

**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 edilirlilik 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 memnuiyetinin 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, sıkışıklık 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 ikiye 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

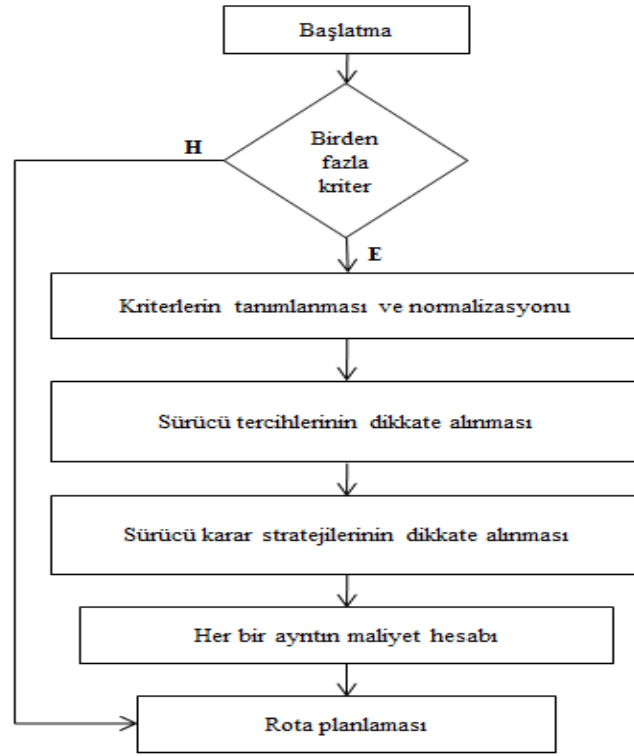
maliyete sahip düğüm seçilerek kuyruktan silinir. Ekle fonksiyonu ile g değerine göre öncelikli kuyruk veri yapısına düğüm eklenir.

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)

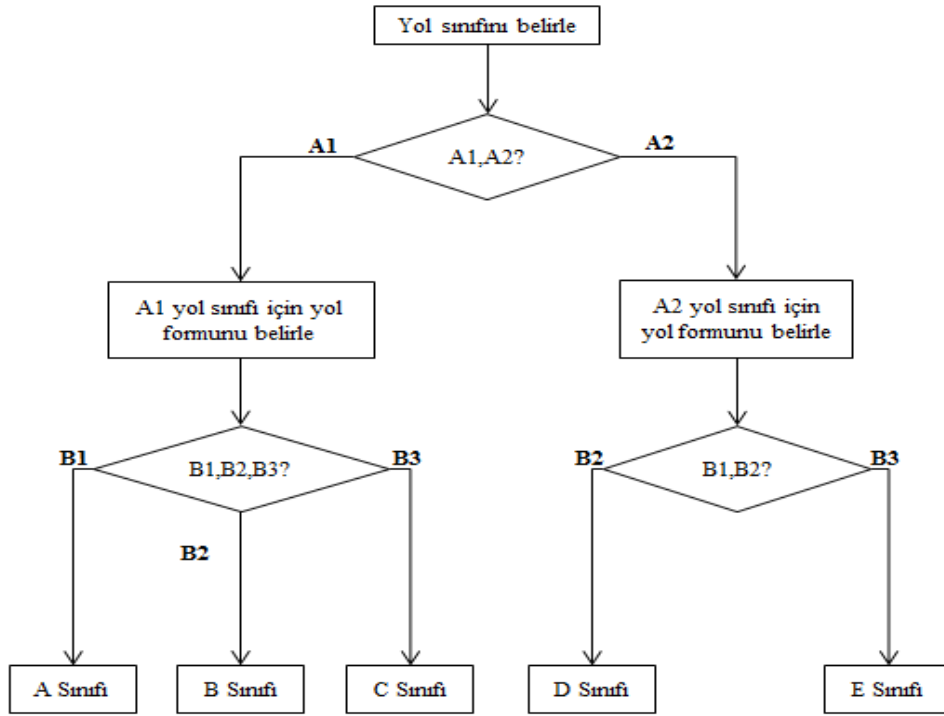
Güvenlik için maliyet tanımlanırken sırasıyla Çizelge 3.1 ve 3.2 de gösterilen yol sınıfı ve yol formunun dikkate alındığı bir akış şeması oluşturulmaktadır. Şekil 3.2 ile gösterilen bu şemaya göre her bir ayrıtı 1 ile 5 arasında sayısal değerler verilmektedir [7]. Burada, en düşük değer en güvenli yolu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

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

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

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	$[0 \infty)$	$[d_{min}/d_{max} \ 1], d'_{ij} = d_{ij}/d_{max}$
Seyahat süresi	$[0 \infty)$	$[t_{min}/t_{max} \ 1], t'_{ij} = t_{ij}/t_{max}$
Güvenlik	$[0 \infty)$	$[s_{min}/s_{max} \ 1], s'_{ij} = s_{ij}/s_{max}$
Yakıt tüketimi	$[0 \infty)$	$[f_{min}/f_{max} \ 1], f'_{ij} = f_{ij}/f_{max}$

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 ayırıt 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

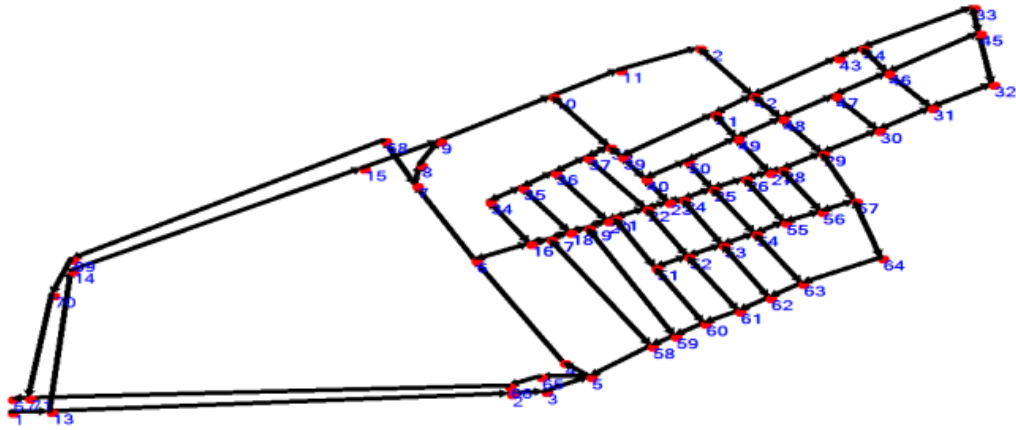
İlk test ortamı için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) yakınındaki Odunpazarı ilçesine ait belirli bir bölge seçilmektedir. Şekil 4.1’de seçilen bölge görülmektedir. Bu bölgenin seçilmesinin en önemli nedeni, değişen hava koşullarına göre değişen yol ölçütleridir. Özellikle kışın, eğimli dar sokaklarda 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.

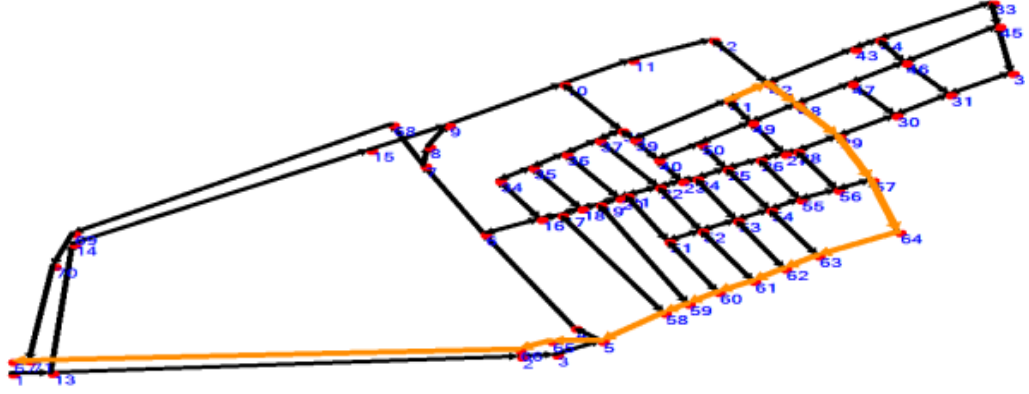


Şekil 4.2. Test ortamının çizge gösterimi

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.

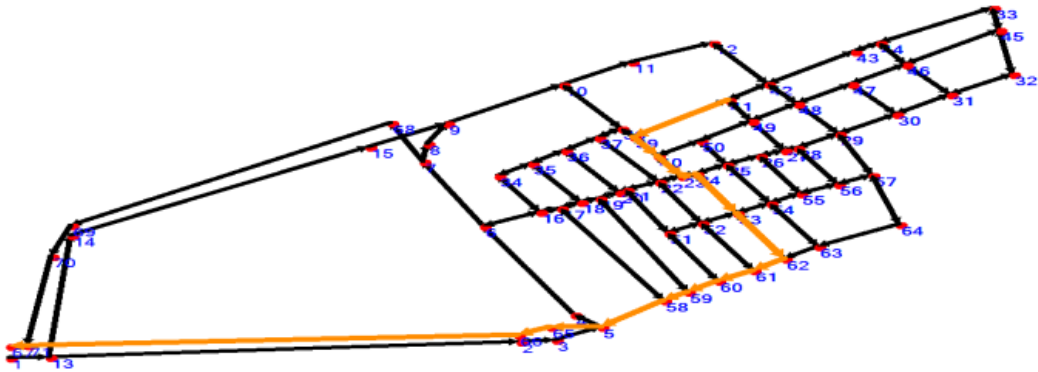
Algoritmanın başarımı sürücünün farklı tercih ve karar stratejisi parametrelerine göre değerlendirilmektedir. Sürücünün 41 ile gösterilen düğüm ile başladığı ve 67 (ESOGÜ Kampus) ile gösterilen düğüme doğru hareket ettiği varsayılmaktadır.

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.



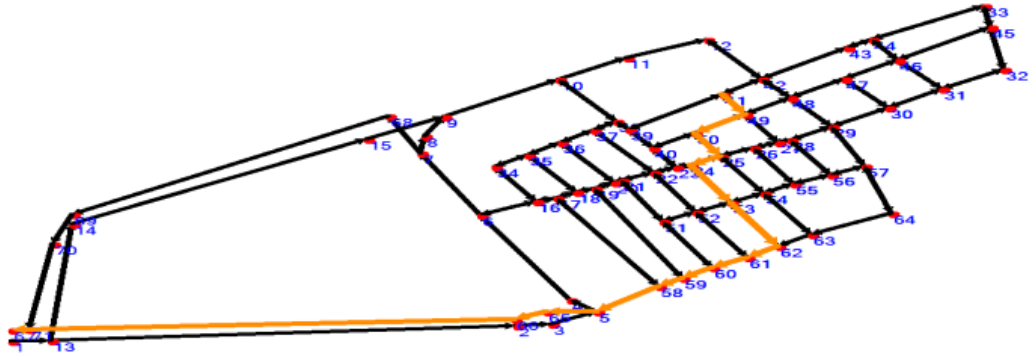
Şekil 4.3. Kış koşullarındaki en güvenli rota

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.



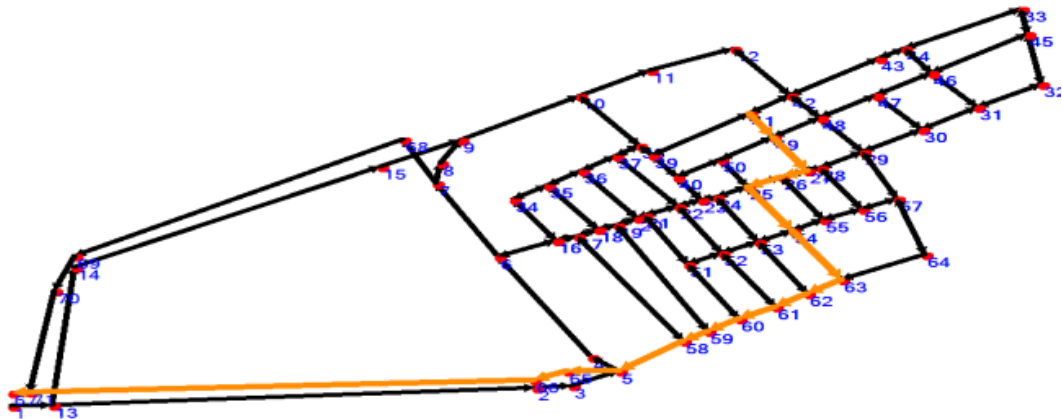
Şekil 4.4. Yaz koşullarındaki en güvenli rota

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.



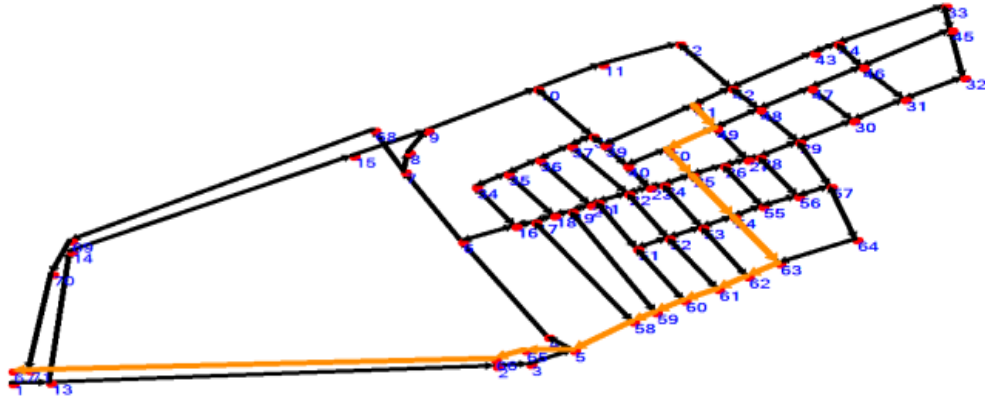
Şekil 4.5. Kış koşullarındaki en hızlı rota

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

Yapılan son testte, sürücünün Çizelge 2.3'den güvenliğin seyahat süresinden “biraz daha önemli” olduğu bağıl önemi seçtiğini kabul edelim. Bu durumda bağıl ağırlıklar yeniden hesaplanarak güvenlik için $u_1 = 0,75$ ve seyahat süresi için $u_2 = 0,25$ olarak bulunmaktadır. Kış koşullarındaki en güvenli ve en hızlı yolun bulunabilmesi için sürücü Çizelge 2.5'den “en fazla” ($\alpha = 5$) karar stratejisini seçmektedir. Güvenlik ve seyahat süresi için hesaplanan sıralı ağırlıklar ise sırasıyla $w_1 = 0,24$ ve $w_2 = 0,76$ olarak bulunmaktadır. Bu parametrelere göre bulunan yeni rota Şekil 4.7 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Kış koşullarındaki en güvenli ve en hızlı rota

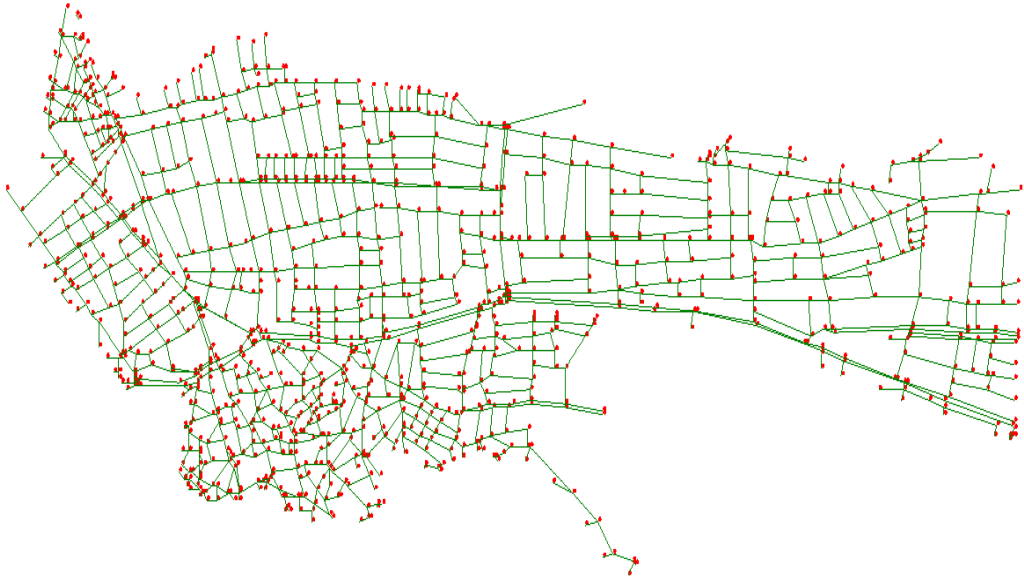
4.2. Büyük Ortam Testi

İkinci test ortamı olarak yine Eskişehir’de bulunan belirli bir bölge seçilmektedir. Bu bölgenin seçilmesinin nedeni farklı fonksiyonel yol sınıflarını (ana yollar, yerel yollar) ve yol formlarını (bölünmüş yollar, birleşik yollar, tali, kavşak ve kötü yollar) içermesidir. Bu durum farklı güvenlik derecelerine sahip yol parçacıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 4.8’de seçilen bölge görülmektedir.



Şekil 4.8. Büyük test ortamı gösterimi

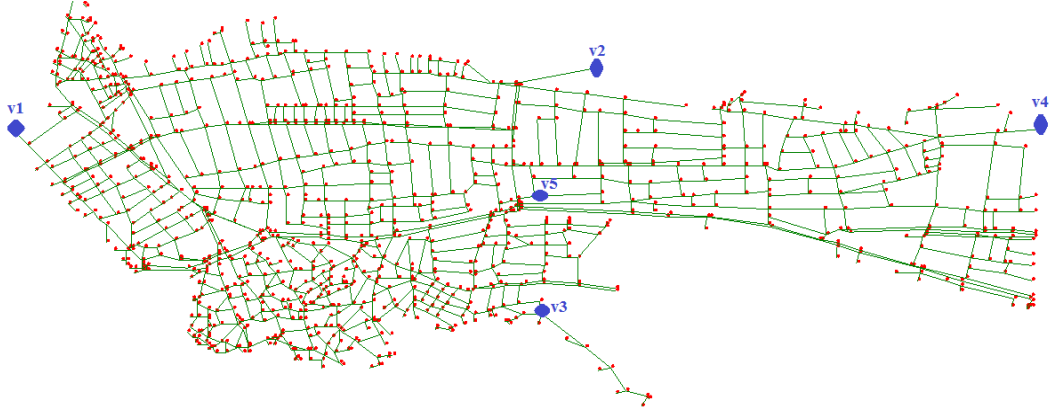
Test ortamının çizge gösterimi Şekil 4.9’da görülmektedir. Kesişim noktaları ve sokaklar sırasıyla düğümler ve ayrıtlar olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede 1165 düğüm ve 2895 ayrıt bulunmaktadır.



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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
356	577	414	831	539
357	798	635	1000	809
358	622	419	865	594
359	636	434	878	619
360	621	427	864	602
361	641	439	882	623
362	645	477	885	602
363	593	407	843	569
364	907	821	1075	1036
365	915	824	1077	1038
366	1055	948	1137	1115
367	1062	961	1139	1121
368	169	65	463	222
369	816	507	9	5
370	38	17	604	343
371	24	13	618	358
372	934	568	68	22
373	1036	638	245	102
374	1042	645	266	104
375	552	406	141	64
376	565	414	147	69
377	534	401	146	67
378	86	42	684	441
379	41	17	739	514
380	734	497	227	119
381	736	501	232	122
382	372	314	636	403
383	274	208	584	342
384	450	373	322	178
385	449	372	331	188
386	944	832	1092	1017
387	419	353	388	234
388	444	370	413	253
389	402	342	412	246
390	699	464	929	674
391	1008	944	1126	1117
392	993	914	1121	1085
393	967	874	1109	1055
394	757	578	968	725
395	751	574	962	716

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
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

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
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

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
476	949	868	1095	1062
477	788	626	991	784
478	807	654	1007	824
479	481	363	761	467
480	477	374	754	470
481	461	353	732	457
482	887	783	1061	970
483	505	385	785	494
484	497	389	779	493
485	524	395	796	503
486	860	736	1043	918
487	865	745	1047	929
488	855	730	1040	909
489	564	427	825	537
490	494	373	774	479
491	480	356	760	468
492	842	706	1030	878
493	831	681	1023	853
494	755	555	966	709
495	741	512	954	656
496	920	573	95	47
497	924	578	105	52
498	436	362	335	198
499	1020	662	211	94
500	1007	635	195	88
501	972	607	136	70
502	974	611	150	74
503	440	344	712	442
504	955	853	1100	1029
505	1086	921	384	154
506	1091	954	398	159
507	1092	955	399	160
508	758	582	969	729
509	738	563	952	701
510	1011	946	1128	1118
511	697	533	928	662
512	644	457	884	598
513	657	465	895	612
514	754	542	965	683
515	732	526	949	662

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
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 Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm 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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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

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
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 Düğüm	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm Sayısı	kapalıKüme'ye Eklenen Düğüm 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	

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
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 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
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	

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
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

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
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