir. Dördüncü bölümde, önerilen yöntemin oluşturulan test problemleri üzerinde fonksiyonel ve başarımları analizi gerçekleştirilmektedir. Son bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları tartışılmaktadır.

2.ÇOK ÖLÇÜTLÜ ROTA PLANLAMA

Rota planlama bir başlangıç ve bitiş noktası arasında belirlenen ölçüte göre en uygun maliyetli yolu hesaplar. Mesafe, seyahat süresi, yakıt, vb. ölçütler kullanılabilir. Çok ölçütlü rota planlamada, sürücü tercihleri ve ulaşım ağının özelliklerini yansıtan birden fazla ölçüt bir araya getirilerek en uygun rotanın hesaplanması sağlanır. Sadece mesafe veya seyahat süresine göre planlanmış bir rota sürücü tarafından her zaman tercih edilemeyeceğinden çok ölçütlü rota planlamada sürücünün tercih ettiği birden çok ölçüt hesaba katılarak daha gerçekçi ve tercih edilen sonuçların elde edilmesi sağlanır.

Trafik ağlarında rota planlamak için ilk olarak üzerinde çalışılan ulaşım ağındaki yollar ve kesişim noktaları çizge veri modeline göre yeniden düzenlenmelidir [18]. Bir çizge $G(V, E)$, düğümler V ve bu düğümleri birleştiren ayrıtlardan E oluşur. V kümesinin v_k ($k = 1, 2, \dots, n$) elemanlarına G çizgesinin düğümleri, E kümesinin (v_i, v_j) $i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$ elemanlarına G çizgesinin ayrıtları denir. Trafik ağında ayrıtlar bağlantı yollarına düğümler ise bağlantı yollarının kesişim noktalarına karşılık gelmektedir. Yukarıdaki çizgede, E ayrıt kümesi $V * V$ kartezyen çarpım kümesinin bir alt kümesidir. $i \neq j$ için her bir (v_i, v_j) ayrıtı belirlenen ölçüte göre bir C_{ij} maliyeti ile ilişkilidir. (v_i, v_j) ayrıtı E kümesinde ise v_j düğümü, v_i düğümünün bir komşusudur. $(v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ düğüm dizisi, çizge içerisinde s başlangıç düğümünden d hedef düğümüne bir yol oluşturur. Burada $s = v_1, d = v_n$ olmak üzere $(s, v_2), (v_2, v_3), \dots, (v_{n-1}, d)$ ayrıtları E kümesindedir. Yolun maliyeti, ayrıtların maliyetleri toplamına eşittir, yani $\sum_{i,j=1}^n C_{ij}$. s düğümünden d düğümüne olan optimum yol, en ucuz maliyetli yoldur.

Bir sonraki alt bölümde çok ölçütlü rota planlamada etkili olan parametreler ve literatürde hangi parametreler üzerinde çalışıldığı üzerinde durulacaktır.

2.1. Çok Ölçütlü Rota Planlamada Etkili Olan Ölçütler

Klasik RPS’lerde rota seçimi ve sürücü tercihleri arasındaki ilişki göz ardı edilerek genellikle mesafe veya seyahat süresi üzerinden rota planlaması yapılır. Dolayısıyla kişilere özgü rotalar yerine tek bir tip rota önerisinde bulunur. Fakat sürücüler başlangıç ve varış noktaları aynı olsa bile farklı seyahat amaçlarına sahip olabileceklerinden önerilen bu rotalar sürücüler tarafından çoğunlukla tercih edilmez. Çünkü sürücüler rota seçimlerinde genel olarak birden fazla ölçütü dikkate alırlar. İki nokta arasında sürücünün rota seçimine etki eden faktörler;

- seyahat süresi,
- mesafe,
- yakıt tüketimi,
- yol güvenliği,
- tıkanıklılık,
- kuyruklanmalar,
- yol tipi,
- manzara,
- trafik işaretleri,
- yol çalışmaları,
- alışkanlıklar,

şeklinde sıralanabilir. Rota planlamada sürücü memnuniyetinin sağlandığı daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için birden fazla ölçütün dikkate alınması gerekir. Bu nedenle şehir içi ulaşım ağlarında rota planlama çok ölçütlü bir işlemdir.

Literatürde rota planlamasında farklı tipteki ölçütlerin göz önüne alındığı birçok çalışma vardır. Kullanıcı tercihlerini dikkate alındığı [19]’da seyahat süresi, sıklık ve güvenlik ölçütleri üzerinden rota planlaması yapılmaktadır. Başka bir çalışma [20]’de, rota planlamasında etkili olan ölçütler yol, araç ve insan olmak üzere Çizelge 2.1 ‘de görüldüğü üzere üç sınıfa ayrılarak bu sınıflardan yol sınıfı modellemede kullanılmak üzere tekrar kendi içerisinde Çizelge 2.2’deki şekilde alt ölçütlere ayrılmaktadır. Böylece rota planlamasında etkili olan nitel ve nicel ölçütler dikkate alınmaktadır.

Çizelge 2.1. Ölçütler yol, araç ve insan olmak üzere üç sınıfa ayrılır

Ölçütler	Örnekler
Yol	Trafik güvenliği, ek tesisler, hava durumu, yol uzunluğu, geometrik özellikleri, yol tipi, yol alanı, çarpışma olası noktaları, geçen hayvanlar, doğru sürüş sinyalleri, kavşaklar ve sapmalar, tek yönlü veya iki yönlü hareket, coğrafi yön, mevcut kontrol noktaları
Araç	Araç tipi ve modeli, yakıt tipi ve ölçütü, araç ağırlığı
İnsan	Yaş, eğitim, deneyim

Çizelge 2.2. Yol sınıfına ait alt ölçütler

Ölçütler	Alt Ölçütler
Uzunluk	Yapısal modeldeki diğer ölçütlerle çarpılan ana ölçüt
Trafik	A, B, C, D, E servis seviyeleri
Güvenlik	Karayolu benzin merkezleri
Turizm	Deniz, göl ve akarsular, orman, dağ bölgesi, kayak pistleri, tarihsel-kültürel yerleri, dini bölgeler, çöller, balıkçılık alanları

Bir önceki çalışmadaki aynı modeli kullanan [21, 22]'de yol sınıfına etki eden ölçütlere orta, nispeten kuru, soğuk, çöl, sıcak ve nispeten kuru, sıcak ve nemli hava koşulları alt ölçütlerine sahip iklim alt ölçütü de eklenmektedir. Başka bir çalışma [16]'da, yol ağı ontolojisinin bütün özelliklerini temsil eden ölçütler çevre ve kullanıcı değişkenleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada yerleşim yerindeki trafik, güvenlik, tesisler, hava koşulları, vb. çevre değişkenlerini, kişisel tercihler, yaş, cinsiyet, vb. ise kullanıcı değişkenlerini temsil edecek şekilde modellenmektedir. Rotaların on temel özelliğinin (mesafe, seyahat süresi, yol tipi, seyahat güvenliği, doğru gidiş, yol kalitesi, genişlik, eğim, dur işaretlerinin sayısı ve manzaralı yolların sayısı) modellenmek üzere seçildiği [17]'de ölçütler, nitel ve nicel olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada yol ağına ait sayısal bir haritadan ölçülebilen mesafe, seyahat süresi, seyahat güvenliği, doğru gidiş, genişlik, eğim, dur işaretlerinin sayısı ve manzaralı yolların sayısı nicel, yol tipi ve yol kalitesi nitel ölçüt olarak tanımlanmaktadır.

Rota seçimine etki eden ölçütlerin tanımlanmasından sonra, bir sonraki bölümde bu ölçütlerin birbirleriyle karşılaştırılması yapıp nasıl bir araya getirildiği literatürde yapılmış çalışmalar ile birlikte ayrıntılı olarak verilecektir.

2.2.Farklı Tipteki Ölçütlerin Bir Araya Getirilmesi

Maliyet modelinin oluşturulması rota planlamanın en önemli aşamasını oluşturur. Çok ölçütlü rota planlamada sürücü tarafından tercih edilen farklı tipteki ölçütlerin tamamının dikkate alındığı genelleştirilmiş bir maliyet modeli oluşturmak gerekir. Literatürde farklı tipte ölçütlerin bir araya getirilmesi için değişik maliyet modelleri tanımlanmaktadır [17, 20, 23].

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Sıradüzen Süreci (Analytic Hierarchy Process-AHP), farklı tipteki ölçütlerin bir araya getirilmesinde literatürde yaygın olarak kullanılır [17, 20, 21]. Literatürde bu alanda yer alan çalışmalardan [20]'de rota maliyet modelinde etkili olan ölçüt ve alt ölçütler tanımlandıktan sonra sistematik bir şekilde ağırlıklandırılıp bir araya getirilmektedir. Bu çalışmada tüm bu ölçütlerin bir araya getirildiği model, maliyet modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu ölçütlerden bazıları nitel ve bazıları da nicel olduğundan eş zamanlı olarak değerlendirilip bir araya getirildiği bir yapıya ihtiyaç vardır. Bu amaçla çok ölçütlü karar verme modellerinden AHP seçilmektedir. Çünkü AHP hiyerarşik bir formülasyonla hem nitel hem de nicel ölçütlerin tek bir model tarafından kapsanmasını sağlar. Bir önceki çalışmadaki yazarında bulunduğu başka bir çalışma [24]'de, rota seçiminde etkili olan ölçütler ve bu ölçütlerin alt ölçütleri tanımlanarak AHP ile bir araya getirildikten sonra tek bir maliyet modeli oluşturulmaktadır. Benzer yöntemin kullanıldığı [23]'de rota seçimine etki eden farklı tipte ölçütler, yine her bir ölçüt kendi içerisinde hiyerarşik olarak alt ölçütlere sınıflandırılıp bu hiyerarşik yapı bu kez Analitik Şebeke Süreci (Analytic Network Process-ANP) yardımıyla matematiksel olarak bir araya getirilmektedir. Bazı araştırmacılar çok ölçütlü rota planlamaya yönelik olan çalışmalarında sürücü tercihlerini de dikkate alarak sürücülerin karar verme stratejilerini ihmal etmektedirler. Sürücü karar stratejilerinin dikkate alındığı [17]'de, karar verme stratejisi sürücünün tercih ettiği tüm ölçütlerden en az bir ölçüte doğru olan aralıkla temsil edilen sürücü memnuniyet yelpazesi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, hem sürücü tercihlerini hem de sürücü karar verme stratejilerini çok ölçütlü rota planlamada modellemek için AHP ve nitelik-

güdümlü sıralı ağırlıklı ortalama (quantifier-guided ordered weighted averaging) yöntemleri bir arada kullanılmaktadır.

Yukarıdaki çalışmalar değerlendirildiğinde çok ölçütlü rota planlamanın çok ölçütlü karar vermeyi gerektirdiği, bu nedenle çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin modellemelerde kullanıldığı görülmektedir. Çok ölçütlü rota planlamada kullanıcı tercihlerinin dahil edilmesiyle ölçüt ağırlıkların bulunmasında Analitik Sıradüzen Süreci (AHP) ve Analitik Şebeke Süreci (ANP) en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Kullanıcı karar stratejilerinin birleştirme işlemine dahil edilmesi amacıyla ise doğrusal kombinasyon, Sıralı Ağırlıklı Ortalama (OWA), vb. teknikler kullanılmaktadır. Aşağıda bunlar detaylı olarak verilmektedir.

2.2.1.Kullanıcı tercihlerinin dâhil edilmesi

Kullanıcı tercihlerinin çok ölçütlü rota planlama işlemine dâhil edilmesi kapsamında AHP ve ANP yöntemleri anlatılacaktır. Daha sonra birden fazla ölçütün ve ölçüt ağırlıklarının doğrusal kombinasyon ile bir araya getirilmesi verilecektir.

Analitik Sıradüzen Süreci (Analytic Hierarchy Process-AHP): İlk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977 de ise Thomas L. Saaty tarafından karar verme sürecindeki nitel ve nicel ölçütleri birleştirme olanağı veren bir model olarak geliştirilmektedir [25]. AHP, karmaşık karar vermeleri hiyerarşik bir yapı içerisinde ikili karşılaştırmalara dönüştürerek önceliğin elde edilmesi işlemine dayanan bir ölçüm kuramıdır.

Çok ölçütlü karar verme yöntemi olan AHP, karar problemini hiyerarşik bir yapıda modeller. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra bir düzeydeki tek bir öge veri olarak alınıp bir alt düzeydeki tüm ögeler görel olarak ikişerli karşılaştırılır.

AHP yöntemini adımlarla açıklayalım [25].

Adım 1: Ölçütlerin tanımlanması

Adım 2: Ölçütlere göre ikili karşılaştırmalar matrisinin oluşturulması

Ölçütlerin sayısını n ile gösterecek olursak ölçütler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegeni üzerindeki her bir bileşeni ilgili ölçüt kendisi ile karşılaştırıldığından, $i = j$ için 1 değerini alır. Ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini belirlemek için bire bir karşılaştırma yapılır. Karşılaştırma matrisi aşağıda verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Ölçütlerin bire bir karşılıklı karşılaştırılmasında Çizelge 2.3 deki önem skalası kullanılır.

Çizelge 2.3. İkili karşılaştırmalar matrisi için değerlendirme skalası

Değer	Tanım	Açıklama
1	Aynı önemde	Her iki ölçütün eşit öneme sahip olması durumu
3	Biraz daha önemli	1. ölçütün 2. ölçütten daha önemli olması durumu
5	Oldukça önemli	1. ölçütün 2. ölçütten çok önemli olması durumu
7	Çok daha önemli	1. ölçütün 2. ölçüte göre çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	En önemli	1. ölçütün 2. ölçüte göre mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Ara değerler

Çizelge 2.3'e göre, birinci ölçüt ikinci ölçüte göre karşılaştırmayı yapan tarafından çok daha önemli ise karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun bileşeni (a_{12}), 7 değerini alır. Tam tersi durumda, yani ikinci ölçüt birinci ölçüte göre çok daha önemli ise karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun bileşeni (a_{12}), $1/7$ değerini alacaktır. Birinci ölçüt ile ikinci ölçüt eşit öneme sahip olacak şekilde görünüyorsa bu durumda karşılık gelen bu bileşen 1 değerini alacaktır.

Karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegenin üstünde kalan değerler için karşılaştırmalar yapılır. Köşegenin altında kalan bileşenler için ise Denklem (2.1)'i kullanmak yeterlidir.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'e göre karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun bileşeni (a_{12}), 7 değerini aldığıında bu matrisin ikinci satır birinci sütun bileşeni (a_{21}), 1/7 değerini alacaktır.

Adım 3: Ölçütlerin Yüzde Önem Dağılımları Belirlenir

Ölçütlerin yüzde önem dağılımlarını belirlemek için, karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılır ve n adet ve n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur. Aşağıda bu vektör verilmiştir.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix}$$

B sütun vektörünün hesaplanmasında Denklem (2.2)'den yararlanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2.2)$$

Ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlendirildiğinin gösterildiği A karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmış olsun.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 3 \\ 7 & 1 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

Bu durumda B vektörünün b_{11} elemanı, $b_{11} = \frac{1}{1+7+0,33}$ olarak hesaplanacaktır.

B vektörünün diğer elemanları benzer şekilde hesaplandığında, B vektörü aşağıdaki gibi elde edilebilir. B sütun vektörünün her bir bileşeni toplandığında toplamın 1 olduğu görülür.

$$B = \begin{bmatrix} 0,12 \\ 0,84 \\ 0,04 \end{bmatrix}$$

Yukarıda verilen adımlar diğer ölçütler içinde tekrarlandığında ölçüt sayısı kadar B sütun vektörü elde edilecektir. n adet B sütun vektörü, bir matris formatında bir araya getirildiğinde ise aşağıda gösterilen D matrisi oluşturulacaktır.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki örnek göz önüne alındığında D matrisi aşağıdaki gibi oluşur.

$$D = \begin{bmatrix} 0,12 & 0,10 & 0,33 \\ 0,84 & 0,75 & 0,56 \\ 0,04 & 0,15 & 0,11 \end{bmatrix}$$

D matrisinden yararlanarak, ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilebilir. Bunun için Denklem (2.3)'de gösterildiği gibi D matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve öncelik vektörü olarak adlandırılan U sütun vektörü elde edilir.

$$u_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n} \quad (2.3)$$

U vektörü aşağıda gösterilmiştir.

$$U = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki örnek çözüldüğünde öncelik vektörünün elemanları aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Bu durumda her üç ölçüt birlikte değerlendirildiğinde yaklaşık değerlerle, birinci ölçüt % 18, ikinci ölçüt % 72 ve üçüncü ölçüt % 10 öneme sahip olacaktır.

$$U = \begin{bmatrix} \frac{0,12 + 0,10 + 0,33}{3} \\ \frac{0,84 + 0,75 + 0,56}{3} \\ \frac{0,04 + 0,15 + 0,11}{3} \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,72 \\ 0,10 \end{bmatrix}$$

Adım 4: Ölçüt Kıyaslamalarındaki Tutarlılık Ölçülür

Karar vericinin ölçütler arasında yaptığı bire bir karşılaştırmalardaki tutarlılık, AHP'den elde edilen sonuçların gerçekçiliğini belirler. AHP'de yapılan karşılaştırmalardaki tutarlılıklar ölçülebilir. Böylece elde edilen Tutarlılık Oranı (CR) ile bulunan öncelik vektörünün ve dolayısıyla ölçütler arasında yapılan bire bir karşılaştırmaların tutarlılığın test edilebilmesi sağlanır. AHP'de, CR hesabı, ölçüt sayısı ile Temel Değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına dayandırılır. λ 'nın hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile U öncelik vektörünün matris çarpımından E sütun vektörü elde edilir.

$$E = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

Denklem (2.4) 'de tanımlandığı gibi, bulunan E sütun vektörü ile U sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme ölçütüne ilişkin temel değer (F) elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması (Denklem (2.5)) ise karşılaştırmaya ilişkin temel değeri (λ) verir.

$$F_i = \frac{d_i}{u_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.4)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (2.5)$$

λ hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), Denklem (2.6)'dan yararlanarak hesaplanabilir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2.6)$$

Son aşamada ise CI , Random Gösterge (RI) olarak adlandırılan ve Çizelge 2.2'de gösterilen standart düzeltme değerine bölünerek (Denklem (2.7)) CR elde edilir. Çizelge 2.2' den ölçüt sayısına karşılık gelen değer seçilir. Örneğin 4 ölçütlü bir karşılaştırmada kullanılacak RI değeri Çizelge 2.2' den 0,90 olacaktır.

Çizelge 2.4. RI değerleri

N	RI	N	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.7)$$

Hesaplanan CR değerinin 0,10 dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0,10' dan büyük olması ya AHP' deki bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir.

Analitik Şebeke Süreci (Analytic Network Process-ANP): Karar verme sürecinde ölçütler arasındaki ilişkileri dikkate alan ve problemin tek bir yöne bağlı olarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldıran yöntem yine Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Şebeke Süreci (ANP) yöntemidir. ANP yönteminde karar verme problemi bir ağ yapısı ile modellenmekte ve modelleme aşamasındaki ölçütler arasındaki bağımlılıklar ve ölçüt içindeki iç bağımlılıklar dikkate alınmaktadır. ANP yöntemi bu yapısı ile karar verme problemlerinin daha etkin ve daha gerçekçi bir şekilde çözülmesini sağlamaktadır [26].

Doğrusal kombinasyon ile ölçütleri bir araya getirme: Literatürde yapılan çalışmalarda rota seçimine etki eden ölçüt/alt ölçütlerin AHP yöntemi ile bulunan ağırlıkları ile ölçüt/alt ölçütlerin her bir ayrıt üzerindeki gerçek değerleriyle birleştirilme işlemi Denklem (2.8) ile gösterilen doğrusal kombinasyon ile yapılır [20-22].

$$IM = \sum_{i=1}^n \frac{K_i X_i}{L_i} = \frac{1}{L_i} (K_1 X_1 + K_2 X_2 + \dots + K_n X_n) ,$$

$$K = (K_1, K_2, \dots, K_n) \text{ için } \sum_{j=1}^n K_j = 1. \quad (2.8)$$

Burada,

IM : Maliyet modeli

X_i : Ölçüt/Alt ölçütlerin gerçek değeri

K_i : Ölçüt/Alt ölçütlerin ağırlıkları

L_i : Her bir ayrıtın uzunluğu

dur.

2.2.2.Kullanıcı karar stratejilerinin dâhil edilmesi

Kullanıcı karar stratejilerinin rota planlamaya dâhil edilmesi için Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Ordered Weighted Averaging (OWA)) uygulanır [27]. Bir sayı kümesini tek bir temsilciye veya anlamlı bir sayıya indirgeme işlemi bir

birleştirme işlemidir. Yager tarafından literatüre kazandırılan OWA çok önemli bir birleştirme yöntemi olup üzerine çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bu yöntem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Tanım. OWA operatörü [27] $F: R^n \rightarrow R$ ye bir bağıntıdır ve Denklem (2.9) da görüldüğü gibi ifade edilir.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n w_j x'_j = W^T X' \quad (2.9)$$

Burada bir araya getirilecek değerler $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ elemanlarıdır. Yukarıda verilen tanımda, x'_j, j . en büyük x_i değerine karşılık gelir. Operatörde kullanılan ağırlık değerleri ise w_j ile gösterilir ve $w_j \in [0,1]$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ şeklindeki özellikleri sağlarlar. Ayrıca X' sıralı eleman, W ise sıralı ağırlık vektörünü göstermektedir. W sıralı ağırlık vektörünün her bir bileşeni Denklem (2.10) ile belirlenir.

$$w_j = \left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha \quad (2.10)$$

Burada,

u_k = sıralı karar ölçütleri öncelik değerleri,
 α = nicelik katsayısı

dır. α nicelik katsayısı, dilsel terimlerle ifade edilmektedir. Bu dilsel terimler ve karşılık gelen sayısal değerler Çizelge 2.5 ile gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. α değerleri

Karar Stratejisi	α
En az bir	0,00001
En azından birkaçı	0,2
Birkaç	0,5
Yarım (Birim)	1
En çok	2
Neredeyse hepsi	5
Hepsi	1000

Yukarıda verilen yöntemlere göre $G(V, E)$ çizgesindeki (v_i, v_j) $i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$ ayrıtı üzerinde C_{ij} maliyetini aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^n (x_{ij}^k)' w_k = (x_{ij}^1)' w_1 + (x_{ij}^2)' w_2 + \dots + (x_{ij}^n)' w_n \quad (2.11)$$

Burada $(x_{ij}^k)'$ ($k = 1, 2, \dots, n$) rota planlaması için seçilen ölçütlerin (v_i, v_j) ayrıtı üzerinde hesaplanan normalize edilmiş değerleri, w_k ($k = 1, 2, \dots, n$) Denklem (2.10) ile elde edilen sıralı ağırlıklardır

Rota planlamada en son aşamada, tanımlanan maliyet modeli en kısa yol algoritmaları üzerine uygulanarak sürücü tercihinine göre oluşturulmuş rotaların hesaplanması gerçekleştirilir.

2.2.3.Rota planlama algoritmaları

Yukarıdaki gibi tercih edilen ölçütlere bağlı olarak her bir ayrıtı için maliyetler hesaplandıktan sonra rota planlama algoritmaları kullanılarak en uygun rotanın bulunması işlemi yapılır. Dijkstra algoritması rota planlamada en yaygın kullanılan algoritmalarındandır.

Dijkstra algoritması, Hollandalı bilgisayar bilimcisi Edsger Dijkstra tarafından 1956 yılında tasarlanıp 1959 yılında yayınlanmış çizge arama algoritmasıdır [28]. Dijkstra algoritması belirli bir başlangıç noktasına göre en düşük maliyetli yolu bulan bir algoritmadır; bir başlangıç düğümünden, diğer tüm düğümlere olan en düşük maliyetli yolu belirler. Aynı zamanda hedef düğüm bulunur bulunmaz algoritma sonlandırıldığı takdirde bir başlangıç düğümünden bir hedef düğüme olan en düşük maliyetli yolu da bulur. Ağırlıklı ve yönlü çizgeler için geliştirilmiştir. Çizge üzerindeki her bir kenarın ağırlığı sıfır veya sıfırdan büyük olmalıdır. Ancak burada da eksi maliyetli çevrim olmaması gerekir. Dijkstra'nın algoritması en kısa yolu belirlerken Greedy yaklaşımını kullanır. Her defasında, bir sonraki düğüme ilerleme Greedy yaklaşımına göre yapılır.

Dijkstra algoritmasında incelenen bölge açıkKüme ve kapalıKüme olmak üzere iki kümeye ayrılır. Burada, başlangıç düğümüne olan en düşük maliyetlerin belirli olduğu düğümlerden oluşan küme kapalıKüme'yi, başlangıç düğümüne olan en düşük maliyetlerin henüz belirli olmadığı düğümlerden oluşan küme açıkKüme'yi oluşturur.

Dijkstra'nın orijinal algoritması öncelikli kuyruk veri yapısını kullanmaz ve n çizge içerisindeki düğüm sayısını temsil edecek olursa $O(n^2)$ karmaşıklığı ile çalışır. Fakat öncelikli kuyruk veri yapısı kullanıldığı takdirde m çizge içerisindeki ayrıt sayısını temsil edecek olursa algoritmanın karmaşıklığı $O(m + n \log n)$ olarak bulunur. Bu çalışmada açıkKüme öncelikli kuyruk veri yapısı ile tasarlanmaktadır. Böylece algoritmanın çalışma maliyetinde iyileştirilme yapılmaktadır. Dijkstra algoritması, Şekil 2.1'de gösterilen kaba kod ile açıklanır [28].

```

Fonksiyon Dijkstra(V,E,s,d);
foreach  $v_k$  in V do{
     $g(v_k) = \infty$ ; parent( $v_k$ )=null;
}
 $g(s) = 0$ ;
açıkKüme. Ekle(s);
kapalıKüme= $\emptyset$ ;
while açıkKüme! $\emptyset$  do{
     $v_k$ =açıkKüme. GetirMinMaliyetliDüğüm();
    kapalıKüme. Ekle( $v_k$ );
    if ( $v_k=d$ ) then işlemi sonlandır;
    else{
        foreach  $v_j$  in  $v_k$ .komşuListesi{
            if  $g(v_j) > g(v_k) + C_{kj}$  then{
                 $g(v_j) = g(v_k) + C_{kj}$ ;
                parent( $v_j$ ) =  $v_k$ ;
                if  $v_j \notin$  açıkKüme  $\cup$  kapalıKüme then
                    açıkKüme. Ekle( $v_j$ );
            }
        }
    }
}

```

Şekil 2.1. Dijkstra algoritması kaba kodu

Burada $g(v_j)$, v_j düğümüne gelinceye kadar hesaplanan toplam maliyet, $C_{kj}(v_k, v_j)$ ayrıtı için Denklem (2.11) ile hesaplanan maliyettir. parent(v_j) v_j düğümünden bir önceki düğüm olarak tanımlanır. açıkKüme, öncelikli kuyruk veri yapısı ile tasarlanarak algoritmanın zaman karmaşıklığında iyileştirme yapılmaktadır. Öncelikli kuyruk yapısında düğümler g değerlerine göre küçükten büyüğe sıralanmaktadır. GetirMinMaliyetliDüğüm fonksiyonu ile kuyruktaki en düşük

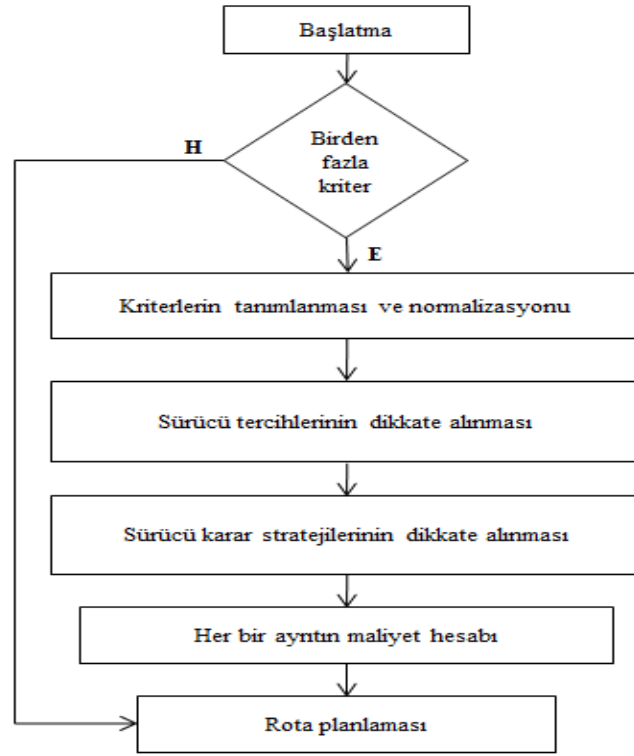
maliyete sahip düğüm seçilerek kuyruktan silinir. Ekle fonksiyonu ile g değerine göre öncelikli kuyruk veri yapısına düğüm eklenir.

Dijkstra algoritmasında sezgisel maliyet kullanılmaz. Bu nedenle sezgisel arama algoritmalarına göre kapalıKüme’de daha fazla düğüm oluşur. Bu durum algoritmanın daha fazla bellek kullanarak daha uzun sürede çalışmasına neden olur.

3.ÖNERİLEN YÖNTEM

Rota planlamada sürücü tercihlerinin dikkate alınıp birden fazla ölçütün bir araya getirilmesiyle ulaşım ağlarında daha gerçekleştirilebilir sonuçlar elde edilir. Sürücü tercihleri hangi ölçütlerin etkili olacağı ve bu ölçütlerin birbirlerine göre önem derecelerinin ne olacağının belirlenmesinde büyük rol oynar. Ölçütlerin birbirlerine göre kıyaslamalarından elde edilen bağıl ağırlıkları için AHP veya ANP yöntemleri tercih edilebilir. Elde edilen ağırlıklarla ölçütleri bir araya getirip tek bir maliyet oluşturmada ise doğrusal birleşim veya OWA yöntemleri kullanılabilir. Rota planlama algoritmalarından en yaygın kullanılan Dijkstra algoritması ise en son aşamada sürücü tercihinine uygun en düşük maliyetli yolu bulmada uygulanır. Sadece gerçek maliyet fonksiyonu ile çalışan Dijkstra algoritmasının aksine sezgisel maliyet fonksiyonunu da kullanarak daha iyi başarımlar sergileyen A* arama algoritması da en uygun rotayı bulmada kullanılabilir. Fakat literatürde çok ölçütlü için tanımlanmış bir sezgisel fonksiyon yoktur.

Bu çalışmada çok ölçütlü rota planlama için gerçek maliyet fonksiyonlarının yanı sıra A* arama algoritmasının kullanacağı bir sezgisel fonksiyon tanımlanmaktadır. Uygulamada seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütleri göz önüne alınmaktadır. Kullanıcı tercihlerini ve karar stratejilerini bir araya getirerek ölçüt ağırlıklarını belirleyen AHP yöntemi ve OWA operatörleri kullanılmaktadır. Testler için Tomtom navigasyon yazılımından [29] elde edilen verilerle birlikte seçilen ölçütler için hesaplamalar yapılmaktadır. Seyahat süresi ve mesafe için sayısal değer elde etmek için bilinen matematiksel modellerin yanında güvenlik ve yakıt tüketimi için de matematiksel modeller oluşturularak Tomtom'dan elde edilen verilerle birlikte her bir ayrıntı üzerinde bu ölçütlerin sayısal olarak ifade edilebilmesi sağlanmaktadır. Ölçütlerin sayısal değerleri ile bulunan ağırlıklarını bir araya getirilip tek bir maliyet oluşturulmasında ise doğrusal birleşim işlemi uygulanmaktadır. Uygulanan yöntemle ait akış diyagramı Şekil 3.1 de görülmektedir.



Şekil 3.1. Uygulanan yönteme ait akış diyagramı

3.1. Başlatma

Başlatma adımı, yol planlaması yapılacak başlangıç ve hedef noktası, kullanıcı tercihleri, kullanıcı karar stratejisi ve ortam modeline karşılık gelen çizge tanımlanmaktadır. Bu çalışmada ortam modeline karşılık gelen çizge ve veriler iki şekilde oluşturulmaktadır. Bunların ilkinde trafik ağına karşılık gelen veriler kişisel gözlemlerden çıkartılarak ufak bir test ortamı oluşturulmaktadır. İkincisinde ise Tomtom navigasyon yazılımından elde edilen veriler kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda, çalışılan trafik ağındaki kesişim noktaları ve sokaklar sırasıyla çizgenin düğüm ve ayrıtları olarak tanımlanmaktadır. Tomtom veri tabanında her bir düğüm enlem ve boylam her bir ayrıt ise hangi iki düğümü birbirine bağladığı ve bu ayrıt üzerinde tanımlanan trafik verileri ile tutulmaktadır. Hız limiti, ortalama hız, fonksiyonel yol sınıfı, yol formu, vb. parametreler, bu verilerden bazılarıdır. Çalışma bölgesi dikkate alınarak, her bir düğüme ait enlem ve boylam bilgisi matematiksel model yardımıyla yerel bir x ve y koordinat

düzlemine aktarılmaktadır. Ayrıca her bir düğüme ait enlem ve boylam bilgisi kullanılarak web servis aracılığıyla her bir düğüme ait rakım bilgisi elde edilmektedir. Bir v'_k düğümü için bu dönüşüm aşağıda verilmektedir.

$$v'_k (enlem_k, boylam_k) \rightarrow v_k(x_k, y_k, h_k)$$

Burada

$x_k : v'_k$ düğümüne ait x koordinat bilgisini

$y_k : v'_k$ düğümüne ait y koordinat bilgisini

$h_k : v'_k$ düğümüne ait rakım bilgisini

temsil etmektedir.

Tek bir ölçüt üzerinden rota planlaması yapılacak ise alt adımlar atlanıp en son adıma geçilir. Birden fazla ölçüt dikkate alınacak ise bir sonraki adımdan işleme devam edilir.

3.2. Ölçütlerin Tanımlanması ve Normalizasyonu

Sürücüler rota seçiminde mesafe, seyahat süresi, yakıt tüketimi, güvenlik, trafik sıkışıklığı, güzel manzaralı yolların sayısı, vb. gibi birden çok ölçütü dikkate alabilirler. Bu çalışmada mesafe (d_{ij}), seyahat süresi (t_{ij}), güvenlik (s_{ij}) ve yakıt tüketimi f_{ij} sürücünün seçtiği ölçütler olarak dikkate alınmaktadır. $i \neq j$ için $v_i(x_i, y_i, h_i)$ ve $v_j(x_j, y_j, h_j)$ düğümlerini göz önüne alalım. Herhangi bir (v_i, v_j) ayrıtı üzerinde mesafe ve seyahat süresi sırasıyla Denklem (3.1) ve Denklem (3.2) ile hesaplanır.

$$d_{ij} = ||v_j - v_i|| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (h_i - h_j)^2} \text{ (m)} \quad (3.1)$$

$$t_{ij} = d_{ij}/hl_{ij} \text{ (s)} \quad (3.2)$$

$hl_{ij} : (v_i, v_j)$ ayrıtı üzerinde tanımlanan hız limiti (m/s)

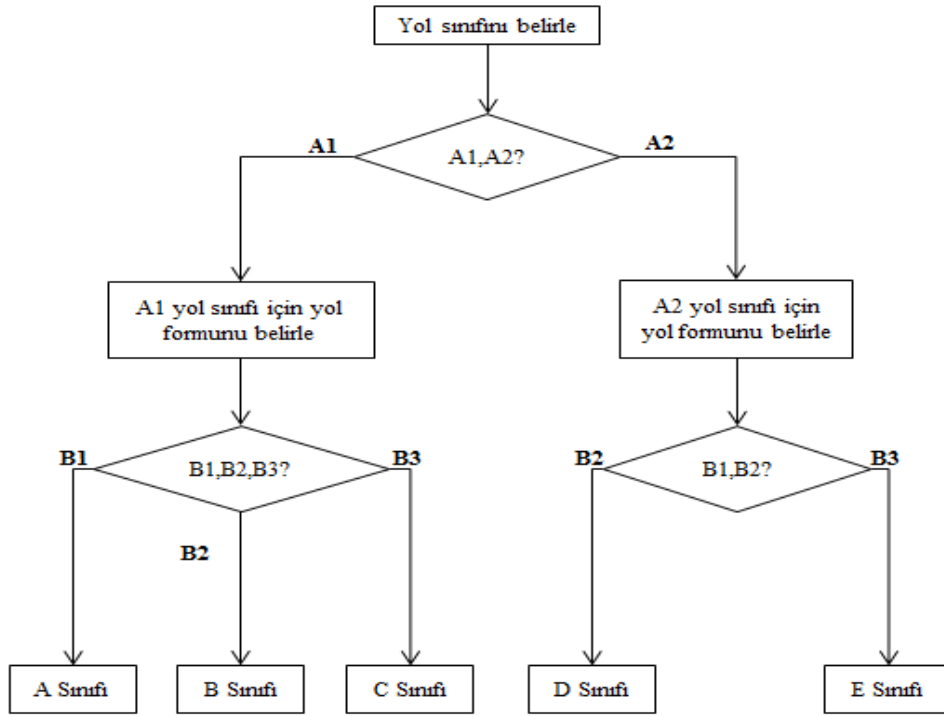
Güvenlik için maliyet tanımlanırken sırasıyla Çizelge 3.1 ve 3.2 de gösterilen yol sınıfı ve yol formunun dikkate alındığı bir akış şeması oluşturulmaktadır. Şekil 3.2 ile gösterilen bu şemaya göre her bir ayrıtı 1 ile 5 arasında sayısal değerler verilmektedir [7]. Burada, en düşük değer en güvenli yolu temsil edecek şekilde düzenleme yapılmaktadır.

Çizelge 3.1. Fonksiyonel yol sınıfı

Yol Sınıfı	Örnek
A1	Ana yollar
A2	Yerel yollar

Çizelge 3.2. Yol formu

Yol Formu	Örnek
B1	Bölünmüş yollar
B2	Birleşik yollar
B3	Tali, kavşak, kötü yollar



Şekil 3.2. Yol güvenliği modelinin tanımlandığı akış şeması

Burada

$$sdeg_{ij} = \begin{cases} 5 & (sdeg_{ij} = A) \\ 4 & (sdeg_{ij} = B) \\ 3 & (sdeg_{ij} = C) \\ 2 & (sdeg_{ij} = D) \\ 1 & (sdeg_{ij} = E) \end{cases} \text{ olarak tanımlanmıştır ve}$$

$$s_{ij} = sdeg_{ij}^2 d_{ij} \quad (3.3)$$

olmak üzere $sdeg_{ij}$, (v_i, v_j) ayrıtı için tanımlanan güvenlik derecesidir.

Yakıt tüketimi modellemesinde, ilk olarak Jimenez-Palacios tarafından tanımlanan Araç Özgül Güç (Vehicle Specific Power (VSP)) yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada uygulanan yakıt tüketimi modeli, [30]'da önerilen hız, ivme ve eğim faktörlerini dikkate alan VSP modelidir. Bu model temel alınarak her bir ayırıt üzerindeki yakıt tüketimi aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

$$g_{ij} = \left(\frac{h_j - h_i}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}} \right) * 100 \quad (3.4)$$

$$vsp_{ij} = oh_{ij} [1,1a_{ij} + 9,81 \sin(\arctan(g_{ij})) + 0,132] + 0,000302oh \quad (3.5)$$

$$f_{ij} = vsp_{ij}t_{ij} \quad (3.6)$$

Burada

g_{ij} : (v_i, v_j) ayırıtı üzerinde hesaplanan eğim değeri ($\pm\%$)

vsp_{ij} : (v_i, v_j) ayırıtı üzerinde hesaplanan VSP değeri ($kW/metric\ ton$)

oh_{ij} : (v_i, v_j) ayırıtı üzerinde tanımlanan ortalama hız (m/s)

a_{ij} : (v_i, v_j) ayırıtı üzerinde tanımlanan ivme (m/s^2)

0,132 : yuvarlanma direnci katsayısı

0,000302 : aerodinamik sürüklenme katsayısı

dır.

Rota planlamasında etkili olan farklı tipteki ölçütlerin kendi içerisinde karşılaştırılabilmesi için normalize edilmeleri gerekir. Bu amaçla doğrusal ölçek dönüşümlerinden biri olan “maksimum puan (maximum score)” yöntemi kullanılacaktır [31]. Maksimum puan yöntemi, ölçüt değerlerini karşılaştırılabilir tek bir değere dönüştüren oldukça sık uygulanan bir normalizasyon yöntemidir. Bu yöntemde her bir ölçütün gerçek değeri, o ölçüt için bulunan en büyük değere bölünerek normalize edilmiş değer bulunur.

$$x'_j = \frac{x_j}{x_{max}} \quad (3.7)$$

Burada

x'_j : j. ölçütün normalize edilmiş değeri

x_j : j. ölçütün gerçek değeri

x_{max} : j. ölçütün maximum değeri

dır. Normalize edilen değerler 0 ile 1 arasında değişen değerlerden oluşan aralıkla tanımlanır. Ölçütler maliyet ölçütleri ve fayda ölçütleri olmak üzere iki sınıfa ayrılır [31]. Karar verme durumunda, bir ölçüt için daha küçük değerler daha fazla tercih ediliyorsa maliyet, daha büyük değerler daha fazla tercih ediliyorsa fayda ölçütü olarak tanımlanır. Bu tanıma göre rota planlamada mesafe, seyahat süresi, yakıt tüketimi, vb. gibi ölçütler maliyet ölçütü, manzara fayda ölçütü olarak dikkate alınmalıdır.

Rota planlamada ölçüt değerleri, ayrıtların maliyetleri olarak tanımlandığından fayda ölçütünün maliyet ölçütüne dönüşümü Denklem (3.8) ile yapılır [31].

$$x'_j = 1 - \frac{x_j}{x_{max}} \quad (3.8)$$

Bu çalışmada seçilen mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi maliyet ölçütü olarak tanımlandığından Denklem (3.7) ile normalize edilmektedir. Çizelge 3.3’de bir (v_i, v_j) ayrıtı için bu ölçütlerin gerçek ve normalize edilmiş değerleri gösterilmektedir. Mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi için normalize edilmiş değerler d'_{ij} , t'_{ij} , s'_{ij} ve f'_{ij} ile gösterilsin.

Çizelge 3.3. Ölçütlerin normalizasyonu

Ölçütler	Gerçek Değerler	Normalize Edilmiş Değerler
Uzaklık	$[0 \infty)$	$\left[\frac{d_{min}}{d_{max}} \ 1 \right], d'_{ij} = \frac{d_{ij}}{d_{max}}$
Seyahat süresi	$[0 \infty)$	$\left[\frac{t_{min}}{t_{max}} \ 1 \right], t'_{ij} = \frac{t_{ij}}{t_{max}}$
Güvenlik	$[0 \infty)$	$\left[\frac{s_{min}}{s_{max}} \ 1 \right], s'_{ij} = \frac{s_{ij}}{s_{max}}$
Yakıt tüketimi	$[0 \infty)$	$\left[\frac{f_{min}}{f_{max}} \ 1 \right], f'_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_{max}}$

Çizelge 3.3’de mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi için trafik ağı üzerindeki minimum değerler sırasıyla d_{min} , t_{min} , s_{min} ve f_{min} olarak maximum değerler d_{max} , t_{max} , s_{max} ve f_{max} ile gösterilmektedir.

3.3. Sürücü Tercihlerinin Dikkate Alınması

Sürücü tercihlerinin rota planlama işlemine dahil edilmesi amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP uygulanmaktadır. AHP ile sürücü tercihleri ile birlikte rota planlamasında etkili olan her bir ölçütün bağıl önem ağırlıkları hesaplanmaktadır. AHP yönteminin nasıl uygulandığı aşağıdaki örnek üzerinde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

İlk olarak kullanıcı tarafından seçilen ölçütlere (uzaklık, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi) yine kullanıcı tarafından atanan değerlerle belirlenen bağıl önem matrisi oluşturulur.

	Uzaklık	Seyahat süresi	Güvenlik	Yakıt tüketimi
Uzaklık	1	3	7	9
Seyahat süresi	1/3	1	5	9
Güvenlik	1/7	1/5	1	7
Yakıt tüketimi	1/9	1/7	1/7	1

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 9 \\ 0,33 & 1 & 5 & 9 \\ 0,14 & 0,2 & 1 & 7 \\ 0,11 & 0,14 & 0,14 & 1 \end{bmatrix}$$

Daha sonra ölçütlerin yüzde önem dağılımlarını bulmak için Denklem (2.2) uygulanırsa D matrisi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} 0,63 & 0,69 & 0,53 & 0,35 \\ 0,21 & 0,23 & 0,38 & 0,35 \\ 0,09 & 0,05 & 0,08 & 0,27 \\ 0,07 & 0,03 & 0,01 & 0,04 \end{bmatrix}$$

Bir sonraki adımda, Denklem (2.3) uygulanarak D matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınıp öncelik vektörü olarak adlandırılan U sütun vektörü elde edilir.

$$U = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,29 \\ 0,12 \\ 0,04 \end{bmatrix}$$

U sütun vektöründen mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi için hesaplanan bağıl ağırlıklar sırasıyla $u_1 = 0,55$, $u_2 = 0,29$, $u_3 = 0,12$ ve

$u_4 = 0,04$ olarak elde edilir. En son adımda ölçütlerin kıyaslamalarında tutarlılık ölçümü yapılacak olursa $\lambda < 0,10$ olduğu görülür.

3.4. Kullanıcı Karar Stratejilerinin Dahil Edilmesi

Kullanıcı karar stratejilerinin rota planlamaya dâhil edilmesi için OWA operatörü uygulanmaktadır. Böylece her bir ölçüte ait sıralı ağırlıklar hesaplanmaktadır.

Kullanıcı tercihlerinin göz önüne alınmasıyla hesaplanan ölçüt bağıl önem ağırlıkları (u_i), kullanıcı karar stratejilerinin de dahil edildiği Denklem (2.10) ile verilen w_j sıralı ağırlıkların hesabında kullanılır. Burada kullanıcı karar stratejilerinin daha etkili olması için kullanıcı tercihlerine göre ölçüt bağıl önem ağırlıkları (u_i) sıralanabilir.

3.5. Her Bir Ayrıtın Maliyet Hesabı

Bu çalışmada kullanıcı tercihlerinin ve karar stratejilerinin dahil edilmesiyle bulunan ölçüt ağırlıkları ile her bir ayrıt üzerindeki ölçüt değerlerinin birleştirilmesi doğrusal kombinasyon ile yapılmaktadır. Böylece farklı tipteki ölçütlerin tek bir maliyet altında bir araya getirilmesi sağlanmaktadır.

3.6. Rota Planlama

Dijkstra algoritmasının başka bir çeşidi olan A* algoritması sezgisel bir algoritmadır. A* algoritması, sezgiseli ekleyerek başlangıç düğümünden hedef düğüme olan yolun hesaplanması işlemini hızlandırır. Bu durum hem zamandan hem de sezgisel sayesinde daha az sayıda düğüm dikkate alınacağından bellekten kazanç sağlar.

Rota planlamasında $f(n)=g(n)$ fonksiyonunu dikkate alarak en ucuz maliyetli yolun bulunmasını sağlayan Dijkstra algoritması yerine $f(n)=g(n)+h(n)$ fonksiyonunu dikkate alan A* arama algoritması kullanılacağından kabul edilebilir bir sezgisel fonksiyonun tanımlanması gerekmektedir. Burada

$g(n)$: Başlangıç düğümünden bulunan düğüme olan gerçek maliyet
 $h(n)$: Bulunan düğümünden hedef düğüme olan sezgisel maliyet
 $f(n)$: Hedef düğüme ulaşmak için hesaplanan toplam maliyet

dır.

3.6.1. Başlangıç düğümünden bulunan düğüme olan gerçek maliyet ($g(n)$) hesabı

Uygulama için seçilen mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin $g(v_j)$ fonksiyonu için bir araya getirmeliyiz. Mevcut düğümü v_j ve $1 \leq i < j$ için en düşük maliyete sahip komşu düğümünü v_i olarak kabul edelim.

$$g(v_j) = g(v_i) + C_{ij} \quad (3.9)$$

$g(v_j)$: Başlangıç düğümünden v_j düğüme olan gerçek maliyet

$g(v_i)$: Başlangıç düğümünden v_i düğüme olan gerçek maliyet

C_{ij} : v_i ve v_j düğümleri arasında hesaplanan gerçek maliyet

Şimdi C_{ij} 'nin nasıl hesaplandığını görelim. Bunun için Çizelge 3.3'den ve kullanıcı karar stratejilerinin dikkate alınmasıyla hesaplanan sıralı ağırlıklardan w_j yararlanacağız. Mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi için hesaplanan sıralı ağırlıklar sırasıyla w_1, w_2, w_3 ve w_4 ile gösterilsin.

$$C_{ij} = d'_{ij}w_1 + t'_{ij}w_2 + s'_{ij}w_3 + f'_{ij}w_4 \quad (3.10)$$

3.6.2. Bulunan düğümden hedef düğüme olan sezgisel maliyet ($h(n)$) hesabı

Şimdi mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin $h(v_j)$ fonksiyonu için modellemesini oluşturalım. Mevcut düğümü v_j ve $1 \leq j < l \leq k$ için hedef düğümü v_l olarak kabul edelim.

Mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi için tanımlanan sezgisel fonksiyonlar sırasıyla h_d, h_t, h_s ve h_f ile gösterilsin.

$$h_d(v_j) = \sqrt{(x_j - x_l)^2 + (y_j - y_l)^2 + (h_j - h_l)^2} \quad (3.12)$$

Seyahat süresinde ise çizge içerisinde tanımlanan en büyük hız limiti alınarak Denklem (3.13) elde edilir.

$$h_t(v_j) = h_d(v_j)/hl_{max} \quad (3.13)$$

hl_{max} : trafik ağı üzerinde tanımlanan en büyük hız limiti değeri

Denklem (3.3) ile verilen güvenlik modeli için her bir ayrıt üzerinde güvenlik derecesi olan $sdeg_{ij} = 1$ olarak alınırsa $h_s(v_j)$ için oluşturulan model Denklem (3.14)'deki gibi elde edilir.

$$h_s(v_j) = 1^2 h_d(v_j) = h_d(v_j) \quad (3.14)$$

Yakıt tüketiminin $h_f(v_j)$ sezgisel fonksiyonunda kullanılan modeli ise aşağıda tanımlanmıştır. Denklem (3.6)'da ivme ve eğim sıfır olarak kabul edildi ve ortalama hız olarak tüm çizge içerisindeki en düşük ortalama hız (oh_{min}) seçildi.

$$h_{vsp}(v_j) = 0,132oh_{min} + 0,000302oh_{min} \quad (3.15)$$

$$h_f(v_j) = h_{vsp}(v_j) \quad h_t(v_j) = (0,132 + 0,000302oh_{min}^2)h_d(v_j) \quad (3.16)$$

Normalizasyon işlemi Çizelge 3.3'deki gibi yapılırsa $h(v_j)$ Denklem (3.17) deki gibi elde edilir.

$$h(v_j) = h'_d(v_j)w_1 + h'_t(v_j)w_2 + h'_s(v_j)w_3 + h'_f(v_j)w_4 \quad (3.17)$$

Burada $h'_d(v_j)$, $h'_t(v_j)$, $h'_s(v_j)$ ve $h'_f(v_j)$ sırasıyla Denklem (3.12), (3.13), (3.14) ve (3.16) ile bulunan ölçüt sezgisel değerlerinin Çizelge 3.3 ile normalize edilmiş değerleridir.

A* algoritmasında, Dijkstra algoritmasında olduğu gibi göz önüne alınan bölge açıkKüme ve kapalıKüme olmak üzere iki kümeye ayrılır. Burada, başlangıç düğümüne olan en düşük maliyetlerin belirli olduğu düğümlerden oluşan küme kapalıKüme'yi, başlangıç düğümüne olan en düşük maliyetlerin henüz belirli olmadığı düğümlerden oluşan küme açıkKüme'yi oluşturur. Benzer şekilde açıkKüme öncelikli kuyruk veri yapısı ile oluşturularak algoritmanın zaman karmaşıklığında iyileştirme yapılmaktadır. A* algoritması, Şekil 3.3'de gösterilen kaba kod ile açıklanır [32].

```

Fonksiyon AStar(V,E,s,d);
foreach  $v_k$  in V do{
     $g(v_k)=\infty$ ; parent( $v_k$ )=null;
}
 $g(s)=0$ ;
 $f(s)=g(s)+h(s)$ ;
açıkKüme. Ekle(s);
kapalıKüme= $\emptyset$ ;
while açıkKüme! $=\emptyset$  do{
     $v_k$ =açıkKüme. GetirMinMaliyetliDüğüm();
    kapalıKüme. Ekle( $v_k$ );
    if( $v_k=d$ ) then işlemi sonlandır;
    else{
        foreach  $v_j$  in  $v_k$ .komşuListesi{
            if  $v_j \in$  kapalıKüme
                işleme devam et
            if  $v_j \notin$  açıkKüme ve  $g(v_j)>g(v_k)+C_{kj}$  then{
                 $g(v_j)=g(v_k)+C_{kj}$ ;
                parent( $v_j$ )= $v_k$ ;
                 $f(v_j)=g(v_j)+h(v_j)$ ;
                if  $v_j \notin$  açıkKüme then
                    açıkKüme. Ekle( $v_j$ );
            }
        }
    }
}

```

Şekil 3.3. A* algoritması kaba kodu

Genel olarak, en düşük maliyetli yolu bulmayı garanti eden arama algoritması “kabul edilebilir” olarak adlandırılır [32]. A* algoritmasında başlangıç düğümü için g değeri ve hedef düğümü için h değeri daima sıfırdır. A* algoritması $g(n)$ gerçek değerini aşmayan bir sezgisel kullanırsa, bu onun “kabul edilebilir” olduğunu ispatlar. A* algoritması kabul edilebilir yapan sezgisel, “kabul edilebilir sezgisel” olarak adlandırılır. Başlangıç düğümünden, hedef düğüme olan kuş uçuşu mesafe kabul edilebilir sezgisel değere örnek olarak verilebilir. $h(n)$ sezgisel değeri sıfır olarak alındığında, A* algoritması Dijkstra algoritması ile aynı şekilde çalışır. Sezgisel değer sayesinde A* algoritmasında, hedef düğüme daha yakın düğümlerin açıkKüme’ye eklenecek olması arama işleminin hesaplama zamanını kısaltır. Bu yüzden, A* algoritması Dijkstra algoritmasından daha hızlı çalışır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çok ölçütlü rota planlama için önerilen algoritma iki test ortamı üzerinde test edilmektedir. Bunların ilkinde trafik ağına karşılık gelen veriler kişisel gözlemlerden çıkartılarak ufak bir test ortamı oluşturulmaktadır. İkincisinde ise Tomtom navigasyon yazılımından elde edilen veriler kullanılmaktadır. İlk ortam için farklı ölçütler, farklı sürücü tercihleri ve farklı karar stratejileriyle farklı rotaların oluştuğu gözlenmektedir. İkinci test ortamda ise Dijkstra ve A* arama algoritmalarının bellek kullanımı açısından karşılaştırılması yapılmaktadır.

4.1. Küçük Ortam Testi

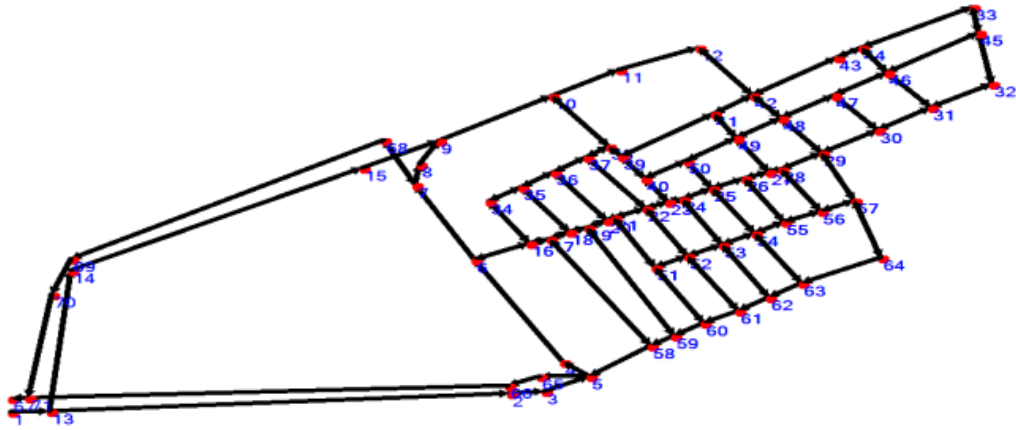
İlk test ortamı için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) yakınındaki Odunpazarı ilçesine ait belirli bir bölge seçilmektedir. Şekil 4.1’de seçilen bölge görülmektedir. Bu bölgenin seçilmesinin en önemli nedeni, değişen hava koşullarına göre değişen yol ölçütleridir. Özellikle kışın, eğimli dar sokaklarda artan kaza riski, sürücülerin kar ve buzlanmaya karşı daha dikkatli olmasını gerektirir. Bu nedenle, bölge sakinleri ESOĞÜ’ye giderken yaza göre kışın daha farklı yolları tercih ederler [33].



Şekil 4.1. Küçük test ortamı gösterimi

Şekil 4.1 ile gösterilen bölgede şerit sayıları (iki veya çok), yol eğimi, yol tipi (ana yol, bölünmüş yol, tek yönlü veya çift yönlü), yol yüzeyi tipi (asfalt veya toprak), yol tipi koşulları (kuru, çamurlu veya ıslak) ve yol genişliği gibi farklı tipte yol koşulları içeren sokaklar bulunmaktadır. Bu durum kışın farklı güvenlik derecelerine sahip yol parçacıklarının oluşmasına neden olmaktadır.

Test ortamının çizge gösterimi Şekil 4.2’de görülmektedir. Kesişim noktaları ve sokaklar sırasıyla düğümler ve ayrıtlar olarak tanımlanmaktadır.

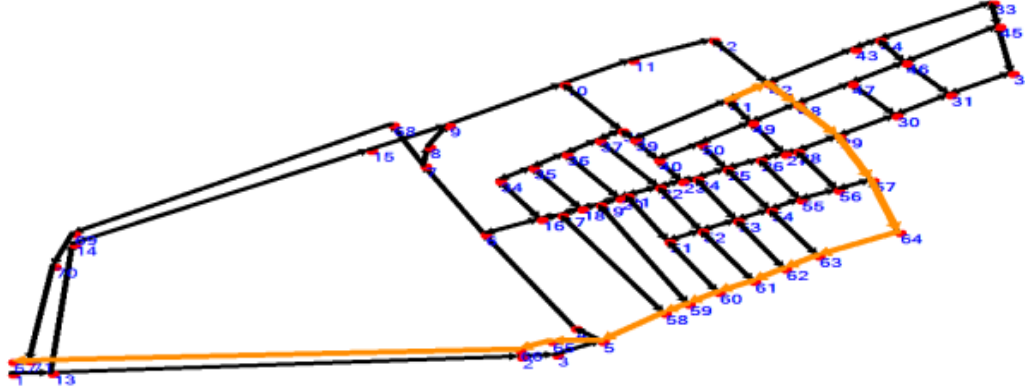


Şekil 4.2. Test ortamının çizge gösterimi

Bu bölgede güvenlik ve güvenlik derecesi arasında ters ilişki olacak şekilde bir güvenlik modeli oluşturulmaktadır, yani güvenlik derecesi arttıkça güvenlik azalır. 1 ile 10 arasındaki sayısal değerler güvenlik derecesini temsil edecek şekilde modelleme yapılmaktadır. İstenmeyen yol koşulları güvenliğin azalmasına neden olur. Örneğin, 41 ile 42 düğümlerini içeren ayrıt tali yol olduğundan sürücünün görüş mesafesi bu sokakta azalır. Bu durum ciddi boyutlu kazaların oluşmasına neden olur. Yazın 5 olan güvenlik derecesi, yol koşullarından dolayı kışın 8 olarak tanımlanmaktadır. Başka bir örnek verecek olursak, 14 ve 15 düğümlerini içeren ayrıt çok şeritli bir yol olduğundan kış ve yaz koşullarındaki güvenlik derecesi sırasıyla 2 ve 1 olarak belirlenmektedir.

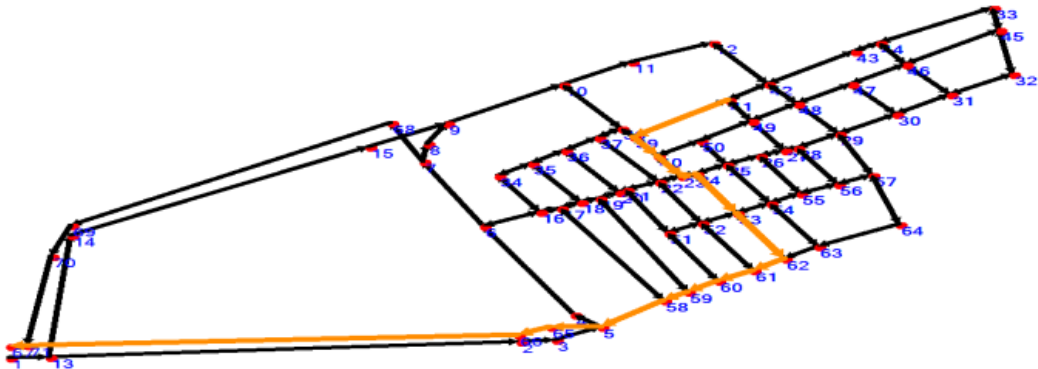
Algoritmanın başarımı sürücünün farklı tercih ve karar stratejisi parametrelerine göre değerlendirilmektedir. Sürücünün 41 ile gösterilen düğüm ile başladığı ve 67 (ESOGÜ Kampus) ile gösterilen düğüme doğru hareket ettiği varsayılmaktadır.

İlk testte, sürücü güvenliğin Çizelge 2.3' den mutlak üstün bir öneme sahip olduğunu ve Çizelge 2.5' den en az bir ($\alpha = 0$) karar stratejisini seçtiği kabul edilmektedir. Buna göre, bağıl ağırlıklar güvenlik için $u_1 = 0,9$ ve seyahat süresi için $u_2 = 0,1$ olarak hesaplanmaktadır. Güvenlik ve seyahat süresi için sıralı ağırlıklar ise sırasıyla $w_1 = 1$ ve $w_2 = 0$ olarak belirlenmektedir. Bu parametrelere göre, kış koşullarındaki en güvenli yol Şekil 4.3 ile gösterilmektedir.



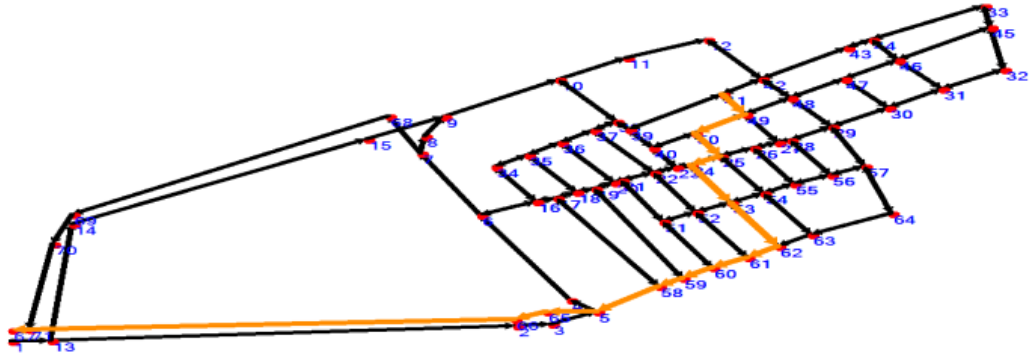
Şekil 4.3. Kış koşullarındaki en güvenli rota

Yol güvenlik dereceleri hava koşullarına göre değişebilir. Yol koşullarına bağlı kaza riski yazın azalır. Bu amaçla ikinci testte yaz koşullarını içeren ve ilk testle aynı parametrelere sahip Şekil 4.4 ile gösterilen yeni bir rota hesaplanmaktadır. Şekil 4.4'deki rotanın ulaşım ağının ortasından geçtiğine dikkat ediniz. Bu durumun nedeni, bu bölgedeki yol güvenlik parametrelerinin azalmasıdır.



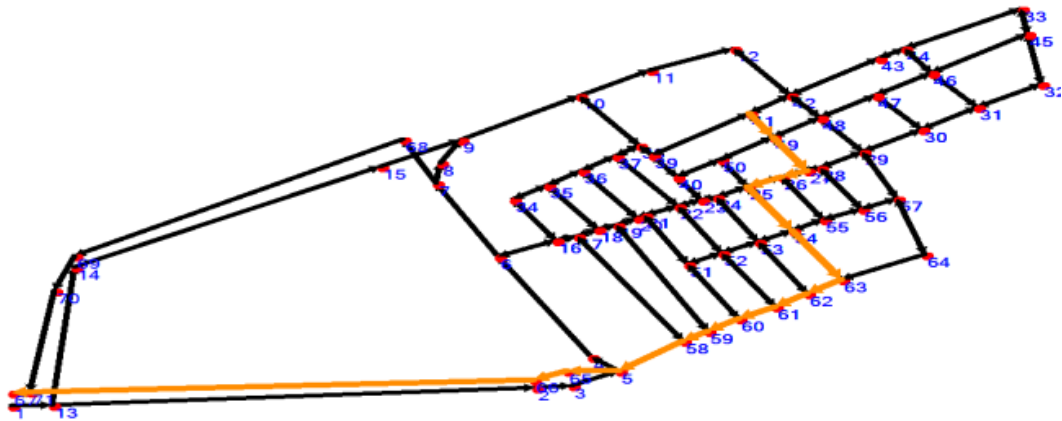
Şekil 4.4. Yaz koşullarındaki en güvenli rota

En hızlı rotayı göstermek amacıyla ilk testteki bağıl önem değerleri değiştirilmektedir. Yeni testte, sürücünün seyahat süresinin güvenlik üzerindeki önemini değerlendirebilmesi için Çizelge 2.3’den “en önemli” dilsel terimini ve ilk testteki ile aynı karar stratejisini seçtiği kabul edilmektedir. Buna göre, birinci ve ikinci testlerin aksine program en düşük süreye sahip rotayı bulmaktadır. Seyahat süresi ve güvenlik ölçütlerinin bağıl ağırlıkları yeniden düzenlenip sırasıyla $u_1 = 0,9$ ve $u_2 = 0,1$ olarak bulunmaktadır. Seyahat süresi ve güvenlik için sıralı ağırlıklar ise sırasıyla $w_1 = 1$ ve $w_2 = 0$ olarak hesaplanmaktadır. Bu yeni bağıl ağırlıklara göre bulunan en hızlı rota Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Kış koşullarındaki en hızlı rota

Önceki testlere bakıldığında karar stratejisinin Çizelge 2.5’den “en az bir” ($\alpha = 0$) olarak alındığı görülmektedir. Birden fazla ölçütü bir araya getirmek için karar stratejisi “en fazla” ($\alpha = 5$) olarak alınabilir. Bu durumda, ilk test ile aynı bağıl ağırlıklara sahip güvenlik ve seyahat süresi ölçütlerinin sıralı ağırlıkları sırasıyla $w_1 = 0,59$ ve $w_2 = 0,41$ olarak hesaplanır. Bu parametrelere göre bulunan rota Şekil 4.6 ‘da görülmektedir.

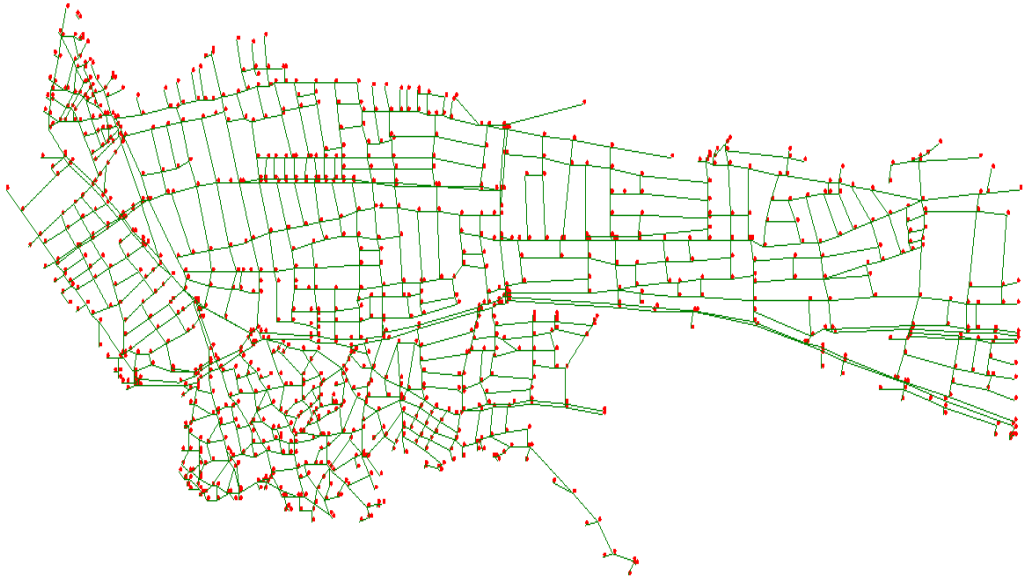


Şekil 4.6. Kış koşullarındaki en güvenli ve en hızlı rota



Şekil 4.8. Büyük test ortamı gösterimi

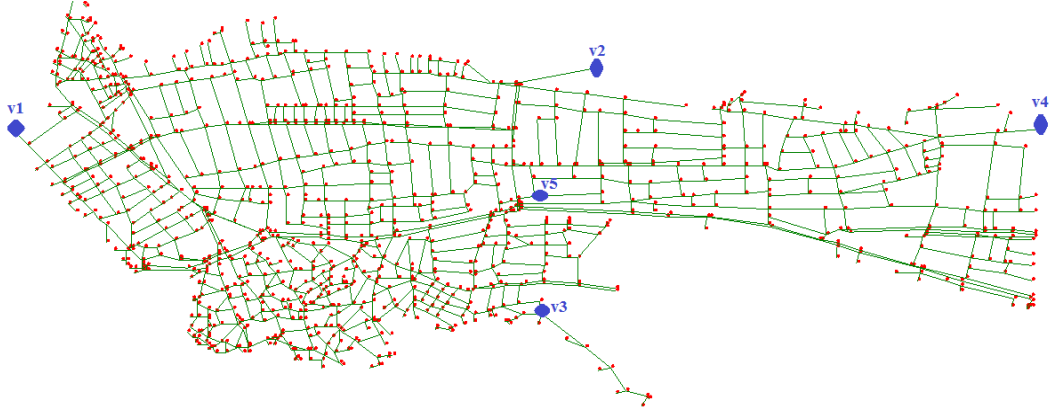
Test ortamının çizge gösterimi Şekil 4.9’da görülmektedir. Kesişim noktaları ve sokaklar sırasıyla düğümler ve ayrıtlar olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede 1165 düğüm ve 2895 ayrıt bulunmaktadır.



Şekil 4.9. Büyük test ortamının çizge gösterimi

Büyük ortam testi için Şekil 4.10’da v_1, v_2, v_3, v_4 ve v_5 ile gösterilen beş farklı düğüm başlangıç düğümleri olarak seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt

tüketimi ise kullanıcının tercih ettiği ölçütler olarak seçilmektedir. Dijkstra ve A* algoritmaları kullanılarak seçilen her bir düğümden çizge içerisindeki tüm düğümlere olan rotalar hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalarda algoritmalar kapalıKüme'ye eklenen düğüm sayısı açısından karşılaştırılır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.10. Test ortamında seçilen beş düğümün gösterimi

Herhangi bir başlangıç düğümünden diğer tüm düğümlere hesaplanan rotalardaki kapalıKüme'ye giren düğüm sayısı değerleri dikkate alınarak Çizelge 4.1 oluşturulmaktadır. Bu çizelgede sonuçları yer alan test için rota planlanmasında etkili olan seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin her birinin sürücü için “aynı önemde” (Çizelge 2.3) olduğu kabul edilerek bağlı ağırlıkları sırasıyla $u_1 = 0,25$, $u_2 = 0,25$, $u_3 = 0,25$ ve $u_4 = 0,25$ olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 2.5'den $\alpha = 1$ seçilerek her bir ölçütün aynı sıralı ağırlıklara sahip olması sağlanmaktadır. Bu sıralı ağırlıklar mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi için sırasıyla $w_1 = 0,25$, $w_2 = 0,25$, $w_3 = 0,25$ ve $w_4 = 0,25$ olarak elde edilmektedir. Bu testteki başlangıç düğümleri v_1 ve v_2 'den çizge içerisindeki tüm düğümlere Dijkstra ve A* algoritmaları ile rota hesaplama sırasında kapalıKüme'de oluşan düğüm sayıları Ek'de detaylı olarak verilmektedir. Bu çizelgedeki her bir satır, seçilen başlangıç düğümünü göstermektedir. Çizelgedeki sütunlar ise ilgili başlangıç düğümünden tüm düğümlere hesaplanan

rotalar için Dijkstra ve A* algoritmalarında kapalıKüme'ye eklenen maximum ve ortalama düğüm sayısıdır.

Çizelge 4.1. Büyük ortam için yapılan test sonuçları 1

	DIJKSTRA			A*			İyileşme%
	kapalıKüme'deki Düğüm Sayısı			kapalıKüme'deki Düğüm Sayısı			
	Max.	Ort.	σ	Max.	Ort.	σ	Ort. Değerler Bazında
v_1	1140	571	328,95	1103	426,92	271,90	%25
v_2	1140	571	328,95	1128	385,20	304,78	%33
v_3	1140	571	328,95	741	290,62	175,46	%49
v_4	1140	571	328,94	1127	455,74	278,53	%20
v_5	1140	571	328,94	1125	339,65	269,52	%41

Çizelge 4.1'e göre A* algoritması ile her bir başlangıç düğümü için kapalıKüme'ye daha az sayıda düğüm eklenmektedir. Bu çizelgeye göre v_1 başlangıç düğümünden çizge içerisindeki tüm düğümlere rotalar hesaplandığında kapalıKüme'ye eklenen ortalama düğüm sayısında % **25** kazanç sağlanmaktadır. Benzer şekilde, diğer başlangıç düğümleri için elde edilen kazançlar bu çizelgenin en son sütununda görülmektedir. Bu testten sonra, sezgisel fonksiyonların gerçek değerlere yaklaştıkça A* algoritmasından daha iyi sonuç alınabileceğini göstermek için sonuçların Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 ile gösterildiği iki farklı test daha yapılmaktadır.

Çizelge 4.2. Büyük ortam için yapılan test sonuçları 2

	DIJKSTRA			A*			İyileşme%
	kapalıKüme'deki Düğüm Sayısı			kapalıKüme'deki Düğüm Sayısı			
	Max.	Ort.	σ	Max.	Ort.	σ	Ort. Değerler Bazında
v_1	1140	571	328,95	959	389,64	246,74	%32
v_2	1140	571	328,95	1126	341,13	278,79	%40
v_3	1140	571	328,95	685	255,68	158,91	%55
v_4	1140	571	328,94	1123	428,09	263,25	%25
v_5	1140	571	328,94	1068	298,82	242,40	%47

Çizelge 4.2’de sonuçları yer alan test için kullanıcının seyahat süresi ve mesafe ölçütleri açısından optimize edilmiş rotaları tercih ettiği kullanıcı tercihleri ve karar stratejileri göz önüne alınmaktadır. Bu amaçla seyahat süresi ve mesafe ölçütlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasında Çizelge 2.3’den “aynı önemde” dilsel terimi seçilmektedir. Seyahat süresi ve mesafenin güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütleri ile karşılaştırılmalarında ise Çizelge 2.3’den “en önemli” dilsel terimi seçilmektedir. Bunların sonucunda seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin bağıl ağırlıkları sırasıyla yaklaşık olarak $u_1 = 0,4$, $u_2 = 0,4$, $u_3 = 0,1$ ve $u_4 = 0,1$ olarak hesaplanmaktadır. İlk test ile aynı karar stratejisi alınarak mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin sıralı ağırlıkları sırasıyla $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,1$ ve $w_4 = 0,1$ olarak elde edilmektedir. İlk testte göre bu testten A* algoritması ile kapalıKüme’ye eklenen düğümler açısından daha iyi başarımlar elde edilmektedir. Örneğin Çizelge 4.1’de v_1 düğümü için elde edilen kazanç %25 iken bu çizelgede karşılık gelen değer %32’dir. Çizelge 4.2’nin geneline bakıldığında %7 daha fazla bellek kazancı sağlanmaktadır. Sezgisel fonksiyonun, ilk teste göre gerçeğe daha yakın değere sahip olması bu durumun en önemli nedenidir.

Çizelge 4.3. Büyük ortam için yapılan test sonuçları 3

	DIJKSTRA			A*			İyileşme%
	kapalıKüme’deki Düğüm Sayısı			kapalıKüme’deki Düğüm Sayısı			
	Max.	Ort.	σ	Max.	Ort.	σ	Ort. Değerler Bazında
v_1	1140	571	328,95	1130	452,02	268,88	%21
v_2	1140	571	328,95	1138	463,33	342,83	%19
v_3	1140	571	328,95	839	337,97	197,31	%41
v_4	1140	571	328,95	1138	514,85	318,42	%10
v_5	1140	571	328,95	1140	439,76	334,87	%23

Son test için kullanıcının güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütleri açısından optimize edilmiş rotaları tercih ettiği kullanıcı tercihleri ve karar stratejileri göz önüne alınmaktadır. Bu amaçla güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasında Çizelge 2.3’den “aynı önemde” dilsel terimi seçilmektedir. Güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin seyahat süresi ve mesafe ölçütleri ile

karşılaştırılmalarında ise Çizelge 2.3'den “en önemli” dilsel terimi seçilmektedir. Bunların sonucunda seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin bağıl ağırlıkları sırasıyla yaklaşık olarak $u_1 = 0,1$, $u_2 = 0,1$, $u_3 = 0,4$ ve $u_4 = 0,4$ olarak hesaplanmaktadır. İlk test ile aynı karar stratejisi alınarak mesafe, seyahat süresi, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütlerinin sıralı ağırlıkları sırasıyla $w_1 = 0,1$, $w_2 = 0,1$, $w_3 = 0,4$ ve $w_4 = 0,4$ olarak elde edilmektedir. Diğer testlere göre bu testte kazanılan bellek açısından daha kötü başarımların gözlenmesinin nedeni, sezgisel fonksiyonun, gerçek değerinden diğer testlerdekine göre daha uzak olmasıdır.

Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3 incelendiğinde A* algoritmasının Dijkstra algoritmasına göre daha az sayıda düğüm açarak rota planlandığı görülmüştür. A* algoritması ile kapalıKüme'ye eklenen düğüm sayısında sezgisel fonksiyon gerçek değere daha yakın tanımlandıkça bellekten daha fazla kazanç sağlanacaktır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada çok ölçütlü rota planlama için sezgisel fonksiyon tanımlanarak A* algoritmasının kullanımı önerilmektedir. Uygulamada seyahat süresi, mesafe, güvenlik ve yakıt tüketimi ölçütleri göz önüne alınmaktadır. Kullanıcı tercihlerini ve karar stratejilerini bir araya getirerek ölçüt ağırlıklarını belirleyen AHP yöntemi ve OWA operatörleri kullanılmaktadır.

Testler için Tomtom navigasyon yazılımından [29] elde edilen verilerdeki seyahat süresi ve mesafe için sayısal değerler kullanılırken güvenlik ve yakıt tüketimi için modeller önerilmektedir. Böylece Tomtom'dan elde edilen verilerle birlikte her bir ayrıt üzerinde bu ölçütlerin sayısal olarak ifade edilebilmesi sağlanmaktadır. Ölçütlerin sayısal değerleri ile bulunan ağırlıklarını bir araya getirilip tek bir maliyet oluşturulmasında ise doğrusal birleşim işlemi uygulanmaktadır.

Çalışma sırasında iki tip test yapılmaktadır. Yapılan küçük ortam testlerinde çok ölçütlü rota planlamanın fonksiyonelliği irdelenmektedir. Büyük ortam testlerinde ise Tomtom navigasyon yazılımından elde edilen veriler kullanılmaktadır. Burada Dijkstra ve A* arama algoritmalarının bellek kullanımı açısından karşılaştırılması yapılmaktadır. Sonuç olarak, çok ölçütlü rota planlamada da sezgisel kullanıldığında, A* algoritmasından Dijkstra algoritmasına göre bellek kullanımı açısından daha iyi başarımlar elde edildiği görülmektedir.

Gelecekte yapılabilecek çalışmalar arasında, sürücülerin daha önce yaptığı rota tercihlerinden yararlanarak sürücü tercihleri öğrenilebilir. Böylece kullanıcı müdahalesi olmadan yazılımın öğrenilen sürücü tercihiye göre rota sunması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Herbert, W., Mili, F., "Route Guidance: state of the art vs. state of the practice", *2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, **1-3**, 988-995, 2008.
- [2] Fu, L., Sun, D., Rilett, LR., "Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: state of the art", *Computers & Operations Research*, **33**, Sayı **11**, 3324-3343, 2006.
- [3] Khanjary, M., "Route guidance systems: review and classification", *Telematics and Information Systems (EATIS), 2012 6th Euro American Conference on*, 1-7, 2002.
- [4] Fu, LP., "An adaptive routing algorithm for in-vehicle route guidance systems with real-time information", *Transportation Research Part B-Methodological*, **35**, Sayı **8**, 749-765, 2001.
- [5] Huang, B., Wu, Q., Zhan, F.B., "A shortest path algorithm with novel heuristics for dynamic transportation networks", *International Journal of Geographical Information Science*, **21**, Sayı **6**, 625-644, 2007.
- [6] Bovy, P., Stern, E., "Route choice: wayfinding in transport networks", *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, **27**, Sayı **4**, 338-339, 1993.
- [7] Byung, K., Jung-Bok, J., Jong-Ryul, K., Mitsuo, G., "Optimal Route search in car navigation Systems by multi-objective genetic algorithms", *International Journal of Information Systems for Logistics and Management*, **4**, 2009.
- [8] Kuo, Y., "Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem", *Computers & Industrial Engineering*, **59**, Sayı **1**, 2010.
- [9] Kanoh, H., Hara, K., "Hybrid genetic algorithm for dynamic multi-objective route planning with predicted traffic in a real-world road network", *GECCO '08 Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 657-664, 2008.

- [10] Wahle, J., Annen, O., Schuster, Ch., Neubert, L., Schreckenberg, M., “A dynamic route guidance system based on real traffic data”, *European Journal of Operational Research*, **131**, Sayı **2**, 302-308, 2001.
- [11] Chen, T.Y., Chang, H.L., Tzeng, G.H., “Using a weight-assessing model to identify route choice criteria and information effects”, *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, **35**, Sayı **3**, 197-224, 2001.
- [12] Pang, G.K.H., Takahashi, K., Yokota, T., “Intelligent route selection for in-vehicle navigation systems”, *Transportation Planning and Technology*, **25**, Sayı **3**, 175-213, 2002.
- [13] Sun, Y., Wu, Y., Sun, Zheng, “Optimal Route selection Method based on grey incidence analysis”, *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, **1-6**, 2495-2499, 2007.
- [14] Mainali, M.K., Shimada, K., Mabu, S., Hirasawa, K., “Multi-objective optimal route search for road networks by dynamic programming”, *2008 Proceedings of Sice Annual Conference*, **1-7**, 597-601, 2008.
- [15] Lin, I.C., Chou, S.Y., Hsu, H.Y., “Developing adaptive driving route guidance systems based on fuzzy neural network”, *2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2009)*, **1-9**, 4293-4298, 2009.
- [16] Niaraki, A.S., Kim, K., “Ontology based personalized route planning system using a multi-criteria decision making approach”, *Expert Systems with Applications*, **36**, Sayfa **2**, 2250-2259, 2009.
- [17] Nadi, S., Delavar, M. R., “Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **13**, Sayfa **3**, 322-335, 2011
- [18] Gross, J., Yellen, J., *Graph theory and its application*, CRC Pres, Washington D.C., 1999.
- [19] Arslan, T., Khisty, C.J., “A rational reasoning method from fuzzy perceptions in route choice”, *Fuzzy Sets and Systems*, **150**, Sayı **3**, 419-435, 2005.

- [20] Niaraki, A.S., Varshosaz, M., "Evaluating the parameters affecting segments of a road network", *Map India Conference 2004*, 2004.
- [21] Niaraki, A.S., Kim, K.; Varshosaz, M., "Multi-criteria decision-based model for road network process", *International Journal of Environmental Research*, **4**, Sayı **4**, 573-582, 2010.
- [22] Niaraki, A.S., Varshosaz, M., Kim, K., et al., "Real world representation of a road network for route planning in GIS", *Expert Systems with Applications*, **38**, Sayı **10**, 11999-12008, 2011.
- [23] Niaraki, A.S., *Ontology based geospatial model for personalize route finding*, doctoral thesis, Inha University, Geoinformatic Engineering, Korea, 2008.
- [24] Hu, J., Kaparias, I., Bell, M. G. H., "Spatial econometrics models for congestion prediction with in-vehicle route guidance", *IET Intelligent Transport Systems*, **3**, Sayı **2**, 159-167, 2009.
- [25] Saaty, T.L., *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York, 67-112, 1980.
- [26] Saaty, T.L., *Decision making with dependence and feedback: the analytic network process*, RWS Publ, Pittsburgh, 1996..
- [27] Yager, R.R., "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **18**, Sayı **1**, 183-190, 1988.
- [28] Dijkstra, E. W. , "A note on two problems in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*, **1**, Sayı **1**, 269-271, 1959.
- [29] www.infotech.com
- [30] Coelho, M. C., Frey, H. C., Roupail, N. M., et al., "Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements", *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, **14**, Sayı **2**, 91-99, 2009.
- [31] Malczewski, J. , *GIS and multicriteria decision analysis*, Wiley, New York, 1999.

- [32] Chabini, I., Lan, S., "Adaptations of the A* algorithm for the computation of fastest paths in deterministic discrete-time dynamic networks", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **3**, Sayı **2**, 60-74, 2002.
- [33] Bozkurt, S., Yazici, A., Keskin, K., "A multicriteria route planning approach considering driver preferences", *Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2012 IEEE International Conference*, **3**, Sayı **1**, 324-328, 2012.

EK: Bir başlangıç noktasından çizgedeki diğer tüm düğümlere olan rota hesabının Dijkstra ve A* algoritmaları ile bellek kullanımı açısından karşılaştırılması

Hedef Düğüm	v_1		v_2	
	Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
1	310	214	248	93
2	314	231	262	101
3	363	324	125	44
4	366	328	121	40
5	698	426	4	3
6	615	408	11	5
7	354	317	142	50
8	358	318	149	55
9	581	420	18	4
10	532	389	28	9
11	121	56	543	290
12	119	55	569	302
13	152	80	516	272
14	154	89	524	279
15	142	71	526	271
16	143	72	527	272
17	134	62	535	281
18	107	49	525	265
19	348	307	158	59
20	352	315	181	68
21	777	455	6	3
22	94	45	536	269
23	140	64	505	254
24	146	76	513	264
25	83	37	514	247
26	288	203	314	137
27	49	14	601	321
28	58	19	586	292
29	356	322	193	85
30	307	238	281	132
31	872	515	38	9
32	257	170	321	151
33	1112	797	430	153
34	1022	647	187	75
35	177	69	458	221

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
36	202	124	493	275	
37	190	99	478	247	
38	17	8	651	406	
39	289	213	261	107	
40	336	255	190	71	
41	434	352	88	23	
42	811	492	8	3	
43	778	469	3	2	
44	241	142	351	163	
45	227	131	370	173	
46	42	19	595	339	
47	293	198	277	101	
48	230	153	374	172	
49	247	162	353	152	
50	264	185	439	210	
51	81	34	551	262	
52	90	37	565	281	
53	78	28	564	265	
54	57	15	607	309	
55	63	17	600	298	
56	138	67	523	254	
57	158	78	547	283	
58	56	14	610	318	
59	59	16	614	327	
60	131	33	634	338	
61	155	63	640	365	
62	101	45	529	253	
63	347	298	175	65	
64	304	225	296	121	
65	291	208	315	138	
66	302	228	239	97	
67	998	611	129	48	
68	211	136	486	271	
69	383	327	102	38	
70	446	346	65	27	
71	157	85	568	310	
72	159	80	589	326	
73	980	597	108	42	
74	958	573	85	27	
75	988	603	116	46	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
76	995	604	124	46	
77	6	3	663	413	
78	12	4	646	394	
79	7	4	671	430	
80	261	178	323	131	
81	272	187	313	117	
82	116	49	496	233	
83	133	57	502	246	
84	331	274	197	70	
85	530	387	29	10	
86	521	384	31	11	
87	123	55	510	252	
88	98	42	503	239	
89	187	109	518	285	
90	198	119	545	312	
91	1030	657	189	71	
92	319	256	201	83	
93	327	281	208	91	
94	14	6	655	415	
95	69	21	599	295	
96	75	28	590	282	
97	84	38	540	258	
98	96	43	550	268	
99	218	134	397	183	
100	226	143	389	176	
101	245	173	443	213	
102	333	292	204	84	
103	324	267	212	92	
104	469	357	51	16	
105	491	375	40	13	
106	409	342	90	27	
107	337	287	174	66	
108	346	308	170	65	
109	748	450	1	1	
110	359	313	145	55	
111	355	311	138	52	
112	232	160	441	209	
113	381	330	119	41	
114	389	335	112	38	
115	405	339	104	35	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
116	163	73	475	218	
117	194	95	445	206	
118	184	99	488	235	
119	290	195	366	157	
120	303	207	359	153	
121	103	37	596	306	
122	118	44	591	294	
123	79	32	528	250	
124	171	42	662	370	
125	139	37	638	341	
126	851	504	34	10	
127	137	64	583	314	
128	162	97	531	283	
129	399	339	107	44	
130	213	127	406	190	
131	77	30	585	280	
132	113	41	608	313	
133	252	171	337	144	
134	263	185	355	154	
135	144	65	553	267	
136	87	35	582	293	
137	72	27	574	270	
138	317	248	228	97	
139	316	235	272	112	
140	32	11	690	437	
141	282	192	293	106	
142	91	36	579	291	
143	100	42	570	276	
144	128	45	611	328	
145	151	57	623	350	
146	149	47	631	346	
147	66	24	572	278	
148	276	196	328	155	
149	265	188	333	148	
150	898	533	48	13	
151	909	550	52	15	
152	723	439	2	2	
153	646	432	5	3	
154	912	542	53	14	
155	921	553	60	17	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
156	1004	617	143	52	
157	13	5	639	389	
158	203	113	427	195	
159	215	139	454	214	
160	737	484	17	6	
161	700	451	10	4	
162	256	164	318	145	
163	268	189	304	118	
164	258	170	312	138	
165	273	192	292	115	
166	236	140	354	167	
167	269	181	305	135	
168	279	198	285	111	
169	175	110	541	293	
170	205	125	465	221	
171	130	32	633	337	
172	106	30	627	344	
173	278	191	295	131	
174	283	205	270	109	
175	298	216	264	116	
176	300	223	242	99	
177	286	201	282	127	
178	292	215	259	106	
179	308	240	258	116	
180	306	230	231	94	
181	315	253	246	106	
182	313	240	220	93	
183	321	267	229	100	
184	318	247	207	87	
185	329	285	226	100	
186	207	133	455	222	
187	225	154	464	241	
188	197	104	436	203	
189	60	22	588	310	
190	259	183	346	156	
191	248	174	363	171	
192	242	167	379	179	
193	53	17	594	317	
194	62	22	580	282	
195	457	363	70	17	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
196	500	382	43	15	
197	351	310	164	60	
198	35	10	625	360	
199	44	13	615	332	
200	367	327	159	66	
201	415	349	123	49	
202	1032	658	191	71	
203	1025	649	182	65	
204	1013	638	184	79	
205	1006	629	166	72	
206	170	78	497	265	
207	136	54	481	241	
208	1084	739	365	139	
209	1049	653	288	107	
210	1044	683	213	87	
211	996	616	148	64	
212	277	189	306	114	
213	92	28	620	335	
214	76	25	609	301	
215	281	194	324	129	
216	266	186	442	215	
217	109	45	498	237	
218	95	40	506	242	
219	110	50	519	249	
220	447	357	78	18	
221	231	159	476	263	
222	200	89	420	200	
223	217	113	387	183	
224	465	359	79	35	
225	421	350	126	53	
226	488	365	93	42	
227	495	373	96	44	
228	502	375	99	48	
229	93	48	753	536	
230	112	55	603	345	
231	829	510	16	6	
232	893	542	42	11	
233	104	47	539	261	
234	125	57	533	258	
235	97	41	557	270	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
236	301	217	286	109	
237	275	190	340	141	
238	285	193	393	176	
239	280	195	349	157	
240	371	326	134	46	
241	80	37	560	282	
242	65	25	549	262	
243	451	343	721	448	
244	432	330	696	434	
245	882	767	1058	954	
246	397	308	666	401	
247	783	622	988	784	
248	1052	695	294	121	
249	1059	708	309	130	
250	1048	671	283	113	
251	508	394	157	69	
252	483	379	173	82	
253	349	314	344	183	
254	361	328	373	204	
255	513	391	156	72	
256	547	403	137	59	
257	382	339	256	124	
258	362	325	284	138	
259	11	5	650	392	
260	3	3	692	430	
261	2	2	722	461	
262	511	412	411	245	
263	639	451	880	591	
264	653	466	892	596	
265	676	486	909	611	
266	635	456	877	579	
267	814	665	1011	845	
268	823	686	1016	875	
269	643	436	883	616	
270	669	451	903	641	
271	649	449	888	618	
272	695	486	926	636	
273	579	399	833	534	
274	647	444	886	606	
275	720	520	942	656	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
276	742	542	955	692	
277	714	502	939	637	
278	652	440	891	619	
279	692	458	924	653	
280	244	140	612	364	
281	196	73	637	381	
282	181	69	621	363	
283	942	606	122	59	
284	966	634	139	66	
285	1002	673	192	90	
286	1031	716	250	108	
287	1063	775	326	136	
288	662	451	899	614	
289	658	449	896	612	
290	648	445	887	608	
291	762	548	972	696	
292	712	500	938	650	
293	721	508	943	660	
294	715	506	940	647	
295	703	481	931	614	
296	710	495	936	634	
297	1	1	764	477	
298	427	352	183	81	
299	394	343	188	84	
300	26	10	641	392	
301	452	371	152	67	
302	386	342	234	111	
303	376	338	217	95	
304	1053	670	298	115	
305	1075	712	350	132	
306	50	26	700	480	
307	1056	681	300	117	
308	835	537	45	22	
309	847	549	56	26	
310	975	612	151	75	
311	982	626	161	79	
312	923	789	1083	982	
313	926	796	1085	988	
314	642	457	462	266	
315	656	465	469	271	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
316	64	29	699	455	
317	45	15	727	471	
318	37	13	744	503	
319	590	439	223	103	
320	529	418	279	141	
321	520	421	265	133	
322	952	576	84	25	
323	932	556	98	42	
324	681	458	26	10	
325	716	468	20	7	
326	637	446	35	14	
327	725	469	19	6	
328	760	482	14	4	
329	767	484	15	5	
330	786	495	23	10	
331	791	496	24	12	
332	506	403	291	147	
333	484	395	267	131	
334	235	138	598	355	
335	164	61	647	388	
336	911	593	417	216	
337	471	382	317	170	
338	456	377	297	154	
339	1005	603	186	75	
340	1012	616	200	84	
341	939	818	1091	1006	
342	954	859	1099	1048	
343	1089	827	392	157	
344	468	372	332	184	
345	516	405	377	225	
346	749	575	960	715	
347	804	655	1004	831	
348	793	635	995	798	
349	604	465	853	571	
350	724	550	945	684	
351	1118	1003	447	185	
352	1109	960	435	170	
353	1079	885	372	147	
354	528	405	800	506	
355	634	447	876	583	

v_1		v_2	
Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
356	577	414	831
357	798	635	1000
358	622	419	865
359	636	434	878
360	621	427	864
361	641	439	882
362	645	477	885
363	593	407	843
364	907	821	1075
365	915	824	1077
366	1055	948	1137
367	1062	961	1139
368	169	65	463
369	816	507	9
370	38	17	604
371	24	13	618
372	934	568	68
373	1036	638	245
374	1042	645	266
375	552	406	141
376	565	414	147
377	534	401	146
378	86	42	684
379	41	17	739
380	734	497	227
381	736	501	232
382	372	314	636
383	274	208	584
384	450	373	322
385	449	372	331
386	944	832	1092
387	419	353	388
388	444	370	413
389	402	342	412
390	699	464	929
391	1008	944	1126
392	993	914	1121
393	967	874	1109
394	757	578	968
395	751	574	962

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
396	1083	902	376	151	
397	1110	972	437	174	
398	473	352	749	476	
399	503	370	784	512	
400	512	372	789	523	
401	685	524	917	650	
402	707	537	933	671	
403	654	508	893	629	
404	672	519	906	646	
405	443	331	714	439	
406	458	342	728	451	
407	827	683	1020	860	
408	838	707	1028	881	
409	454	372	327	181	
410	470	394	310	166	
411	441	359	341	195	
412	903	761	1073	950	
413	917	773	1079	965	
414	538	427	431	251	
415	567	440	451	273	
416	439	354	471	284	
417	991	646	171	83	
418	54	17	741	487	
419	408	342	375	220	
420	385	330	400	235	
421	127	47	678	417	
422	420	349	456	269	
423	391	332	423	250	
424	380	318	408	239	
425	674	452	907	646	
426	683	485	915	644	
427	660	470	897	619	
428	1064	965	1140	1125	
429	964	859	1107	1041	
430	1019	924	1131	1099	
431	1037	944	1133	1119	
432	665	448	901	627	
433	562	416	823	528	
434	537	403	805	511	
435	822	671	1015	849	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
436	808	655	1008	825	
437	305	239	483	303	
438	312	257	492	310	
439	311	258	489	303	
440	487	394	238	113	
441	504	408	253	124	
442	1057	695	303	122	
443	1061	750	316	130	
444	479	392	271	137	
445	466	379	260	125	
446	573	433	215	98	
447	543	417	199	90	
448	885	563	81	35	
449	896	570	92	41	
450	856	550	63	32	
451	442	364	287	143	
452	1043	701	268	113	
453	507	417	405	243	
454	673	475	206	94	
455	435	355	466	283	
456	459	373	485	305	
457	536	432	429	259	
458	616	472	860	581	
459	609	465	855	574	
460	594	452	844	550	
461	792	630	994	788	
462	806	653	1006	825	
463	1128	1037	480	205	
464	1134	1063	504	218	
465	916	818	1078	1007	
466	901	791	1071	977	
467	626	479	868	593	
468	467	348	738	459	
469	592	451	842	552	
470	563	426	824	533	
471	1040	966	1135	1128	
472	963	875	1106	1065	
473	981	901	1115	1080	
474	997	927	1123	1099	
475	818	663	1012	836	

v_1		v_2	
Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
476	949	868	1095
477	788	626	991
478	807	654	1007
479	481	363	761
480	477	374	754
481	461	353	732
482	887	783	1061
483	505	385	785
484	497	389	779
485	524	395	796
486	860	736	1043
487	865	745	1047
488	855	730	1040
489	564	427	825
490	494	373	774
491	480	356	760
492	842	706	1030
493	831	681	1023
494	755	555	966
495	741	512	954
496	920	573	95
497	924	578	105
498	436	362	335
499	1020	662	211
500	1007	635	195
501	972	607	136
502	974	611	150
503	440	344	712
504	955	853	1100
505	1086	921	384
506	1091	954	398
507	1092	955	399
508	758	582	969
509	738	563	952
510	1011	946	1128
511	697	533	928
512	644	457	884
513	657	465	895
514	754	542	965
515	732	526	949

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
516	640	440	881	608	
517	630	423	872	598	
518	759	550	970	691	
519	784	598	989	764	
520	448	332	718	442	
521	482	357	763	471	
522	614	467	859	579	
523	866	746	1048	930	
524	864	735	1046	917	
525	773	585	981	734	
526	603	462	852	569	
527	492	363	772	487	
528	485	361	768	475	
529	670	452	904	632	
530	701	465	930	645	
531	67	36	720	514	
532	82	43	742	538	
533	908	560	55	15	
534	840	524	25	10	
535	810	508	13	5	
536	1094	737	386	139	
537	19	8	630	371	
538	29	13	673	429	
539	18	8	649	399	
540	1060	959	1138	1124	
541	977	579	144	59	
542	992	588	163	64	
543	990	604	160	73	
544	4	4	706	447	
545	9	5	670	416	
546	237	121	499	318	
547	249	141	517	333	
548	254	152	403	217	
549	1024	627	221	96	
550	365	329	275	135	
551	325	280	301	149	
552	970	589	133	62	
553	979	610	131	59	
554	401	350	252	117	
555	61	33	724	522	

v_1		v_2	
Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
556	904	557	57
557	70	41	737
558	353	315	352
559	406	343	209
560	933	559	100
561	341	300	320
562	1028	637	237
563	945	564	109
564	20	9	694
565	1058	712	308
566	551	431	438
567	360	328	362
568	765	536	975
569	1039	936	1134
570	785	585	990
571	797	605	999
572	1010	651	203
573	1074	781	347
574	726	491	224
575	1123	886	453
576	1113	862	433
577	243	133	501
578	251	169	520
579	214	91	554
580	407	344	269
581	853	546	58
582	874	556	74
583	836	528	47
584	68	36	710
585	89	45	654
586	55	27	716
587	21	10	775
588	23	11	777
589	223	100	577
590	706	483	218
591	668	472	196
592	233	129	592
593	1085	796	368
594	1095	830	390
595	25	12	769

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
596	108	49	648	400	
597	16	9	766	537	
598	22	10	782	544	
599	694	476	80	34	
600	731	483	64	32	
601	589	422	114	51	
602	392	338	302	159	
603	141	53	626	379	
604	1105	833	414	155	
605	1115	847	434	161	
606	837	698	1027	887	
607	464	387	361	211	
608	255	160	479	292	
609	267	200	495	311	
610	705	478	82	35	
611	566	447	450	277	
612	253	195	622	379	
613	957	581	115	53	
614	968	597	128	63	
615	284	227	461	274	
616	297	233	473	288	
617	764	591	974	738	
618	173	49	730	462	
619	176	50	736	469	
620	1076	875	360	151	
621	1073	863	356	141	
622	475	371	751	471	
623	453	356	723	453	
624	971	884	1111	1062	
625	902	780	1072	965	
626	71	40	677	443	
627	533	412	802	516	
628	812	664	1010	852	
629	781	621	986	783	
630	826	680	1019	855	
631	839	707	1029	889	
632	1127	1004	474	196	
633	463	363	733	461	
634	1041	775	280	121	
635	1100	1018	415	173	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
636	1051	808	311	130	
637	869	742	1049	925	
638	858	723	1041	906	
639	976	895	1113	1075	
640	989	916	1120	1089	
641	153	53	672	400	
642	400	325	396	230	
643	339	280	567	346	
644	433	345	367	214	
645	462	367	336	189	
646	948	855	1094	1041	
647	938	837	1090	1026	
648	951	860	1097	1047	
649	919	806	1081	1000	
650	501	369	783	492	
651	833	708	1025	900	
652	825	690	1018	877	
653	517	384	793	491	
654	527	389	799	498	
655	555	408	817	517	
656	1136	1070	522	218	
657	728	539	947	665	
658	740	552	953	686	
659	633	487	875	602	
660	632	472	874	584	
661	794	639	996	813	
662	790	635	993	807	
663	486	399	391	225	
664	519	421	419	247	
665	240	164	606	362	
666	299	247	477	289	
667	30	13	791	563	
668	815	530	37	11	
669	800	520	30	9	
670	250	182	617	373	
671	702	480	205	103	
672	612	454	169	71	
673	509	395	786	498	
674	522	406	794	521	
675	600	456	849	557	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
676	735	569	951	720	
677	960	861	1103	1038	
678	496	366	778	514	
679	510	372	788	534	
680	189	61	759	491	
681	178	51	745	481	
682	875	767	1053	960	
683	850	747	1037	951	
684	834	713	1026	912	
685	677	496	910	621	
686	602	432	851	551	
687	722	533	944	658	
688	709	515	935	651	
689	870	764	1050	945	
690	879	787	1055	973	
691	1046	673	274	114	
692	1038	657	254	107	
693	8	5	735	497	
694	10	6	743	507	
695	876	553	77	33	
696	857	538	59	25	
697	841	510	44	20	
698	105	50	657	428	
699	813	512	36	15	
700	779	497	22	7	
701	561	424	185	84	
702	540	409	178	77	
703	208	86	538	325	
704	946	584	113	58	
705	490	398	233	109	
706	518	410	210	94	
707	1034	664	243	105	
708	1000	608	179	76	
709	929	565	97	43	
710	34	16	757	537	
711	260	205	635	390	
712	819	670	1013	859	
713	1108	951	428	175	
714	1131	1027	490	210	
715	179	52	746	475	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
716	580	447	834	544	
717	526	378	798	527	
718	493	370	773	476	
719	498	375	780	479	
720	584	412	836	560	
721	599	420	848	571	
722	548	386	812	510	
723	523	370	795	484	
724	559	391	821	514	
725	973	873	1112	1064	
726	575	397	830	542	
727	542	383	808	520	
728	775	584	983	742	
729	782	611	987	783	
730	889	803	1063	1001	
731	569	416	826	530	
732	704	522	932	645	
733	953	849	1098	1031	
734	925	823	1084	1008	
735	832	689	1024	870	
736	535	383	803	541	
737	549	388	813	556	
738	499	366	781	489	
739	691	465	923	628	
740	688	463	920	628	
741	596	410	846	583	
742	664	496	900	617	
743	693	500	925	630	
744	687	512	919	641	
745	733	500	950	637	
746	743	516	956	664	
747	588	417	840	537	
748	595	422	845	541	
749	583	424	835	537	
750	345	298	325	184	
751	102	49	685	467	
752	228	110	628	387	
753	1023	714	230	100	
754	1018	681	222	94	
755	809	670	1009	860	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
756	546	398	811	509	
757	605	416	854	600	
758	625	426	867	613	
759	994	919	1122	1092	
760	1120	876	457	172	
761	1125	936	468	188	
762	830	683	1022	910	
763	489	359	770	470	
764	550	388	814	553	
765	1140	1103	558	232	
766	795	594	997	763	
767	224	98	487	284	
768	379	329	240	115	
769	387	335	251	121	
770	5	4	719	448	
771	296	234	472	286	
772	15	7	762	528	
773	27	13	771	549	
774	199	80	546	331	
775	374	329	276	131	
776	582	428	153	64	
777	46	24	697	470	
778	115	34	702	427	
779	126	36	708	438	
780	999	628	176	82	
781	210	93	661	404	
782	204	76	709	436	
783	985	597	154	69	
784	201	69	707	435	
785	1122	960	459	186	
786	1124	995	467	191	
787	1119	976	452	184	
788	892	778	1065	969	
789	873	761	1052	954	
790	554	429	816	529	
791	918	806	1080	995	
792	572	404	828	549	
793	585	407	837	577	
794	539	390	806	510	
795	1050	684	290	117	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
796	1054	701	299	125	
797	209	88	507	306	
798	195	71	689	416	
799	969	875	1110	1052	
800	956	855	1101	1037	
801	601	465	850	596	
802	587	452	839	583	
803	627	477	869	631	
804	750	573	961	713	
805	770	586	978	745	
806	730	546	948	683	
807	192	70	695	424	
808	182	62	698	424	
809	900	785	1070	976	
810	922	810	1082	997	
811	928	820	1087	1010	
812	1114	904	444	177	
813	846	718	1034	908	
814	843	705	1031	893	
815	623	476	866	605	
816	586	451	838	555	
817	1097	874	404	164	
818	984	903	1117	1076	
819	983	905	1116	1079	
820	799	642	1001	833	
821	378	300	645	390	
822	384	303	652	398	
823	1009	949	1127	1110	
824	1104	887	425	172	
825	135	42	717	445	
826	160	46	740	464	
827	165	45	726	456	
828	445	351	715	449	
829	613	471	858	604	
830	891	788	1064	971	
831	910	813	1076	999	
832	99	47	703	488	
833	85	48	691	476	
834	747	488	27	9	
835	659	466	46	21	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
836	624	437	39	16	
837	914	548	89	33	
838	780	618	985	813	
839	888	751	1062	939	
840	899	755	1069	944	
841	183	62	705	439	
842	628	481	870	624	
843	73	24	776	521	
844	1129	991	482	199	
845	560	394	822	547	
846	558	391	820	555	
847	545	393	810	508	
848	553	402	815	513	
849	541	392	807	524	
850	961	856	1104	1039	
851	852	744	1038	931	
852	859	773	1042	966	
853	849	742	1036	942	
854	557	400	819	520	
855	878	538	69	28	
856	817	505	33	17	
857	863	523	61	24	
858	571	415	120	54	
859	1069	819	342	142	
860	854	716	1039	911	
861	619	472	863	615	
862	906	802	1074	986	
863	578	422	832	535	
864	638	477	879	591	
865	675	511	908	635	
866	828	700	1021	892	
867	845	715	1033	897	
868	844	721	1032	913	
869	861	745	1044	923	
870	884	780	1059	962	
871	880	777	1056	960	
872	515	384	790	492	
873	937	836	1089	1022	
874	246	134	656	413	
875	238	110	675	419	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
876	390	303	658	397	
877	36	15	653	422	
878	74	42	713	503	
879	88	45	729	526	
880	124	52	616	383	
881	33	15	676	436	
882	28	14	787	559	
883	193	67	767	502	
884	174	48	752	480	
885	221	148	682	463	
886	114	53	664	435	
887	935	828	1088	1021	
888	802	633	1002	814	
889	805	614	1005	788	
890	803	612	1003	785	
891	31	14	792	564	
892	39	17	804	576	
893	47	19	765	513	
894	686	522	918	651	
895	667	510	902	633	
896	756	584	967	731	
897	629	467	871	578	
898	597	438	847	552	
899	768	552	977	699	
900	772	539	980	689	
901	591	434	841	547	
902	986	908	1118	1086	
903	1015	960	1129	1117	
904	1017	964	1130	1119	
905	1001	929	1124	1101	
906	761	547	971	695	
907	690	455	922	644	
908	661	510	898	634	
909	655	507	894	632	
910	678	521	911	650	
911	631	486	873	601	
912	574	412	829	523	
913	474	356	750	466	
914	886	770	1060	961	
915	611	461	857	569	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
916	570	427	827	536	
917	617	470	861	584	
918	618	460	862	570	
919	650	444	889	640	
920	651	445	890	641	
921	684	486	916	645	
922	708	501	934	663	
923	671	474	905	628	
924	682	476	914	629	
925	156	50	734	467	
926	1133	1055	508	211	
927	744	533	957	692	
928	801	503	7	3	
929	51	14	619	339	
930	145	62	555	276	
931	148	65	561	280	
932	147	64	559	283	
933	931	559	67	21	
934	172	49	748	475	
935	746	526	959	682	
936	752	539	963	699	
937	753	541	964	702	
938	167	76	581	277	
939	117	52	515	254	
940	478	356	756	490	
941	525	381	797	548	
942	412	319	680	416	
943	423	324	687	426	
944	424	336	688	432	
945	334	274	562	341	
946	343	278	573	345	
947	438	352	711	445	
948	610	464	856	578	
949	663	405	103	39	
950	766	536	976	692	
951	396	307	665	400	
952	431	340	693	436	
953	711	533	937	671	
954	696	519	927	648	
955	717	537	941	673	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
956	745	574	958	717	
957	679	514	912	639	
958	234	114	642	395	
959	789	627	992	785	
960	877	791	1054	981	
961	881	798	1057	991	
962	895	812	1067	1011	
963	894	795	1066	981	
964	1047	949	1136	1118	
965	962	866	1105	1064	
966	959	862	1102	1061	
967	965	865	1108	1062	
968	947	856	1093	1049	
969	180	52	747	480	
970	556	388	818	517	
971	398	340	407	241	
972	377	335	394	228	
973	395	340	418	243	
974	368	333	383	219	
975	369	334	385	228	
976	309	245	278	132	
977	410	357	263	123	
978	388	347	235	107	
979	340	300	249	120	
980	460	340	731	460	
981	350	288	597	359	
982	323	258	521	319	
983	326	264	530	326	
984	364	303	624	383	
985	821	667	1014	889	
986	796	643	998	855	
987	417	338	416	246	
988	1078	912	381	156	
989	1045	771	289	119	
990	1033	734	255	110	
991	1027	749	257	112	
992	867	565	369	196	
993	978	911	1114	1096	
994	927	847	1086	1044	
995	883	571	87	38	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
996	294	202	343	159	
997	295	202	307	113	
998	322	237	216	77	
999	576	416	135	57	
1000	905	539	50	14	
1001	913	542	54	15	
1002	271	187	449	218	
1003	1080	764	357	139	
1004	1072	752	345	132	
1005	52	27	704	487	
1006	425	364	273	130	
1007	568	408	72	17	
1008	606	432	167	83	
1009	620	443	177	92	
1010	357	323	194	86	
1011	370	332	162	68	
1012	111	48	613	377	
1013	897	811	1068	1024	
1014	531	394	801	559	
1015	544	399	809	568	
1016	188	62	758	490	
1017	727	530	946	716	
1018	129	52	484	243	
1019	607	432	168	83	
1020	689	460	921	636	
1021	680	451	913	632	
1022	120	47	587	287	
1023	514	379	49	16	
1024	375	324	172	63	
1025	393	334	155	56	
1026	404	338	140	52	
1027	422	351	127	54	
1028	666	476	198	112	
1029	428	354	130	55	
1030	1130	1033	491	198	
1031	1132	1054	500	203	
1032	1116	989	448	176	
1033	1111	978	440	172	
1034	1101	955	421	166	
1035	1026	697	241	105	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
1036	1029	711	247	104	
1037	1065	781	330	137	
1038	1090	888	382	162	
1039	1081	832	358	151	
1040	1016	641	165	61	
1041	455	363	91	25	
1042	426	348	106	35	
1043	437	356	101	33	
1044	418	345	94	29	
1045	472	385	319	173	
1046	1071	830	348	146	
1047	1077	920	364	158	
1048	287	216	532	325	
1049	344	284	578	351	
1050	262	195	556	333	
1051	185	58	755	486	
1052	1014	640	180	69	
1053	718	488	214	108	
1054	713	485	86	36	
1055	719	489	225	119	
1056	729	495	219	112	
1057	373	311	422	246	
1058	940	600	118	57	
1059	229	97	660	401	
1060	216	87	681	416	
1061	220	92	674	409	
1062	166	46	725	455	
1063	186	56	701	423	
1064	1138	1096	542	229	
1065	1139	1101	552	231	
1066	890	547	62	24	
1067	1082	822	371	152	
1068	1093	835	395	161	
1069	1121	890	460	180	
1070	1107	865	432	168	
1071	1106	854	426	166	
1072	1098	847	409	164	
1073	1088	808	380	150	
1074	1067	807	339	141	
1075	1126	938	470	188	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düzüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düzüm Sayısı
1076	1096	862	402	163	
1077	1103	886	424	171	
1078	1117	904	446	179	
1079	598	429	117	54	
1080	608	432	41	18	
1081	769	486	12	3	
1082	820	507	32	17	
1083	787	496	21	9	
1084	1021	970	1132	1121	
1085	868	559	71	34	
1086	848	720	1035	894	
1087	862	747	1045	927	
1088	774	574	982	724	
1089	776	577	984	730	
1090	763	565	973	709	
1091	416	322	683	417	
1092	771	571	979	720	
1093	332	268	548	331	
1094	338	279	566	345	
1095	824	671	1017	845	
1096	342	281	571	348	
1097	335	275	563	342	
1098	328	264	534	326	
1099	320	256	512	315	
1100	330	267	544	329	
1101	1137	1091	537	226	
1102	739	503	236	122	
1103	270	206	575	339	
1104	222	99	576	342	
1105	239	163	605	363	
1106	191	77	632	393	
1107	212	125	668	440	
1108	206	104	659	431	
1109	950	836	1096	1021	
1110	987	912	1119	1088	
1111	1003	932	1125	1105	
1112	411	324	679	415	
1113	403	311	669	406	
1114	414	360	202	92	
1115	1066	732	329	128	

		v_1		v_2	
		Dijkstra	A*	Dijkstra	A*
Hedef Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı
1116	1068	741	334	129	
1117	1070	768	338	135	
1118	1099	787	401	151	
1119	1087	751	378	141	
1120	1035	661	244	102	
1121	40	12	629	371	
1122	476	369	83	22	
1123	1102	794	410	152	
1124	122	51	494	232	
1125	150	76	509	263	
1126	48	13	602	322	
1127	936	559	73	21	
1128	941	563	75	24	
1129	930	555	66	19	
1130	943	571	76	28	
1131	1135	1063	511	215	
1132	43	22	667	439	
1133	132	48	593	307	
1134	413	344	132	46	
1135	430	350	111	38	
1136	429	349	110	37	
1137	168	67	644	370	
1138	161	68	643	369	
1139	219	93	686	424	
1140	871	780	1051	965	
MAX :	1140	1103	1140	1128	
ORT :	570,50	426,55	570,50	384,86	
σ:	329,23	272,08	329,23	304,86	