ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİNE BULANIK YAKLAŞIM

Nida N. GÖKHAN

Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ
2019

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANSTEZİ

ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİNE BULANIK YAKLAŞIM

Nida N. GÖKHAN

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı

ERZURUM
2019

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU

ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİNE BULANIK YAKLAŞIM

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ danışmanlığında, Nida N. GÖKHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 31../07./2019. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı – Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/~~oy çokluğu~~ (…/…)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Burak ERKAYMAN — *İmza* :

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ (Danışman) — *İmza* :

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hamid YILMAZ — *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 08../08../2019 tarih ve .32./.62.......... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN Y.
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİNE BULANIK YAKLAŞIM

Nida N. GÖKHAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği

Danışman: Dr. Öğr. Üy. Mustafa YILMAZ

Bu çalışmada ayrıt rotalama problemlerinden araç rotalama problemi sınıfına giren Çinli postacı problemi (ÇPP) ele alınmıştır. Ayrıt rotalama problemi günümüzde; posta gönderimi, yol çalışmaları, çöp toplama işlemleri, polis devriye araçlarının ve kar küreme araçlarının rotalarının belirlenmesi vs. gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir. Problemlerin hem değişken katsayıları hem de amaç fonksiyon katsayıları sabit olup, literatürdeki çözümlerde bu şekilde ele alınmıştır. Ancak gerçek hayat problemlerinde bu durum çoğu zaman gerçeği yansıtmamaktadır. Bu kapsamda gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirliği sağlamak amacıyla klasik ÇPP matematiksel modelinin amaç fonksiyon katsayıları bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklaştırılmış model literatürdeki durulaştırma yöntemleriyle çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda Erzurum Atatürk Üniversitesi kampüsünde bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada kış aylarında yollardaki karı temizleyen kar küreme aracı ele alınmıştır. Araç belirlenen başlangıç noktasından hareket edip tüm yollardan geçerek yine başlangıç noktasına dönecektir. Aracın aldığı süre trafik yoğunluğuna göre değişiklik göstermekte olup amaç toplam süreyi minimize etmektir. Elde edilen gözlem verilerine dayalı model GAMS paket programı yardımıyla çözülmüş rotalar ve optimum süre elde edilmiştir.

2019, 50 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çinli postacı problemi (ÇPP), Bulanık mantık

ABSTRACT

Master Thesis

FUZZY APPROACH TO CHINESE POSTMAN PROBLEM

Nida N. GÖKHAN

Atatürk University
Institute of Science and Technology
Industrial Engineer
Operations Research Division
Department of

Supervisor: Assist Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

In this study, Chinese postman problem (CPP), which is classified as vehicle routing problem, is discussed. Edge routing problem today; postage, road works, garbage collection, determination of routes of police patrol vehicles and snow plows etc. It has wide application areas. Both the variable coefficients and the objective function coefficients of the problems are constant and are dealt with in the literature solutions. However, in real life problems, this often does not reflect reality. In this context, the objective function coefficients of the classical CPP mathematical model are fuzzy in order to provide applicability in real life problems. The fuzzy model was solved by clarification methods in the literature and the results were compared. In our study, an application was made in Erzurum Atatürk University campus. In the application, snow plowing vehicle that removes snow on the roads in winter is discussed. The vehicle will move from the designated starting point and pass through all roads and return to the starting point. The time taken by the vehicle varies according to the traffic density and the aim is to minimize the total time. Based on the obtained observation data, the model was solved with the help of GAMS package program and the optimum time was obtained.

2019, 50 pages

Keywords: Chinese Postman Problem (CPP), Fuzzy Logic

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında vermiş olduğu destek ve yönlendirmelerinden dolayı danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ'a; motivasyonumun azaldığı her an beni yeniden ayağa kaldıran, maddi manevi tüm desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nida N. GÖKHAN
Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\widetilde{C_{ij}}$	**:** i den j ye giderken bulanıklaştırılmış süre (saniye)
C_{ij}	**:** i den j ye giderken geçen süre(saniye)
X_{ij}	**:** i'den j'ye giderken (i, j) ayrıtlarından geçilme sayısı
i, j	**:** Düğüm indisleri
n	**:** Şebekedeki düğüm sayısı

Kısaltmalar

AYRP	: Ayrıt Rotalama Problemi
ARP	: Araç Rotalama Problemi
ÇPP	: Çinli Postacı Problemi
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

ÇİZELGELER DİZİNİ

1. GİRİŞ

Rotalama konusu üretim ve hizmet sektörünün en önemli karar verme süreçlerinden birisidir. Kamu sektörünün ve özel kurumların bu konudaki harcamaları ilerleyen her zaman dilimi için artmakta ve önemli miktarlara ulaşmaktadır. Yeterli olmayan planlar ve hatalı yatırımlar büyük ölçüde kaynak israfına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda, rotalama konusunun önemi hızla artmış ve birçok araştırmanın yapılmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalar sayesinde daha etkili çözümler bulunmuş, uygulama imkânı artmış ve böylece büyük ölçüde tasarruflar yapılması sağlanmıştır (Emel vd 2003).

Rotalama problemleri, düğüm rotalama ve ayrıt rotalama problemleri olarak ikiye ayrılır. Düğüm rotalama problemlerinin amacı, bir şebekede bulunan bütün noktalara (düğümlere) bir kere uğrayarak en kısa tur veya turların belirlenmesini sağlamaktır. Gezgin satıcı ve araç rotalama problemleri birer düğüm rotalama problemidir. Ayrıt rotalama problemlerinde amaç, bir şebeke üzerinde bulunan bütün yollardan en az bir kez geçerek başlangıç noktasına dönen en kısa tur veya turları belirlemektir. Ayrıt rotalama problemi, kırsal postacı problemi ve Çinli postacı problemi olmak üzere ikiye ayrılır. Kırsal postacı probleminde (KPP), şebekede bulunan *seçilmiş (belirli)* ayrıtlardan en az bir kere geçilerek, Çinli postacı probleminde (ÇPP) ise şebekedeki *her* ayrıttan en az bir kere geçilerek en kısa turun bulunması amaçlanmaktadır.

ÇPP, ilk olarak Çinli matematikçi Mei-Ko Kwan tarafından 1962 yılında ele alınmıştır. Bu problem, bir postacının postaneden aldığı mektupları gidilebilecek en kısa yolu kullanarak ve şehirdeki tüm sokaklara uğrayarak dağıtmak istemesiyle ortaya çıkmıştır. Mektupları tüm noktalara dağıttıktan sonra postacı ilk çıkış yaptığı noktaya postaneye geri dönmek durumundadır. Bu nedenle problemden literatürde ÇPP olarak bahsedilmektedir. ÇPP'nin amacı, verilen bir şebeke üzerindeki ayrıtlardan en az bir kez geçecek şekilde en kısa tur/turların bulunmasıdır (Yılmaz 2018).

ÇPP; posta ulaşımı, çöplerin toplanması, yollardaki kar ve buz kontrolleri, tuzlama, kar temizleme ve sokak temizleme çalışmalarında, okul servis ve polis devriye araçlarının rotalanması, su ve gazete gibi ürünlerin dağıtımı gibi birçok alanda uygulanabilmektedir (Thimbleby 2002). Özellikle, araç rotalarının oluşturulmasında yaygın bir şekilde ÇPP uygulamaları yer almaktadır. Zira işletmeler araçlarının çalışma masraflarını; araçların duracakları yerleri düğüm, yolları da ayrıt olarak belirlenen şebeke kuramını kullanarak en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Dolayısıyla karayollarında kullanılan araçların, optimum rotalarının belirlenmesi maliyet açısından kaçınılmazdır (Yılmaz 2018).

ÇPP birçok alanda kullanılsa da gerçek hayat şartlarından kaynaklanan belirsizliği matematiksel modellerle ifade etmek mümkün değildir. Dolayısıyla bu belirsizliği matematiksel modellere dâhil etmek için bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantık gerçek hayat şartlarını en iyi şekilde yansıtır ve sonucu minimize ederek mevcut şartlara uygun en iyi sonucu elde etmemizi sağlar.

Yapılan araştırmalar sonucunda literatürde ÇPP bulanık mantık yaklaşımıyla çözen çalışmalara rastlanamamıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmamızda ÇPP’ne bulanık çözüm yaklaşımı önerilmiş ve bir uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama da bağlantılar arasındaki süre dikkate alınmış ve bu süreler normal şartlarda, trafik çok yoğunken ve trafiğin olmadığı zamanlardaki durumuna göre üçgen bulanık sayılar haline getirilmiştir. Daha sonra bulanık sayılar literatürdeki durulaştırma yöntemlerine göre sadeleştirilmiş ve GAMS 24.2.3 paket programı yardımıyla ÇPP çözülerek rotalar ve optimum süreler elde edilmiştir.

Bu çalışmadaki uygulama Erzurum Atatürk Üniversitesi kampüsünde yapılmıştır. Kampüste fakültelerin olduğu bölgede her bir kavşak noktası bir düğüm olarak kabul edilmiş ve bu düğümler arasındaki yollarda bağlantı olarak kabul edilmiştir. Toplam 117 adet düğüm ve 310 adet bağlantı bulunmaktadır. Bu bağlantılar arasındaki mesafe Google Maps yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan mesafelere göre normal şartlarda bir bağlantıyı tamamlamak için gerekli süre hesaplanmıştır. Alt ve üst sınırlar yapılan gözlemler sonucu elde edilmiştir.

Çalışmamızın ilerleyen bölümlerinde literatür araştırması, ÇPP ve bulanık mantık, uygulama, sonuç ve öneriler yer alacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında ÇPP ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma olmasına rağmen bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınan ÇPP rastlanılamamıştır. Ancak incelenen çalışmalarda ARP ve GSP'ye uygulanan bulanık mantık çözüm yaklaşımlarının olduğu görülmüştür. Problemlerin benzer yönlerinden yola çıkarak çalışmamızda ÇPP'ye bulanık yaklaşım önerilmiştir. Bu doğrultuda ÇPP, bulanık mantık, GSP, ARP ve bu problemlerin bulanık mantık yaklaşımıyla ele alındığı çalışmalar incelenmiştir.

Edmond and Johnson (1972) yılında yaptıkları çalışmada Çinli postacı problemi için eşleştirme teorisini kullanmışlardır. Ayrıca Euler tur bulma algoritmaları da incelenmiştir.

Dubois and Prade (1979) yılında yapılan çalışmada [0, 1] bulanık kümeleri kümesinde doğruluk değerlerini alan önermeler ile mantıksal bir hesap geliştirilmiştir. Bulanık değerli mantığın hali hazırda bilinen çok değerlikli mantıkların bir uzantısıdır ve ilişkili küme teorisinin belirli bir evrendeki tip 2 bulanık kümelerin teorisi olduğu gösterilmiştir. Genişletilmiş "max" ve "rain" operatörleri kullanılarak, önermeli analizin normal bağlantıları için çeşitli yorumlayıcı fonksiyonlar verilmiştir.

Kuruüzüm (1999) yılında yapılan çalışmada bulanık (fuzzy) katsayılı amaç fonksiyonlu doğrusal programlama modelleri gösterilmektedir. Bu alandaki kritik modeller ve teoriler incelenmekte ve ikinci dereceden üyelik fonksiyonu ile oluşturulan bir model önerilmekte ve örnek problem üzerinde yöntemler karşılaştırılmaktadır.

Menteş (2000) yılında yapılan çalışmada boğaz hattında çalışan çift başlı yolcu ferileri için uygun sevk ve manevra sistemlerinin belirlenmesinde uygun bir karar verme algoritması geliştirilmiştir. Problem tanımı ve analizi yapılmış; çok kriterli karar verme ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemleriyle sonuçlar analiz edilmiştir.

Wang *et al.* (2001) yılında yapılan çalışmada, zaman penceresi kısıtlı bir ÇPP incelenmektedir. Zaman kısıtlamaları belli olmadığından, bulanık zaman pencereli yönlendirilmiş bir problemin çözümü için bulanık küme teorisi kavramı kullanılmaktadır.

Corberan *et al.* (2002) yılında yaptıkları çalışmada Karma ÇPP ele alınarak probleme yönelik sezgisel bir algoritma sunulmuştur. Algoritma, rastgele üretilen örnekler literatürdeki diğer bilinen ve güncel yöntemlerle test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada 200 düğüm ve 600 bağlantı için hesaplama sonuçları üretilmiştir.

Yiğit ve Güner (2002) yılında yaptıkları çalışmada bakım onarım yapılan bir atölyede kullanılan otomatik yönlendirmeli araçları gezgin satıcı probleminin temellerine dayandırarak optimum rota/rotalar oluşturulmaya çalışılmıştır. (0-1) tamsayılı programlama şeklinde modellenmiştir.

Durucasu (2004) yılında yaptığı çalışmada ağ akışları üzerinde durmuş ve bir ayrıt rotalama problemi olan polis devriye aracı için optimum rota bulunmaya çalışılmıştır. Bunun için doğrusal programlama kullanılmış ve problem excel yardımıyla çözülmüştür.

Gül vd (2004) yılında yapılan çalışmada ÇPP tüm yönleriyle ele alınmış ve bir polis devriye aracı için uygulama yapılmıştır. Model, en kısa mesafeli eşleştirme yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

Botzheim *et al.* (2009) yılında yapılan çalışmada karayolu nakliye ve tedarik zincirlerinde pratik uygulamaların gereklilikleri ve özellikleri göz önüne alınarak GSP'nin yeni bir yapısı ve formülü sunulmuştur. Hesaplamalı sonuçlar da sunulmuştur.

Çolak (2010) yılında yapılan çalışmada gezgin satıcı problemi için genetik algoritma çözümü önerilmiştir. Problem gıda sektöründeki bir firmada uygulanmış ve elde edilen sonuçlar ile mevcut durumun karşılaştırılası yapılmıştır.

Özkan (2010) yılında yapılan çalışmada GSP (Gezgin Satıcı Problemi) çözümü için bir genetik algoritma önerilmiş ve sonuçların artı ve eksi yönleri tartışılmıştır.

Özdemir vd (2011) yılında yaptıkları çalışmada kent bölgeleri için tasarlanması istenilen hizmet dağılım çizgelerinin en uygun biçimde elde edilmesinin sayısal uygulamaları üzerinde çalışılmıştır. Bir orta ölçekli kent yerleşimi için örneğin kablolu TV dağıtım ağı, ara bölge ve hatları, bağlantıları, uzunlukları ve maliyet farklılıkları; başka bir küçük ölçekli (mahalle veya semt bazlı) hizmet çizgesinde de kentsel çöp toplama yol güzergâhı araştırılarak geçilecek en kısa yol, minimum yakıt giderli toplama sistemi elde edilmeye çalışılmıştır.

Kumar and Gupta (2012) yılında yapılan çalışmada bulanık atama ve bulanık gezgin satıcı problemlerinin çözümü için 2 yeni yöntem geliştirmişleridir: bulanık doğrusal programlama formülasyonuna (FLPF) dayanan yöntem ve klasik yöntemlere dayanan yöntemler. Daha önce bu problemleri çözmek için kullanılan yöntemler farklı problem türlerine çözüm getirmemektedir. Ancak önerilen bu yöntemler hemen hemen her problemin çözümüne büyük ölçüde katkı sağlamakta olup farklı problem türleri için de modifiye edilebilmektedir.

Demiral (2012) yılında yaptığı çalışmada gezgin satıcı problemi bir süt taşıma problemine uygulanmıştır. Öncelikle bu sektörde detaylı çalışma yapılarak mevcut sorunlar incelenmiş daha sonra bu sorunlar için çözüm yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır. (0-1) doğrusal olmayan bir model önerilmiş ve süt üretim tesisinde bir uygulama yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Nirmala and Anju (2012) yılında yapılan çalışmada ilk olarak çözüm bulmak için bulanık niceleyici ve sıralama yöntemini tercih edilmiş ve gezgin satıcı problemine (TSP) en uygun çözümü bulmak için En Yakın Komşu Yöntemi (NN-Yöntemi) uygulanmıştır. Bu yöntem, optimumluğa erişmek için en az yineleme gerektirir. Önerilen yöntemin geçerliliğini kontrol etmek için örnekler verilmiştir.

Gülcan (2012) yılında yapılan çalışmada bisküvi, çikolata, kraker ve gofret gibi ürünleri üreten bir işletmenin bisküvi yapım tesisi ele alınmış ve bulanık doğrusal programlama modeli oluşturularak Verdegay'ın yaklaşımı yöntemiyle model çözülmüştür.

Sarı (2012) yılında yapılan çalışmada belirsizliğin fazla olduğu yatırım analizi problemleri ele alınmış ve yatırım analizi problemlerinde yer alan belirsizlikler bulanık mantık ve bulanık küme teorisi kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada yatırım analizi parametrelerinin tahmini için bulanık zaman serileri ve bulanık regresyon esas alınarak iki model önerilmiştir.

Kumar and Gupta (2012) yılında yapılan çalışmada bazı bulanık atama problemleri ve bulanık seyahat eden satıcı problemleri seçilmiştir. Bu tür bulanık atama problemlerini ve bulanık seyahat eden satıcı problemlerini çözmek için iki yeni yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemler bir problem üzerinde uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dhanasekar *et al.* (2013) yılında yapılan çalışmada bulanık gezgin satıcı probleminin çözümüne yeni bir yöntem geliştirmişlerdir: bulanık macar yöntemi. Bu yöntem klasik yönteme benzer şekilde oluşturulduğundan anlaşılması ve uygulaması kolaydır. Çalışmada bir uygulama yapılarak sonuçlar tartışılmıştır.

Gutin *et al.* (2013) yılında yaptıkları çalışmada Çinli postacı probleminin türlerinden olan K-Çinli Postacı problemi (k ÇPP) ele alınmıştır. K-ÇPP problemi NP-hard problemdir ve Van Bevernetal ve Sorge, k-ÇPP'nin k ile parametrelendirildiğinde sabit parametrenin yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarla k-ÇPP'nin sabit parametresinin yeterli olduğu kanıtlanmaktadır.

Atlı ve Kahraman (2013) yılında yapılan çalışmada faaliyet süreleri yamuk bulanık sayılar olan bir proje ağında kritik yol analizi için bulanık cebir ve doğrusal programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Doğrusal programlama (DP) formülasyonu ve bulanık sayı sıralama yöntemine dayanır.

Dingar and Sundari (2014) yılında yaptıkları çalışmada bulanık gezgin satıcı problemlerine bulanık optimal çözüm bulmak için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, bulanık optimal çözümü bulmak için sezgisel trapezoid bulanık sayı kullanılmıştır. Bu önerilen yöntemde "komşu optimal" satış görevlisi olarak adlandırılan çok bulanık satış elemanı probleminin çok komşulu optimal çözümünü sunmaktadır. Sayısal örnek verilerek çözülmüştür.

Yalçın (2014) yılında yaptığı çalışmada bilinen gezgin satıcı probleminden farklı olarak bütçe ve süre kısıtı da eklenerek gezgin satıcının uğrayabileceği noktalardan elde edilen kar en büyüklenmeye çalışılmıştır. Problem için bir matematiksel model önerilmiş ve elde edilen sonuçların diğer yöntemler kullanılarak elde edilenlerden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Summerfield *et al.* (2015) yılında yaptıkları çalışmada park izni rotalarını tasarlama görevi ÇPP olarak modellenmiştir. Denetim güzergâh tasarımımızın beklenen geliri en üst düzeye çıkardığını gösterdikten sonra, yetkililerin gözlemlenen park izinlerinin sürelerine göre denetim güzergahlarını ayarlamalarına izin veren karar kuralları araştırılmaktadır. Çalışma sonunda bir uygulama yapılmış ve sonucun pozitif yönde etkilendiği gözlemlenmiştir.

Limon (2015) yılında yaptığı çalışmada k-ÇPP incelenmiştir. Amaç toplam iş yükünü minimum yapıp postacılar arasındaki iş yükünü dengelenmektir. Daha sonra çözüm için geliştirilen algoritma irdelenmektedir.

Shafahi and Haghani (2015) yılında yaptıkları çalışmada Max Fayda Sağlayan ÇPP ve ÇPP çoklu araç varyasyonlarına odaklanılmıştır. Ele alınan bu probleme, Genelleştirilmiş Maksimum Fayda k-Çinli Postacı Sorunu (GB k-ÇPP) denilmektedir. GB k-ÇPP için yeni bir formülasyon sunulmaktadır. Farklı sonuçlar, College Park kampüsündeki Maryland Üniversitesi ağı üzerinde yürütülen bir güvenlik devriye rotasında uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Alpaslan (2015) yılında yapılan çalışmada araç rotalama problemlerinin çeşitli türleri incelenmiş ve ele alınan problemlere ilişkin yeni karma tamsayılı tek amaçlı ve çok amaçlı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, öncelikle küçük boyutlu problemler için GAMS paket programı ile çözdürülmüş, büyük boyutlu problemler için ise yasaklı arama algoritması çalışılmıştır.

Singh and Thakur (2015) yılında yapılan çalışmada bulanık atama problemini bulanık Macar Metodu (FHM), Robust's Ranking Technique ve Gani ve Assarudeen (2012) tarafından önerilen üçgen bulanık sayılar üzerinde çıkarma ve bölme işlemleri (TFN) kullanarak net AP'ye dönüştürülüp elde edilen atama maliyetiyle işlemler yapılmadan elde edilen atama maliyetleriyle karşılaştırılmıştır.

Eroğlu (2015) yılında yapılan çalışmada her bağlantının maliyet ve mesafe gibi iki ağırlık ile temsil edildiği çok amaçlı ÇPP ele alınmıştır. Model çözümünde dal sınır algoritması kullanılmıştır.

Eroğlu (2015) yılında yaptığı çalışmada graf teoreminin detaylı incelenmesi yapılmış ve çeşitli matematiksel özelliklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca bazı özel yapıdaki graflara da yer verilmiş ve grup yapıları analiz edilmiştir.

Ertuğrul ve Özçil (2016) yılında yaptıkları çalışmada gezgin satıcı problemi genetik algoritmayla birlikte ele alınmıştır. Bu çalışmada bir siyasi partinin miting planlama analizi gezgin satıcı problemi kullanılarak yapılmış, çözümler elde edilen maliyet ve tasarruf açısında sonuçlar tartışılmıştır.

Mohamed and Divya (2016) yılında yaptıkları çalışmada sekizgen bulanık sayıları kullanarak maksimum karlı atma problemi ve gezgin satıcı problemlerini çözmüşlerdir. Sekizgen bulanık sayıları sıralayarak karşılaştırmak mümkündür ve bu yöntem kullanılarak bulanık değerli sayı net bir değere dönüştürülebilir. Problem bulanık sekizgen sayı ile çözüldüğünde, trapezoid bulanık sayı ile çözüldüğünden daha iyi bir çözüm elde edildiği kanıtlamışlardır.

Lu and Ni yaptıkları çalışmada bulanık rastgele teori kavramı sunulmuş ve sonra üç tür bulanık rasgele model olarak; beklenen en kısa yol modeli, (α,β) yol modeli ve olasılıklı en kısa yol modeli oluşturulmuştur. Bulanık rastgele simülasyonlar ve genetik algoritma ile entegre edilmiş bir hibrid akıllı algoritma tasarlanmıştır. Hibrid akıllı algoritmanın etkinliğini gösteren sayısal örnekler verilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Yılmaz vd (2017) yaptıkları çalışmada denetim makinesi yönlendirme problemini çözmek için ÇPP önermektedir. Amaç, en kısa rota bularak demiryollarındaki toplam hareket mesafesini en aza indirgemektir. Önerilen model, büyük ölçekli bir gerçek hayat problemine uygulanır. Önerilen yaklaşım, mevcut uygulamayla karşılaştırıldığında, % 20,76 oranında daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Thorani *et al.* (2017) yılında yapılan çalışmada bulanık bir Çok Amaçlı Atama Modeli önerilmiş ve bulanıklaştırma için bulanık sıralama yöntemi, doğrusal ve doğrusal olmayan referans fonksiyonları için λ-kesimi yöntemi kullanılmıştır. Önerilen Çok Amaçlı Atama modeli, genelleştirilmiş LR yamuk bulanık sayılarla bulanık maliyet, bulanık zaman ve bulanık kalite olarak üç parametreli bir örnek göz önünde bulundurularak test edilmiştir.

Söyler ve Fendoğlu (2018) yılında yaptıkları çalışmada araç rotalama problemi ve ÇPP ele alınmış, Malatya Büyükşehir Belediyesi ilaçlama araçları için en uygun rotalar, Hierholzer & Floyd Warshall Algoritmaları ve Excel-Solver ile çözülmüş, çıktılar karşılaştırılmıştır.

Yılmaz (2018) yılında yapılan çalışmada HÇPP yaklaşımı ile Karayolları 12. Bölge Müdürlüğüne bağlı yollarda yapılan bakım çalışmalarının minimum maliyetle gerçekleştirilmesi için en iyi/en iyiye yakın rotaların bulunması amaçlanmıştır. Ele alınan problem büyük boyutlu olup çözüm için en yakın komşu arama tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, ele alınan tüm karayolu şebekesi için çalıştırılmıştır.

Eroğlu ve Azizoğlu (2018) yılında yaptıkları çalışmada toplam maliyet ve toplam mesafe kriterlerinin de bulunduğu yönlü ÇPP ele alınmıştır. Çözüm önerilen yaklaşımlar karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

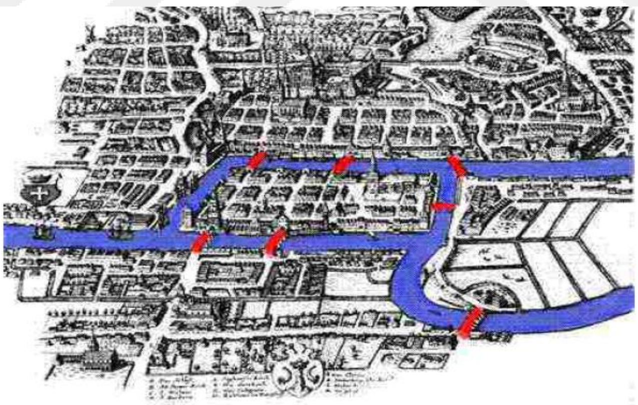
Fındıklı vd (2018) yılında yaptıkları çalışmada geliştirilen gezici robotun verilen sahadaki rotayı oluşturması problemi ÇPP benzetilerek çözüm aranmıştır. Ayrıca söz konusu sahanın grafının düğüm dereceleri de çift olacak şekilde düzenlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan model yapay arı kolonisi algoritmasıyla çözülmeye çalışılmış sonuçlar incelenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Temel Güzergâh Problemleri ve Çinli Postacı Problemine Giriş

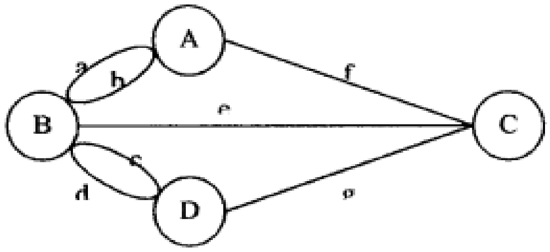
3.1.1. Königsberg köprüleri ve Euler teoremi

Königsberg, şehri farklı bir nehir ile bir araya gelen Pregel nehrinin çevresinde yer almaktadır. Kniephof adı verilen ada iki nehrin bir araya geldiği yerin merkezinde bulunmaktadır. Nehirlerin iki yakasında yer alan şehirleri ve adayı birleştirilen yedi adet köprü bulunmaktadır. 18. yüzyılda Königsberg'in belediye başkanı her gün bu yerleşim yerini gezmekte ve her defasında bir köprüden iki kere geçmek durumunda kalmaktadır. Mevcut durum tüm köprülerden sadece bir kere geçerek şehri dolaşmasına fırsat vermemektedir. Bu problem Euler'in dikkatini çeker.



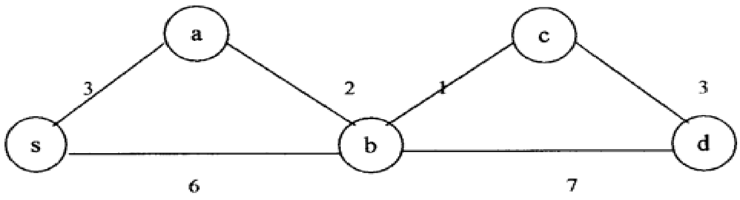
Şekil 3.1. Könisberg'in yedi köprüsü

Euler yaptığı incelemeler neticesinde tek seferde her köprüden bir kere geçerek tüm şehri dolaşmanın Königsberg'de bulunan köprülerle mümkün olmadığını, bu şekilde bir turun yapılabilmesi için her bir bölgeye başka bölgelerden geçilebilmesi ve her bir düğümün çift dereceli olması gerektiğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.2. Könisberg'in yedi köprüsünün şebeke üzerinde gösterimi

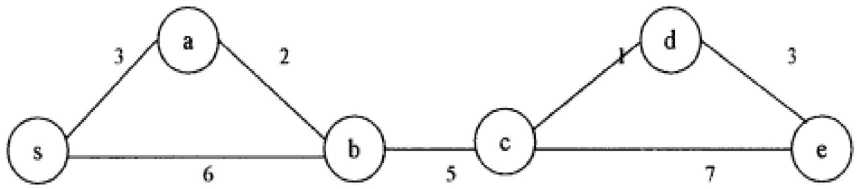
Bir çizgenin tüm köşe noktalarının derecesi çift ise bu çizge tek seferde kalemin ucu kâğıttan ayrılmadan çizilebilir ve başlangıç ve bitiş noktaları aynı olur. Bu şekilde oluşan tura Euler tur denir; bir çizgede Euler tur bulunyorsa bu çizgeye de Euler çizge denir. Eğer bir çizgede iki köşe noktasının derecesi tek ise bu çizge çizilebilir ancak başlangıç ve bitiş noktaları farklılık gösterebilir. Eğer bir çizgedeki tüm köşe noktalarının derecesi tek ise her yoldan yalnızca bir kez geçmek suretiyle çizmek imkânsızdır.



Şekil 3.3. Euler şebekesi

Yukarıdaki şekilde bir Euler tur yer almaktadır. Tüm köşe noktalarının derecesi çifttir bu nedenle başlangıç ve bitiş noktaları da aynı olur.

Bir şebeke Euler tur içermiyorsa, turun tamamlanabilmesi, en az bir ayrıttan birden fazla kez geçilmesine bağlıdır. Aşağıdaki şekilde çizge Euler tur içermediği için ancak (b ,c) ayrıtından birden fazla geçilerek tur tamamlanabilmektedir.



Şekil 3.4. Euler tur oluşturulamayan şebeke

Euler tur bulmayı gerçekleştiren iki algoritmadan birincisi 1883 yılında oluşturulan Fleury algoritmasıdır. Ancak bu algoritmadan istenilen performans elde edilmiştir (Fleury 1883). Fleury algoritmasında; ilk olarak şebekenin tek dereceli köşelerinin varlığı kontrol edilir ya da sadece iki adet tek dereceli köşeye sahipliği olup almadığına bakılır. Sonraki adımda;

- **Adım 1:** Eğer şebekenin tek dereceli köşesi yoksa hangi noktanın seçildiğinin önemi olmaksızın bir başlangıç noktası belirlenir. Yalnızca iki adet tek dereceli köşe bulunuyorsa tek dereceli köşelerden herhangi bir tanesi başlangıç noktası olarak seçilir.
- **Adım 2:** Her bir adımda eğer tek seçenek varsa, şebekenin gezilecek kısmı için bir köprü seçimi yapılmamalıdır. Fakat sadece bir seçenek varsa o seçenek seçilerek ilerlenmelidir. Bu şekilde işlem ilerletildiğinde artık gidilecek yer olmadığında Euler döngüsü veya Euler turu tamamlanmış olur. Şayet tek dereceli köşe yoksa başlangıç noktasına geri dönülür ve bir Euler döngüsü belirlenmiş olur. İki tane tek dereceli köşe varsa, algoritma diğer tek dereceli düğümde bitirilerek bir Euler yol belirlenmiş olur.

İkinci algoritma, Fleury algoritmasından daha etkili ve verimli olan aynı zamanda Euler döngüsü oluşturmak için farklı bir seçenek ortaya koyan Hierholzer algoritmasıdır (Hierholzer-Wiener 1873). Hierholzer'in algoritmasının ana düşüncesi, bağımsız olan çevreleri birleştirerek Euler döngüsünün kademeli olarak oluşturulmasıdır. Hierholzer algoritması şöyledir:

- **Adım 1:** Herhangi bir noktayla başlanır ve sonrasında komşu da daha önce uğranılmamış herhangi bir yol ile devam edilir. Bu adım, başlangıç noktasına dönünceye kadar yinelenir.
- **Adım 2:** Bu şekilde şebekenin ilk alanı oluşturulur. Bu alanda tüm düğümler mevcut ise, Euler döngüsü oluşturulmuş ve algoritma tamamlanmış demektir.
- **Adım 3:** Aksi takdirde, döngülerin noktaları arasında ziyaret edilmeyen ayrıtlar (yollar) olan başka bir nokta seçilerek 'subtour' denilen farklı bir alan oluşturur. Oluşturulan yeni alanda diğer alan ait yollar bulunmaz böylece her ikisi de birbirinden ayrılmış olur. Bununla birlikte, her iki alan, ikinci alanın başlangıç noktasının seçimiyle en az bir düğümde kesişmelidir. Bu nedenle, her iki alan yeni bir alan olarak belirtilebilir. Bunu elde etmek için, birinci alan düğümlerini tekrarlamakta ve alt turun düğüm dizgesi tarafından tamamlanan alt tur başlangıç düğümü ile yer değiştirmektedir. Böylece eklenen alan ilk alanın içine yerleştirilir. Genişletilmiş alanda tüm kenarlar yer alıyorsa, algoritma tamamlanır. Aksi durumda, eklenecek farklı bir çevrim bulunur (Fendoğlu 2018).

3.1.2. Rotalama problemleri

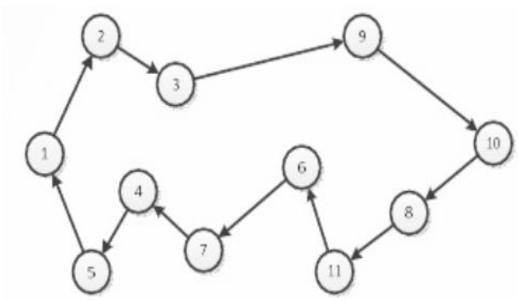
Rotalama konusu üretim ve hizmet sektörünün en önemli karar verme süreçlerinden birisidir. Kamu sektörünün ve özel kurumların bu konudaki harcamaları ilerleyen her zaman dilimi için artmakta ve önemli miktarlara ulaşmaktadır. Yeterli olmayan planlar ve hatalı yatırımlar büyük ölçüde kaynak israfına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda, rotalama konusunun önemi hızla artmış ve birçok araştırmanın yapılmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalar sayesinde daha etkili çözümler bulunmuş, uygulama imkânı artmış ve böylece büyük ölçüde tasarruflar yapılması sağlanmıştır (Emel vd 2003). Rotalama problemleri, düğüm rotalama ve ayrıt rotalama problemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Düğüm rotalama problemlerinin amacı, bir şebekede bulunan bütün noktalara bir kez uğrayarak en kısa tur veya turların belirlenmesini sağlamaktır. Gezgin satıcı ve araç rotalama problemleri birer düğüm rotalama problemidir. Ayrıt rotalama problemlerinde amaç, bir şebeke üzerinde buluna bütün yollardan en az bir kere geçerek başlangıç noktasına dönen en kısa tur veya turları belirlemektir. Ayrıt rotalama problemi, kırsal postacı problemi ve Çinli postacı problemi olmak üzere iki farklı türe sahiptir. Kırsal postacı probleminde (KPP), şebeke üzerinde bulunan *belirli* ayrıtlardan en az bir kere geçilerek, Çinli postacı probleminde (ÇPP) ise şebekedeki *her* ayrıttan en az bir kere geçilerek en kısa turun bulunması amaçlanmaktadır.

3.1.2.a. Düğüm rotalama problemi

Düğüm rotalama problemlerinin amacı, bir şebeke üzerinde bulunan bütün düğümlerden bir defa geçerek en kısa tur veya turların belirlenmesini sağlamaktır.

1. Gezgin Satıcı Problemi (GSP)

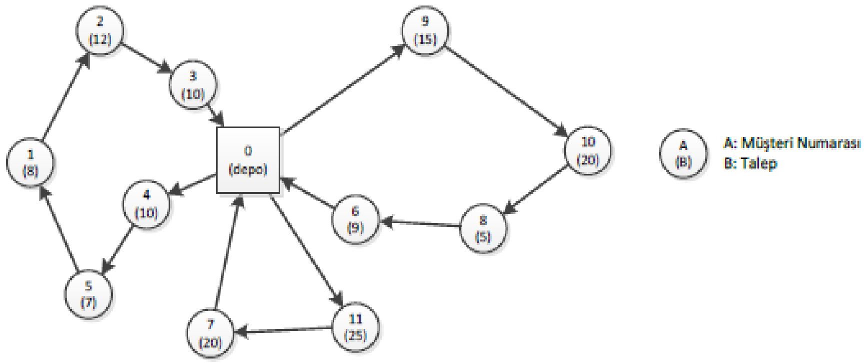
GSP'de, *n* düğümlü bir şebekede satıcının bir başlangıç noktasından yola çıkıp, her düğümde bir kez geçerek ve alt turların oluşması önlenerek başlangıç noktasına geri dönmesi ile oluşan toplam maliyeti, toplam alınan mesafeyi ya da geçirilen toplam süreyi minimize eden tur / turların bulunması amaçlanmaktadır.



Şekil 3.5. Gezgin satıcı problemi şebeke örneği

2. Araç Rotalama Problemi (ARP)

ARP'de, *N* adet müşteri ve 1 adet depodan oluşan bir çizgede bütün noktalar arasındaki süreler bilinmekte olup her müşteri için bir talep söz konusudur. Sonsuz sayıda ve sabit kapasiteye sahip araçlar depoda hazır bulunmaktadır. ARP'de amaç minimum sürede bütün müşterilere hizmet veren rotaları elde etmektir. ARP'de her müşterinin sadece bir kere ziyaret edilmesi, tüm rotaların depodan başlayıp depoda bitmesi gibi ana kısıtların sağlanması gerekmektedir. ARP, GSP' nin tek tür ve sınırlı kapasitesi olan birden fazla aracın kullanıldığı ve farklı kısıtlarında modele dâhil edilmesiyle oluşan daha kapsamlı halidir (Fendoğlu 2018).



Şekil 3.6. Araç rotalama problemi şebeke örneği

3.1.2.b. Ayrıt Rotalama Problemleri

Bilindiği üzere minimum maliyetli akış modeli, tüm şebeke problemlerinin ana modelidir. Bu sebeple diğer şebeke modellerine minimum maliyetli akış modelinin özel türleri ya da genelleştirilmiş halleri şeklinde ele alınabilir.

Ayrıt rotalama problemlerinde amaç, bir şebeke üzerinde bulunan tüm yollara en az bir kez uğrayarak tekrar başlangıç noktasına dönen en kısa tur veya turları oluşturmaktır. Ayrıt rotalama problemleri de, kırsal postacı problemi ve Çinli postacı problemi olarak iki sınıfta ele alınır. Kırsal postacı probleminde, bir şebeke üzerinde bulunan *belirli* yollara en az bir kere uğrayarak, Çinli postacı probleminde ise şebekedeki *her* yoldan en az bir kere geçilerek en kısa turun elde edilmesi sağlanır.

1. Çinli Postacı Problemi

ÇPP, ilk olarak Çinli matematikçi Mei-Ko Kwan tarafından 1962 yılında ele alınmıştır. Bu problem, bir postacının postaneden aldığı mektupları gidilebilecek en kısa yolu kullanarak ve şehirdeki tüm sokaklara uğrayarak dağıtmak istemesiyle ortaya çıkmıştır. Mektupları tüm noktalara dağıttıktan sonra postacı ilk çıkış yaptığı nokta olan12s postaneye geri dönmek durumundadır. Bu nedenle problemden literatürde ÇPP olarak bahsedilmektedir. ÇPP'nin amacı, verilen bir şebeke üzerindeki ayrıtlardan en az bir kez geçecek şekilde en kısa tur/turların bulunmasıdır (Yılmaz 2018).

ÇPP, şebeke optimizasyonunun ana problemlerinden olan gezgin satıcı problemine (GSP) benzer yönleri olsa da temelde önemli farklılıklar bulunmaktadır. GSP, bir düğüm rotalama (yol takip) problemi olup şebekedeki her bir düğüme sadece bir kere uğramak şartıyla en kısa turun (Hamilton turunun) elde edilmesine şartına dayanır (Backin). ÇPP ve GSP arasındaki en önemli fark; ÇPP' de bir şebekenin düğümleri yerine bu düğümleri birbirine bağlayan yollardan geçilmesi ve bunun da en az bir kere gerçekleşmesi koşulunun bulunmasıdır (Eiselt *et al.* 1995a, 1995b).

ÇPP; posta ulaşımı, çöplerin toplanması, yollardaki kar ve buz kontrolleri, tuzlama, kar temizleme ve sokak temizleme çalışmalarında, okul servis ve polis devriye araçlarının rotalanması, su ve gazete gibi ürünlerin dağıtımı gibi birçok alanda uygulanabilmektedir (Thimbleby 2002). Özellikle, araç rotalarının oluşturulmasında yaygın bir şekilde ÇPP uygulamaları yer almaktadır. Zira işletmeler araçlarının çalışma masraflarını; araçların duracakları yerleri düğüm, yolları da ayrıt olarak belirlenen şebeke kuramını kullanarak en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Dolayısıyla karayollarında kullanılan araçların, optimum rotalarının belirlenmesi maliyet açısından kaçınılmazdır (Yılmaz 2018).

ÇPP probleminde, muhtemel en kısa turlar belirlenerek başlangıç noktasına geri dönülür. Böylece bir Euler tur oluşmuş olur. Ancak şebekede her zaman Euler tur elde etmek mümkün değildir. Bu gibi durumlarda turun tamamlanabilmesi için bazı ayrıt veya ayrıtlardan birden fazla geçilmesi gerekebilir. Bu durumda bir ÇPP probleminin optimum rotasını bulmak için gerekli algoritma aşağıdaki gibidir;

- **Adım 1:** Tüm tek dereceli köşeleri listele
- **Adım 2:** Tek dereceli köşelerin mümkün birleşimlerini listele
- **Adım 3:** Her birleşim için minimum ağırlıklı köşeleri birleştiren kenarları bul
- **Adım 4:** Ağırlıkların toplamını minimize eden birleşimleri bul (Dijkstra)
- **Adım 5:** Adım 4'de bulunan kenarları orijinal grafa ekle
- **Adım 6:** Optimal uzunluk Adım 4'de bulunan tüm yolların uzunluklarının toplamı kadardır.

Yönlü Çinli postacı probleminde, yönlü bir şebekede bulunan tüm ayrıtlardan en az bir kere geçilerek, başlangıç noktasına geri dönülmek şartıyla en kısa turun bulunması amaçlanmaktır (Ahuja *et al.* 1993). Karma Çinli postacı problemi ise yönlü ve yönsüz Çinli postacı problemlerinin birleşiminden oluşur. Burada hem yönlü hem de yönsüz ayrıtlardan oluşan bir şebekedeki bütün yollardan en az bir kere geçilip başlangıç noktasına dönülerek en kısa turun bulunması amaçlanmaktır (Corberan *et al.* 2002a). K-Çinli postacı probleminde ise k tane (en az 2) postacı için rotanın oluşturulması hedeflenmektedir. Diğer problemler gibi burada da her bir postacı belirlenen düğümden başlayıp yine aynı düğüme dönmek durumundadır. Bu problemde hedef k adet rotanın toplam uzunluğunu minimize etmektir (Problems 2002). Min-max k-Çinli postacı probleminin k-Çinli postacı problemine benzer özellikleri bulunmaktadır. Yine k tane rota oluşturulmaktadır. Fakat en uzun rotanın minimize edilmesi istenmektedir. Amaç, her bir ayrıta mümkün olan en kısa zamanda ulaşabilmektir. Rotaların daha dengeli olması için yaklaşık eşit uzunluklu rotalar oluşturulmak istenmektedir (Ahr and Reınelt 2002). Hızlı Çinli postacı probleminde, yönsüz bir şebekede yolların uzunluğu, bu ayrıtlardan geçiş yönüne göre değişkenlik göstermektedir. Burada da hedef, şebekedeki tüm yollardan en az bir kere geçerek en kısa turu elde edebilmektir (Eıselt *et al.* 1995a). Çinli postacı probleminin başka bir türü de hiyerarşik Çinli postacı problemidir. Bu problemde şebekedeki yönlü ayrıtlar kümesinde öncelik ilişkileri oluşturulmuş ve hangi yönlü ayrıtlara hangi sırayla hizmet sunulacağı önceden belirlenmiştir (Ghıanı and

Improta 2000). Amacı, bir şebekede bulunan tüm yollardan en az bir kere geçerek en kısa turu elde etmek olan Çinli postacı problemine, karşılaşılan problemin özelliğine göre bir takım ek kısıtlar eklenebilmektedir. Bu kısıtlardan biri de araç kapasite kısıtıdır. Örneğin, yoğun kar ve soğuk nedeniyle buzlanmanın yüksek olduğu yollarda tuzlama çalışmasının bir rota dâhilinde belirli kapasitedeki araçlarla yapılması. Bu problem tipine yönsüz kapasite kısıtlı Çinli postacı problemi adı verilmektedir (Eglese and Li 1992).

Çinli postacı problemi tamsayılı doğrusal programlama ile matematiksel modeli kurulup çeşitli algoritmalarla çözülebilir. Aşağıda yönsüz Çinli postacı probleminin tamsayılı doğrusal programlama modeli verilmektedir.

i, j **:** düğüm indisleri

n **:** şebekedeki düğüm sayısı

$\boldsymbol{X_{ij}}$ **:** i'den j'ye giderken (i, j) ayrıtlarından geçilme sayısı

$\boldsymbol{C_{ij}}$ **:** (i, j) ayrıtının uzunluğu

Amaç fonksiyonu,

$$Min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}$$

Kısıtlar,

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = 0 \qquad \forall\, i \text{ için} \qquad (3.1)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \qquad \forall\, i,j \text{ için} \qquad (3.2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \text{ve tamsayı} \qquad (3.3)$$

Modelde toplam mesafeyi minimize eden amaç fonksiyonu yer almaktadır. (1) kısıt akış kısıtıdır. Herhangi bir düğüme ne kadar giriş varsa o kadar çıkış olacağını gösterir. Başka bir deyişle bir düğümden çıkmak için önce o düğüme gelmek gerekir. Böylece süreklilik sağlanmış olur. (2) kısıt ise yol kısıtıdır. Tüm ayrıtlardan gidilen yöne bağlı olmaksızın en az bir kere geçilmesi gerektiğini göstermektedir. (3) kısıtta ise tüm değişkenlerin negatif olmayan ve tamsayı olan değerler alabileceği belirtilmektedir.

ÇPP klasik matematiksel modeli birçok alanda kullanılsa da gerçek hayat şartlarından kaynaklanan belirsizliği matematiksel modellerle ifade etmek mümkün değildir. Dolayısıyla bu belirsizliği matematiksel modellere dâhil etmek için çalışmamızda bulanık mantık kullanılmıştır. Bu kapsamda klasik ÇPP matematiksel modelinin amaç fonksiyon katsayıları bulanıklaştırılmıştır. Bundan sonraki bölümlerde model aşağıdaki şekilde ifade edilecektir;

Amaç fonksiyonu,

$$Min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \widetilde{c_{ij}} x_{ij}$$

Kısıtlar,

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = 0 \qquad \forall\, i \quad \text{için} \qquad (3.4)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \qquad \forall\, i, j \quad \text{için} \qquad (3.5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \text{ve tamsayı} \qquad (3.6)$$

3.2. Bulanık Mantık

İçinde bulunduğumuz hayat karmaşıktır ve bu karmaşıklık genellikle bilinmezlik şeklinde ifade edilen belirsizliklerden oluşur. İnsanlar geçmişten günümüze bu belirsizlik ve karmaşıklık içeren problemlere sürekli olarak çözümler aramaktadırlar. Belirsizliğin düşük olduğu problemler, standart modellerle ve sayısal yöntemlerle çözüme kavuşmaktadır. Fakat belirsizliğin ve dolayısıyla karmaşıklığın fazla olduğu problemlerin çözümü için standart modeller yetersiz kalmaktadır. İnsan düşüncesinin bilinçaltında her türlü probleme çözüm arama yeteneğinin tersine, insanlar tarafından oluşturulan bilgisayarlar karmaşık ve belirsiz problemlerle baş etme özelliğine sahip değildir. Bunun en önemli nedeni insanın karşılaştığı sorunu ya da incelediği sistemi muhakeme etme yeteneğinin olmamasıdır. Karmaşık bir sistemin muhakeme edilmesinde insanlar, problem hakkında genel bir kavrayış ile sistem davranışı hakkında yaklaşık bir sonuç çıkarabilirler. Bu nedenle, büyük, karmaşık ve belirsizlik içeren sistemleri insan mantığı kullanarak modellemek daha doğru sonuçları elde edilmesini sağlar (Ross 1995).

Bulanık mantık, sıklıkla kullanılan iki parametreli salt doğru ve salt yanlış kavramlarının yanı sıra doğruluk değerleri arasında bulunan "kısmen doğru" kavramını da içine alarak daha geniş bir alan oluşturan bir üst kümedir. Bir başka deyişle her olayın farklı bir doğruluk derecesine sahip olduğu bir küme üyeliğidir. Burada birbiriyle ilişki içerisinde olan olayların bir araya gelerek oluşturduğu kümelerden söz edilmektir.

İlk olarak Prof. Lotfi Zadeh'in 1965 yılında yayınladığı makaleyle bulanık mantık kavramı duyulmuştur. Belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışabilmenin temeline oturtulmuş bir matematiksel sistemdir. Akıl yürütme mantığıdır ve belirsizlik ortamında değerlendirme yaparak yaklaşık sonuçlar elde edilmesini mümkün kılar. Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine yaklaşık düşünme kullanılır.

- Bulanık mantıkta her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi, büyük-küçük, çok-az gibi dilsel ifadeler kullanılarak tanımlanır.
- Bulanık çıkarım işlemi, dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık, matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için oldukça uygundur.
- Bulanık mantık, tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir (Erbay ve Dalkılıç 2005).

Bulanık küme teorisi Yapay zekâ, Uzman sistemler, Kontrol teorisi, Kalite kontrol, Çok amaçlı karar verme, Ürün planlaması ve seçimi, Optimum sistem planlaması, Taşıma, ulaşım, Network, Oyunlar kuramı, Çevre yönetimi, Bankacılık finansı gibi çeşitli bilim dalları ve alanlarda kullanılmaktadır.

3.2.1. Bulanık küme teorisi ve üyelik fonksiyonu

Matematikte çeşitli gruplama ve kavramlar kümelerle ifade edilir. Kümeler sonlu ya da sonsuz sayıda elemandan oluşur. Klasik küme teorisinde tanımlanan bir küme evrensel kümenin herhangi bir elemanını kapsar ya da kapsamaz. Yapılan ayrımla kümenin elemanı olup olmama arasında net bir sınır oluşturulur. Örneğin, zar atma deneyinde elde edilecek sonuç kümesi {1, 2, 3, 4, 5, 6} tamsayılarından oluşur. Birden küçük ve altıdan büyük tamsayılar ve aynı şekilde 1 ile 6 arasında ondalıklı 3,4, 5,1 gibi değerler de bu kümenin elemanı değildir. Oysa günlük hayatta pek çok olayda yapılan sınıflandırmalar o kadar kesin ve net değildir. Örneğin pahalı giysiler, tehlikeli hastalıklar, güzel yerler, soğuk gün gibi yapılan sınıflandırmalar net sınır ve ayrımlara sahip değildir. Gerçekten de bu tür ayırımlar için sınır değerler bulunulan çevreye, insanlara göre farklılık göstermektedir. Bu tür kümelerde elemandan eleman olmayana geçiş kesin değil derecelere göredir. Bu tip belirsizlik ve dereceleme olasılık teorisi ile modellenemez. Kısmi ve dereceli üyelik tanımlaması ve buna bağlı problemlerin çözümü için bulanık küme teorisi geliştirilmiştir.

Bulanık küme teorisi, insan faktörünün de kapsandığı, belirsizlik, kişisel önyargı, davranış ve amaçların girdiği durumlarda uygulama alanı oluştuğundan gerçek hayat problemleri için standart matematiksel modellemelerden daha esnek ve güvenilirdir.

Bulanık küme teorisinin iki ana özelliği bulunmaktadır: Birincisi, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ve operatörleri çok önemli bir yere sahiptir. İkincisi, bulanık küme teorisi temel olarak çok genel, esnek ve yapısal teoridir. Üyelik fonksiyonundan ve operatörlerden bağımsız olarak konuya bağımlı şekilde, anlamlı yorumlarla farklı matematiksel modelleme ve uygun operatörlerle ulaşılabilir. Birinci özellik dikkate alındığında bir bulanık küme tekniği gerçek bir hayat problemine uygulanacak ise üyelik fonksiyonuna ya da onun tahminlerine gereksinim duyar.

Bilindiği gibi üyelik fonksiyonları ya karar vericiye göre tercih tabanlı ya da olabilirlik dağılımlı olmak üzere iki şekildedir. Bulanık küme teorisinde insani faktörler göz önüne alındığından objektiflikten uzaklaşılmakta işin içine kişisel düşünce ve benzeri sübjektif durumlar dâhil olmaktadır.

Diğer önemli ve dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de üyelik fonksiyonu seçilirken ölçme seviyesinin belirlenmesidir. Problem çözümüne sübjektif durumların ve sözel değişkenlerin daha fazla dâhil edilebilmesi için ölçme düzeyinin düşük olması gerekmekte, diğer taraftan bir takım cebirsel işlemlerin anlamlı olabilmesi için ölçme düzeyinin yüksek olması istenmektedir.

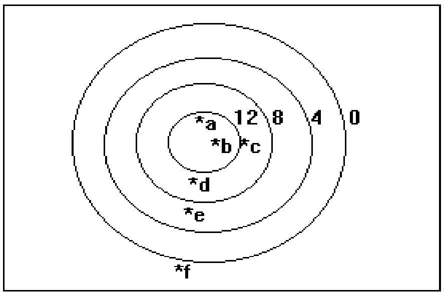
Üyelik fonksiyonunun tanımını daha iyi yapabilmek için: A kümesi bir bulanık küme olsun, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değerine x'in $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesi denir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu [0,1] aralığında değerler alır bunun yanı sıra üyelik fonkisyonlarını farklı aralıklarda da tanımlamak mümkündür. Her bir üyelik fonksiyonunun elemanı X evrensel kümesinin içinde bulunmalı ve tanımlanan aralıkta gerçel sayı olmalıdır (Dubois and Prade 1980).

$\tilde{A}$ kümesinin üyelik fonksiyonu,

$$\forall\, x \in X:\ \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]$$

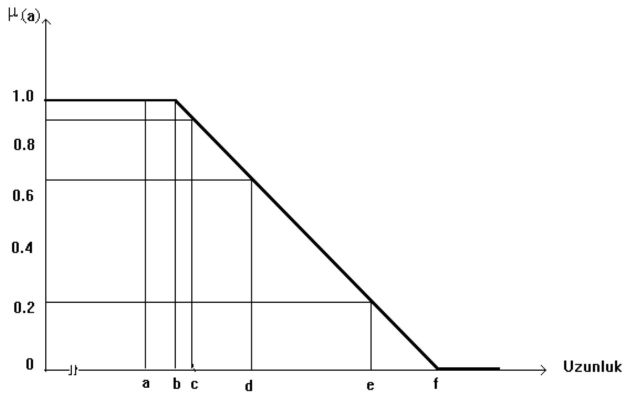
şeklinde ifade edilir.

Örneğin bir atış poligonunda yapılan 6 atış Şekil 1.3.' de verilen biçimde yapılmış olsun. İyi atışlar 12 numaralı daireye isabet eden atışlardır. A ve B atışları 12 numaralı dairenin içine düştüğünden mutlak iyi atışlardır. En dıştaki 0 numaralı dairenin dışına düşen F atışı mutlak olarak kötü atıştır.



Şekil 3.7. Atışların dağılımı

İyi atışlar kümesine üyelikleri için bir derecelendirme yapılırsa μ(a) = 1, μ(b) = 1 ve μ(f) = 0 verilir. 12 numaralı dairenin üzerine düşen C ve daha dıştaki D ve E atışları göreceli olarak daha az iyi atışlardır. Yani tamamen kötü atış değildirler. Hedefe (12) uzaklıklarına göre dereceleme yapılırsa bu, kümeye, üyelikleri yakın olana büyük göreceli, uzak olan küçük olmak üzere μ(c) = 0,9, μ(d) = 0,7 ve μ(e) = 0,3 değerleri ile verilebilirler. μ üyelik fonksiyonuna bu açıdan bakıldığında tercih fonksiyonu da denebilir.



Şekil 3.8. En iyi atışların bulanık kümesi

3.2.2. Bulanık sayı türleri ve durulaştırma yöntemleri

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bulanık sayıların, bulanık regresyon, bulanık programlama ve bulanık karar verme gibi konularda uygulamaları ön plana çıkmaktadır (Özkan 2003).

Bulanık sayılar üyelik derecelerinin gösterimine göre iki farklı gruba ayrılabilir. Üyelik dereceleri [0,1] aralığındaki standart sayılar ile gösterilen bulanık sayılar sıradan (tip 1) bulanık sayılar olarak adlandırılır (Zadeh 1965). Sıradan bulanık sayılar bir kaynağa ait belirsiz ya da tam olmayan bilgiyi ifade etme de son derece başarılıdırlar. Fakat iki veya daha fazla belirsizlik kaynağı aynı anda gerçekleştiğinde sıradan bulanık sayılar yeterli olmamaktadır. Bu tip belirsizliklerin gösterilebilmesi için tip 2 bulanık sayılar tanımlanmıştır. Tip 2 şeklinde tanımlanan bulanık sayıların üyelik dereceleri, bulanık sayılarla gösterilmektedir.

Çalışmamızda kar küreme aracının bir noktadan diğer noktaya giderken trafiğe bağlı olarak değişen zaman faktörü klasik sayılarla ifade edilecek olup ancak bahsedilen değişkenden dolayı belirsiz olduğundan tip 1 bulanık sayılar kümesine girmektedir. Çalışmamızın devamında bu konu üzerinden anlatımlar devam edecektir.

3.2.2.a. Sıradan bulanık sayılar (Tip 1)

Sıradan bulanık sayılar olarak tanımlanan tip-1 bulanık sayılar, üyelik değerleri normal (standart) sayılar olan bulanık sayılardır. Bulanık sayılar gösteriliş şekline göre sınıflandırıldığında, aralık tipi bulanık sayılar, LR tipi bulanık sayılar, üçgensel bulanık sayılar ve yamuk bulanık sayılar en yaygın olarak kullanılan sıradan bulanık sayılardır.

1. Aralık Tipi Bulanık Sayılar

Üyelik değerleri aralık şeklinde verilen bulanık sayılardır.

2. *LR* Tipi Bulanık Sayılar

Bulanık sayıların *LR* şeklinde ifade edilmesi ilk olarak Dubois ve Prade (1978) tarafından yapılmıştır. Genellikle L veya R olarak gösterilen referans fonksiyonları, L $[0,+\infty)$ aralığında azalmayan bir fonksiyon olmak üzere ve $L(x) = L(-x)$ ve $L(0) = 1$ şartlarını yerine getiriyorsa bu şekilde isimlendirilir. Bir M bulanık sayısı ancak ve ancak aşağıdaki denklemleri sağlarsa LR tipi bulanık sayıdır denir. Bir A(m, α, β) bulanık sayısı için,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L(\frac{m-x}{\alpha}), \ x \leq m \ ve \ \alpha > 0 \\ R(\frac{x-m}{\beta}), \ x \geq m \ ve \ \beta > 0 \end{cases}$$

Yukarıdaki denklemde L; sol taraf referansını, R; sağ taraf referansını göstermektedir. m, A'nın ortalama değerini göstermektedir. α ve β değerlerine sırasıyla sol ve sağ yayılımlar denilmektedir. α ve β olan yayılımlar sıfır olunca A sayısı kesin sayı haline dönüşür. Ancak yayılımlar sıfırdan uzaklaştıkça A'nın bulanıklığı artar.

3. Üçgensel Bulanık Sayılar

Doğrusal olan ve kolay ifade edilen üyelik fonksiyonu nedeniyle genellikle üçgensel bulanık sayıların kullanımı yaygındır. A(a_1, a_2, a_3) şeklinde ifade edilen bulanık sayı olsun. Burada a_2 olması gereken değeri gösterir. a_1, sol yayılımı yani olması beklenen değer ile en düşük olan değerin farkını $(a_2 - a_1)$; a_3, sağ yayılımı yani olması beklenen en yüksek değer ile olması beklenen değerin farkını $(a_3 - a_2)$ ifade eder.

Üçgen sayıların ifade edilmesinde, yayılımlar yerine üyeliğin bulunduğu sınır noktalarının değerleri de kullanılmaktadır.

4. Yamuk Bulanık Sayılar

Yamuk bulanık sayılar da üçgensel bulanık sayılara benzerlik göstermekte olup tek fark dört parametre ile ifade edilmesidir.

Üçgen ve yamuk bulanık üyelik fonksiyonlarının anlaşılması kolay ve formüllerinin sade şekilde ifade edilebilir olması hesaplamalara rahatça uygulanabilmekte ve bu nedenle bulanık mantık uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir (Gülcan 2012).

3.2.2.b. Durulaştırma yöntemleri

Durulaştırma, bulanık değerlerden oluşan kümeyi tek değerli kesin bir miktara dönüştürme işlemine verilen isimdir. Birçok uygulamada, denetim komutu kesin bir değer olarak verilir. Bu nedenle, bulanık çıktı sonucunu durulaştırmak gerekir. Durulaştırma, elde edilen bir bulanık denetim etkinliğinde olasılık dağılımını en iyi gösteren, bulanık olmayan denetim etkinliği elde etme sürecidir. Fakat etkili bir durulaştırma yöntemi seçmek için sistematik bir işlem yoktur ve uygulamanın özelliklerini dikkate alan bir yöntemin problem çözümü için ele alınması gerekir (Abduljabar 2011).

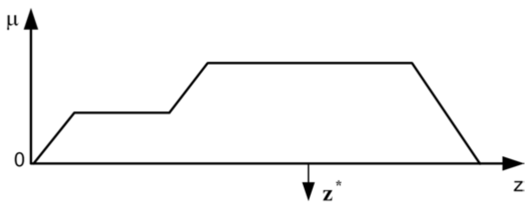
Bulanık sistemlerin oluşturulması ve irdelenmesi için literatürde birçok durulaştırma yöntemi önerilmiş ve uygulanmıştır. Bunlardan en çok kullanılanları, alan merkezi (COA-center of area), ağırlıklı ortalama (WA-weighted average), yükseklik (HM-height method), en büyüklerin ortalaması (MOM-middle of maxima), en büyüklerin ilki (FOM-first of maxima) ve toplamların merkezi (COS-center of sums) yöntemleridir (Sarı 2012).

1. Ağırlık Merkezi Durulaştırma Yöntemi

Üyelik fonksiyonun altında kalan alanın ağırlık merkezi bulunarak elde edilen durulaştırma yöntemidir. Yöntemi uygulamak için aşağıdaki formülden yararlanılır;

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z).z.dz}{\int \mu_c(z)\,dz}$$

Grafik ile gösterimi ise aşağıdaki şekildeki gibidir.



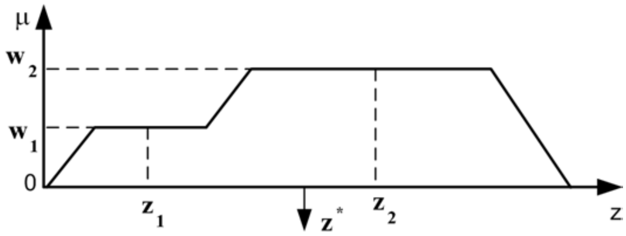
Şekil 3.9. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi grafik gösterimi

2. Ağırlıklı Ortalama Durulaştırma Yöntemi

Yalnızca simetrik üyelik fonksiyonunun yer aldığı kümeler için kullanılan ağırlıklı ortalama yönteminde, sürecin sonucunu oluşturan tüm üyelik fonksiyonlarının en büyük üyelik değerini aldığı değerlerin ağırlıklı ortalaması alınır. Net değerleri elde etmek için kullanılan yöntem aşağıdaki gibidir;

$$z^* = \frac{w_1 \cdot z_1 + w_2 \cdot z_2}{w_1 + w_2}$$

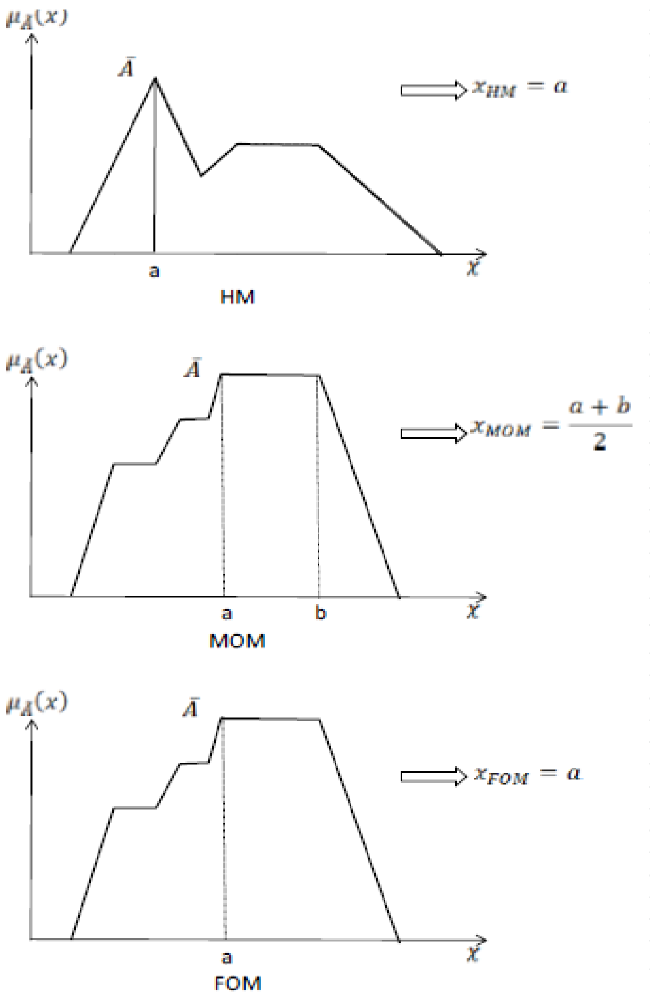
Yöntemin grafik ile gösterimi ise aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.10. Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi grafik gösterimi

3. Büyüklüğe Bağlı Durulaştırma Yöntemi

Büyüklüğe bağlı durulaştırma yöntemi en büyük üyelik derecesinin seçilmesi esasına dayanır. En büyük üyelik derecesi seçimi için üç farklı metot vardır. Bunlar, yükseklik yöntemi (HM-height method), en büyüklerin ortalaması (MOM-middle of maxima) ve en büyüklerin ilki (FOM-first of maxima) yöntemleridir. Eğer birden fazla en büyük üyelik değerine sahip nokta varsa bunların içerisinden en büyük üyelik değerine sahip ilk değer (FOM-first of maxima) veya en büyük üyelik değerine sahip değerlerin ortalaması (MOM-middle of maxima) seçilir (Sarı 2012).



Şekil 3.11. Büyüklüğe bağlı durulaştırma yöntemi grafik gösterimi

4. Toplamların Merkezi Durulaştırma Yöntemi

Durulaştırma yöntemlerinden en hızlı sonuca ulaşılmasını sağlayan yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların matematiksel toplamları ele alınır. Tek dezavantajı kesişen bölümlerin iki defa toplanmasıdır (Abduljabar 2011).

5. Orta Değer (Medyan) Durulaştırma Yöntemi

Bulanık sayıların durulaştırılması yöntemlerinde en sık kullanılan durulaştırma yöntemlerinden birisidir. Üçgensel bulanık sayıların durulaştırılmasında en çok kullanılan yöntemlerden birisi olup formülü aşağıdaki gibidir,

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde tanımlanan bir bulanık sayı olsun. $A^{ÜBS}$,

$$A^{ÜBS} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$$

olarak bulunur.

6. Robust Ranking Tekniği İle Durulaştırma Yöntemi

Dengeleme, doğrusallık ve ilave özellikleri kapsayan insan sezgisinden oluşan sonuçları elde etmemizi sağlayan sıralama tekniğidir. $\tilde{a}$ bir bulanık sayı ise Robust Ranking R($\tilde{a}$) şu şekilde tanımlanır;

$$\mathrm{R}(\tilde{a}) = \int_0^1 (0{,}5) \cdot (a_\alpha^L, a_\alpha^U) d\alpha$$

Burada a_α^L, a_α^U ifadeleri $\tilde{a}$ bulanık sayısının α kesiminin alt ve üst seviyelerini gösterir.

$\tilde{a} = (a, b, c)$ şeklinde bulanık üçgensel sayı olarak tanımlansın. Bu durumda R($\tilde{a}$) fonksiyonu aşağıdaki gibi olur;

$$\mathrm{R}(\tilde{a}) = \int_0^1 (0{,}5) \cdot (a_\alpha^L, a_\alpha^U) d\alpha$$

$$(a_\alpha^L, a_\alpha^U) = \{(b-a)\cdot\alpha + a, c - (c-b)\cdot\alpha\}$$

7. Üçgen Bulanık Sayıların Sıralaması

Literatürde bulanık sayıların sıralanması için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bulanık sayıları karşılaştırmak için etkili olan yaklaşımlardan biri de derecelendirilmiş araçlarına dayanan bir sıralama fonksiyonunun kullanılmasıdır.

Her $\tilde{A} = (a, b, c) \in F(R)$, F(R) sıralama fonksiyonu olmak üzere, şeklinde tanımlanan bulanık üçgensel sayı olduğunda,

$$z^* = \frac{\mathrm{a} + 4\cdot\mathrm{b} + \mathrm{c}}{6}$$

3.2.3. Bulanık karar ve bulanık sayılarda matematiksel programlama

3.2.3.a. Bulanık karar

Karar verme insanoğlunun hayatında kişisel ya da organizasyonel seviyede çok önemli bir yere sahiptir. Her bilinçli hareket bir karar verme olgusundan sonra hayata geçer. Bir karar verme problemi;

- Alternatifler kümesi,
- Alternatifleri çevreleyen, sınırlayan kısıtlar,
- Alternatiflerin tercih edilirliğinin sıralanmasını sağlayan amaç/performans fonksiyonu

parçalarından oluşur.

Karar verme işleminde zorluklar belirsizlikten doğar. Eğer, hangi stratejinin en iyi olduğu biliniyorsa, o strateji uygulanır ve problem yoktur. Ancak pek çok karar probleminde, karar mekanizmasının değişik bölümlerinde belirsizliklerle karşılaşılır. Belirsizliğin bir çeşidi olan bulanıklık, karar değişkenlerinde, kısıtlarda ve hedeflerde olabilir.

Kısıtlar ve amaç fonksiyonu bulanık küme özelliğini taşıyorsa uygun üyelik fonksiyonları ile temsil edilebilir. Eğer amaç fonksiyonuna karşılık düşünülen hedeflerle kısıtları birlikte sağlayan çözüm ya da çözümler varsa bulanık kararın varlığından söz edilebilir.

3.2.3.b. Bulanık matematiksel programlama

Matematiksel programlama (MP), alternatifler arasındaki tercihi amaç fonksiyonu yardımıyla yapar. Tanımlanan amaç fonksiyonun daha büyük (ya da daha küçük) değerli alternatifleri tercih edilebilir kılar. Amaç fonksiyonunun değerleri alternatifin seçiminde sonucu belirler. Bu değerler ekonomi problemlerinde, örneğin çeşitli üretim yollarını kullanarak elde edilecek karları yansıtır. MP problemlerinde uygun alternatifler kümesi değişkenler arasında ilişkileri gösteren eşitlik ya da eşitsizliklerle tanımlanır.

Ancak bazı problemlerde parametrelerin değerleri problem formülasyonunda kapsanmayan pek çok faktöre bağlıdır. Bu durumda parametrelerin bulanık kümeler ve mümkün değerler ile uygun biçimde modele girmesi problemi daha gerçekçi kılacaktır. Sonuç model her ne kadar gerçek sistemin bir kısım detaylarını dikkate almasa da az çok sabit değerli parametreli gösterimden gerçeğin daha uygun temsili olacaktır.

Doğrusal programlama probleminin girdileri, kar katsayıları, teknik katsayılar ve kaynak sınırları, çeşitli sebeplerle, örneğin bilgi eksikliği, bilgiye ulaşamama veya hareketli ekonomik ortamlar nedeniyle kesin belli olmama bulanık (fuzzy) olabilirler. Örneğin kar katsayıları enflasyonist ortamlarda sürekli oynar. Kesin tek değerde durmaz. Yine elde edilebilir iş zamanı 2000 saat 'civarında' veya hammadde 5000 birim 'kadar' gibi olabilir. Aynı şekilde teknolojik matris elemanları içinde üretimde olduğu gibi insan ve diğer, sonuçları çeşitli sebeplerle etkileyen etmenlerin olması nedeniyle her bir katsayı için 'civarında', 'aralığında', 'kadar' gibi kesinlik içermeyen terimler kullanılması olasıdır. Bu şekilde kesin olmayan / bulanık (fuzzy) sayıları formüle etmek için şartlara bağlı olarak üyelik fonksiyonu ya da olabilirlik fonksiyonu kullanılır.

Klasik doğrusal programlama problemi girdilerinin bulanık veya kesin olmayan bilgilerin olması durumuna göre bulanık doğrusal programlama veya olabilirlik doğrusal programlama olarak adlandırılır.

Bulanık programlamayla uğraşan birçok yazar değişik açıdan bakarak farklı sınıflamalar yapmışlardır. Ancak genel olarak bulanık matematiksel programlama problemlerini aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz;

- Bulanık kısıtlı
- Bulanık amaç fonksiyonlu
- Bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlı

1. Sağ Taraf Sabitlerinde Bulanıklık

Kaynak sınırları adı verilen sağ taraf sabitleri bulanıklığa en çok elverişli olan doğrusal programlama modelidir. Çünkü işgücü, makine zamanı, hammadde miktarı gerçekten birçok etkene bağlıdır. Aslında, sabit düşünülmesi olayı etkileyen etkenlerin bütünü yok sayılarak problem basitleştirmektir. Örneğin insan gücü etkin şekilde yer aldığı üretim sektöründe insanlarla ilgili birçok olay çalışma zamanının sabit bir değerde gitmesine izin vermez. Bu nedenle çalışma zamanı sabit değerin artı-eksi çevresinde, belli bir aralıkta gerçekleşecektir. Ya da karı maksimize etmek için kaynakların tümünü kullanmak ya da ek kaynak kullanımı karlı olacak ise bunun değişim aralığı ve kazancı (getirisi) bilinmek istenecektir.

2. Amaç Fonksiyonunda Bulanıklık

Amaç fonksiyonunda iki biçimde bulanıklık söz konusudur. Birincisi amaç fonksiyonu değeri yani hedef bulanık olabilir. İkincisi de amaç fonksiyonu katsayıları (fiyat veya kar miktarlarında) bulanıklık olabilir.

Çalışmamızda amaç minimum sürede kar küreme aracının belirlenen rotalara uğrayıp başladığı noktaya geri dönmesidir. Trafiğe bağlı olarak bir noktadan diğer bir noktaya gitmesi değişkenlik göstermektedir. Örneğin 1 noktasından 2 noktasına normal şartlarda 5 dakikaya varmaktadır. Trafik yoğun olduğunda bu süre 9 dakikaya çıkmakta ve hiç trafik olmadığında ise 3 dakikada bu yolu tamamlamaktadır. Bu durumda $\tilde{A}$= (3, 5, 9) olarak ifade edilecek ve bu yol arası zaman yani amaç fonksiyon katsayısı modelde (3, 5, 9) olarak yer alacaktır. Bu bağlamda bundan sonra kullanılacak olan bulanıklaştırılmış çinli postacı problemi (BÇPP) için matemaktiksel model aşağıdaki şekilde ifade edilecektir.

Amaç fonksiyonu,

$$Min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \widetilde{c_{ij}} x_{ij}$$

Kısıtlar,

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = 0 \qquad \forall\, i \quad \text{için} \qquad (3.1)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \qquad \forall\, i,j \quad \text{için} \qquad (3.2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \text{ve tamsayı} \qquad (3.3)$$

3. Tüm Elemanların Bulanık Olduğu Durum

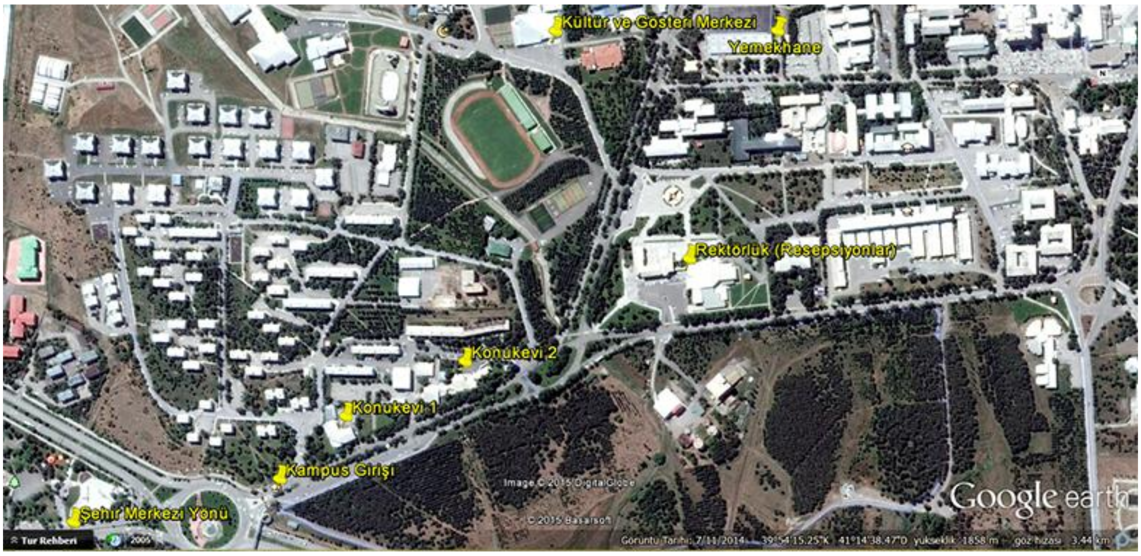
Bu kısımda doğrusal programlama problemlerinde tüm elemanların belirsiz ve bulanık olması daha açıkçası, karar problemi girdilerinin tamamen bilinmediği, ancak belli bir derece açıklıkta tahmin edilmesiyle en iyi sonuca ulaşma hedeflenmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çinli Postacı Problemine Bulanık Yaklaşım ve Uygulama

Çinli postacı problemi gerek gerçek hayat problemlerinde gerekse akademik çalışmalarda yaygın olarak kullanılsa da yapılan literatür araştırması sonucu problemin bulanık mantıkla çözümüne rastlanamamıştır. Çalışmamızda Çinli postacı problemi matematiksel modelinin amaç fonksiyonu katsayıları bulanıklaştırılmış ve literatürdeki durulaştırma yöntemleri kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu bölümün devam eden kısımlarında uygulama problemi tanıtılacak ve önce küçük ölçekli bir örnek üzerinde uygulama yapılacaktır. Daha sonra gerçek hayat probleminin çözümleri verilecek ve bir sonraki bölümde sonuçlar tartışılarak öneriler sunulacaktır.

Bu çalışmanın uygulama kısmı Erzurum Atatürk Üniversitesi kampüsünde yapılmıştır. Kampüste fakültelerin olduğu bölgede her bir kavşak noktası bir düğüm olarak kabul edilmiş ve bu düğümler arasındaki yollarda bağlantı olarak kabul edilmiştir.

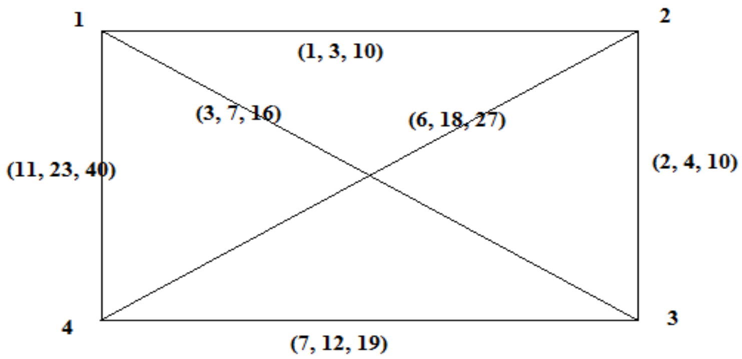


Şekil 4.1. Atatürk Üniversitesi kampüs alanı

Toplam 117 adet düğüm ve 310 adet bağlantı bulunmaktadır. Bu bağlantılar arasındaki mesafe Google Maps yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Önce standart değerler normal hız sınırı değerinde hesaplanmış; alt ve üst değerler trafiğin yoğun olduğu ve hiç trafiğin olmadığı zamanlarda gözlemlenerek belirlenmiştir. Durulaştırma yöntemlerine göre net sayılar elde edilmiş ve GAMS paket programı yardımıyla rotalar ve minimum süre değerleri elde edilmiştir.

4.1.1. Dört düğümlü ÇPP şebekesinin bulanık yaklaşım ile çözümü

Aşağıdaki şekilde 4 düğümlü bir şebeke ve bu şebeke üzerinde bir düğümden diğer düğüme giderken geçen zaman dakika cinsinden üçgensel bulanık sayı olarak verilmiştir.



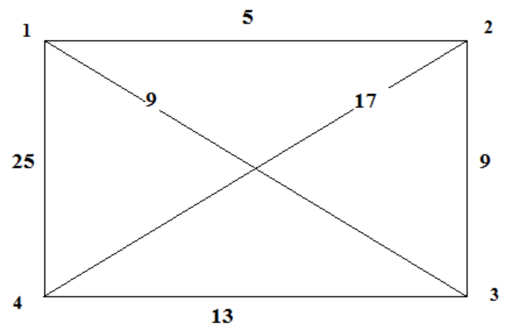
Şekil 4.2. Dört düğümlü ÇPP şebekesi

Örneğin 3 noktasından 4 noktasına normal şartlarda 12 dakikada gidilirken trafik yoğun olduğunda 19 dakikada; trafik yokken 7 dakikada bu yol tamamlanmaktadır.

Durulaştırma yöntemleri kullanılarak elde edilen net sayılara göre problemin çözümü her bir yöntem için ayrı başlıklarda toparlanacak; düğümler arasındaki net sayılar, minimum süre ve rotalar bir sonraki başlıktan itibaren gösterilecektir.

4.1.1.a. Orta değer (medyan) durulaştırma yöntemi

Bu yönteme göre elde edilen net sayılar şebeke üzerinde gösterilmiştir.



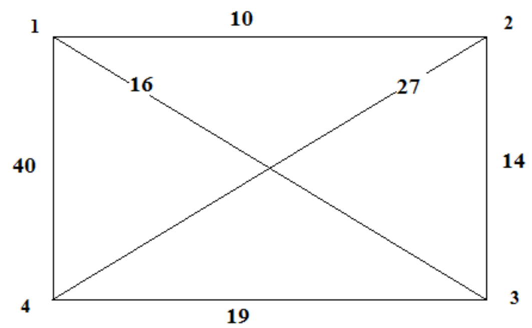
Şekil 4.3. Dört düğümlü şebeke - 1

Toplam süre : 96 dakika

Rota : 1-3-4-2-1-4-3-2-1

4.1.1.b. Büyüklüğe bağlı durulaştırma yöntemi

Yükseklik;

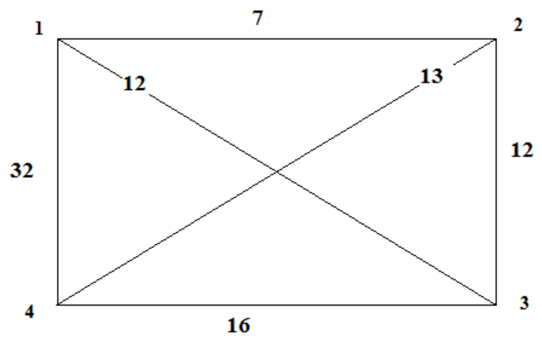


Şekil 4.4. Dört düğümlü şebeke - 2

Toplam Süre : 155 dakika

Rota : 1-3-4-2-1-4-3-2-1

En Büyüklerin Ortalaması;

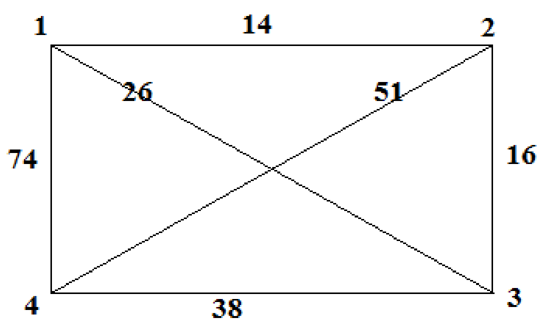


Şekil 4.5. Dört düğümlü şebeke - 3

Toplam Süre : 125 dakika

Rota : 1-3-4-2-1-4-3-2-1

4.1.1.c. Toplamların merkezi durulaştırma yöntemi

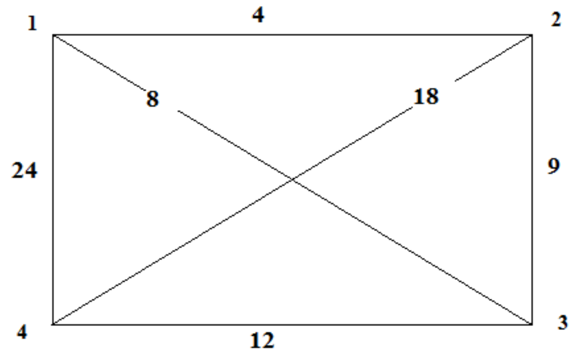


Şekil 4.6. Dört düğümlü şebeke - 4

Toplam Süre : 271 dakika

Rota : 1-2-4-3-2-1-4-3-1

4.1.1.d. Üçgen bulanık sayının sıralaması

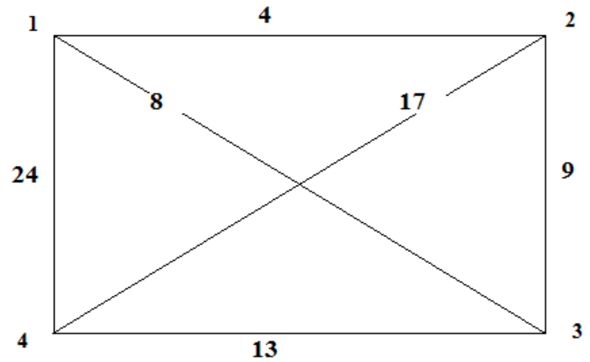


Şekil 4.8. Dört düğümlü şebeke - 5

Toplam Süre : 91 dakika

Rota : 1-2-4-3-2-1-3-4-1

4.1.1.e. Robust Ranking tekniği ile durulaştırma yöntemi



Şekil 4.9. Dört düğümlü şebeke - 6

Toplam Süre : 92 dakika

Rota : 1-2-4-3-2-1-3-4-1

4 düğümlü şebeke için bulanık yaklaşımla Çinli postacı problemi çözülmüş ve yukarıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Örnek uygulama küçük ölçekli ve verilen değerler birbirine

yakın olmasına rağmen seçilen yönteme göre rotanın ve optimum değerlerin değiştiği gözlemlenmiştir.

4.1.2. Uygulama

Çalışmamızda yapılan uygulamada 117 adet düğüm ve 310 adet bağlantı bulunmaktadır. Kar küreme aracı başlangıç noktasından başlayıp tüm şebekeyi dolaştıktan sonra tekrar başladığı noktaya dönecektir. Şebeke, Erzurum Atatürk Üniversitesi kampüs bölgesindeki yollardan oluşmaktadır. Oluşturulan şebeke matrisi simetriktir. Bulanıklaştırılmış Çinli postacı problemine ait model aşağıdaki gibidir (Düğüm sayısı fazla olduğundan sadece başlangıç ve bitiş değerleri yazılmış, model kapalı şekilde ifade edilmiştir) ;

Amaç fonksiyonu,

$$Min\ (27;59;63)x_{12} + (30;59;67)x_{13} + (90;179;185)x_{1114} + \cdots + (15;38;81)x_{117116}$$

Kısıtlar,

$$\textstyle\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = 0 \qquad \forall\, i \quad \text{için} \qquad (4.1)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \qquad \forall\, i,j \quad \text{için} \qquad (4.2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \text{ve tamsayı} \qquad (4.3)$$

Modelde toplam süreyi minimize eden amaç fonksiyonu yer almaktadır. (1) kısıt akış kısıtıdır. Herhangi bir düğüme ne kadar giriş varsa o kadar çıkış olacağını gösterir. Başka bir deyişle bir düğümden çıkmak için önce o düğüme gelmek gerekir. Böylece süreklilik sağlanmış olur. (2) kısıt ise yol kısıtıdır. Her bir ayrıttan yöne bağlı olmaksızın (yönsüz olarak) en az bir kez geçilmesi gerektiğini göstermektedir. (3) kısıtta ise tüm değişkenlerin negatif olmayan ve tamsayı olan değerler alabileceği belirtilmektedir.

Bulanık süre matrislerinin durulaştırılması sonucu elde edilen net değerler ile yeni bir matris oluşturulmuş ve Intel Core i7 2600 CPU 8 GB RAM bilgisayarda GAMS 24.2.3 versiyonu yardımıyla çözülmüştür. Çözüm sonucu elde edilen optimum değerler ve rotalar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Durulaştırma yöntemi sonuçları

YÖNTEM	OPTİMUM DEĞER	ROTA
Orta Değer (Medyan) Durulaştırma Yöntemi	5174	1-3-4-20-15-16-15-17-15-18-20-19-2-19-18-15-13-14-13-12-11-9-10-8-7-8-6-5-4-19-20-5-6-7-9-86-83-84-85-84-11-12-82-69-67-68-67-64-66-63-66-65-58-65-63-61-62-61-60-59-57-60-57-55-56-55-53-54-53-50-51-52-51-50-48-49-47-48-47-46-107-34-39-46-39-38-41-43-44-45-44-43-41-42-38-40-42-40-34-33-32-97-31-32-31-29-30-29-28-24-27-26-27-24-25-24-22-23-22-21-5-21-98-99-98-100-101-102-101-100-103-104-105-104-106-104-103-116-117-116-36-33-35-42-35-37-36-37-80-77-76-74-75-74-55-57-58-73-72-112-111-113-71-113-72-71-70-82-83-86-87-10-87-88-87-89-92-91-90-91-94-95-96-97-96-94-91-92-93-92-28-89-90-110-111-110-109-107-108-107-109-112-72-64-70-69-68-81-76-77-78-79-78-77-80-115-114-81-114-1-2-3-1
Büyüklüğe Bağlı Durulaştırma Yöntemi(Yükseklik)	10120	1-3-4-20-15-16-15-17-15-18-20-19-2-19-20-5-4-19-18-15-13-14-13-12-11-9-7-6-5-6-8-7-8-10-9-86-83-84-85-84-11-12-82-69-68-67-69-70-82-83-86-87-10-87-88-87-89-92-91-90-91-94-95-96-97-31-32-97-96-94-91-92-93-92-28-24-25-24-27-26-27-24-22-23-22-21-5-21-98-99-98-100-101-102-101-100-103-104-105-104-106-104-103-116-117-116-36-33-32-31-29-30-29-28-89-90-110-111-110-109-107-108-107-109-112-111-113-71-113-72-112-72-71-70-64-72-73-58-57-55-56-55-53-54-53-50-51-52-51-50-48-49-47-48-47-46-39-46-107-34-39-38-40-34-33-35-42-40-42-41-43-44-45-44-43-41-38-42-35-37-36-37-80-77-76-74-75-74-55-57-59-60-57-60-61-62-61-63-66-63-65-58-65-66-64-67-68-81-76-77-78-79-78-77-80-115-114-81-114-1-2-3-1

Çizelge 4.1. Durulaştırma yöntemi sonuçları (devam)

Büyüklüğe Bağlı Durulaştırma Yöntemi(En Büyüklerin Ortalaması)	6922	1-3-4-20-15-16-15-17-15-18-19-2-19-4-5-20-19-20-18-15-13-14-13-12-11-9-10-8-7-8-6-5-21-5-6-7-9-86-83-86-87-10-87-88-87-89-90-91-92-28-89-92-93-92-91-94-95-96-97-31-32-97-96-94-91-90-110-111-110-109-107-108-107-109-112-111-113-71-113-72-112-72-71-70-82-83-84-85-84-11-12-82-69-68-67-69-70-64-66-65-58-73-72-64-67-68-81-114-81-76-77-78-79-78-77-76-74-75-74-55-56-55-57-58-65-63-66-63-61-62-61-60-59-57-60-57-55-53-54-53-50-51-52-51-50-48-49-47-48-47-46-107-34-39-46-39-38-40-42-41-43-44-45-44-43-41-38-42-40-34-33-32-31-29-30-29-28-24-25-24-27-26-27-24-22-23-22-21-98-99-98-100-101-102-101-100-103-104-105-104-106-104-103-116-117-116-36-37-36-33-35-42-35-37-80-77-80-115-114-1-2-3-1
Toplamların Merkezi Durulaştırma Yöntemi	15522	1-3-4-20-15-16-15-17-15-18-20-19-2-19-20-5-4-19-18-15-13-14-13-12-11-9-7-6-5-6-8-7-8-10-9-86-83-84-85-84-11-12-82-69-67-68-69-70-82-83-86-87-10-87-88-87-89-92-91-90-91-94-95-96-97-96-94-91-92-93-92-28-24-25-24-27-26-27-24-22-23-22-21-5-21-98-99-98-100-101-102-101-100-103-104-105-104-106-104-103-116-117-116-36-33-34-107-108-107-109-110-111-112-109-107-46-39-34-40-42-35-42-41-43-44-45-44-43-41-38-42-40-38-39-46-47-49-48-47-48-50-51-52-51-50-53-54-53-55-57-59-60-61-62-61-63-66-63-65-58-57-60-57-55-56-55-74-75-74-76-77-78-79-78-77-80-77-76-81-68-67-64-70-71-72-73-58-65-66-64-72-112-72-113-71-113-111-110-90-89-28-29-30-29-31-32-31-97-32-33-35-37-36-37-80-115-114-81-114-1-2-3-1

Çizelge 4.1. Durulaştırma yöntemi sonuçları (devam)

Üçgen Bulanık Sayıların Sıralaması	4450	1-3-4-20-15-16-15-17-15-18-20-19-2-19-18-15-13-14-13-12-11-9-10-8-7-8-6-5-4-19-20-5-6-7-9-86-83-84-85-84-11-12-82-69-67-68-67-64-66-65-58-65-63-66-63-61-62-61-60-59-57-60-57-55-56-55-57-58-73-72-113-71-113-111-110-90-91-92-93-92-91-94-95-96-97-32-31-97-96-94-91-90-89-92-28-24-27-26-27-24-25-24-22-23-22-21-5-21-98-99-98-100-101-102-101-100-103-104-105-104-106-104-103-116-117-116-36-33-35-42-35-37-36-37-80-77-76-81-68-69-70-82-83-86-87-10-87-88-87-89-28-29-30-29-31-32-33-34-39-38-40-42-41-43-44-45-44-43-41-38-42-40-34-107-109-110-111-112-72-64-70-71-72-112-109-107-108-107-46-39-46-47-49-48-47-48-50-51-52-51-50-53-54-53-55-74-74-74-76-77-78-79-78-77-80-115-114-81-114-1-2-3-1
Robust Ranking Tekniği ile Durulaştırma Yöntemi	4859	1-3-4-19-20-15-16-15-17-15-18-20-4-5-20-19-2-19-18-15-13-14-13-12-11-12-82-83-86-83-84-85-84-11-9-7-6-5-6-8-7-8-10-87-10-9-86-87-88-87-89-92-93-92-91-90-91-94-96-97-96-95-94-91-92-28-29-30-29-31-32-31-97-32-33-35-37-36-33-34-107-108-107-109-110-111-112-72-113-71-113-111-110-90-89-28-24-25-24-27-26-27-24-22-23-22-21-5-21-98-99-98-100-101-102-101-100-103-104-105-104-106-104-103-116-117-116-36-37-80-77-78-79-78-77-76-81-68-69-67-68-67-64-66-63-66-65-58-65-63-61-62-61-60-57-60-59-57-55-56-55-57-58-73-72-71-70-82-69-70-64-72-112-109-107-46-39-34-40-42-40-38-42-35-42-41-43-44-45-44-43-41-38-39-46-47-48-47-49-48-50-51-52-51-50-53-54-53-55-74-75-74-76-77-80-115-114-81-114-1-2-3-1

5. SONUÇ

Ayrıt rotalama problemleri; 1900'lü yıllardan bugüne bir çok araştırmacının üzerinde çalıştığı bir şebeke optimizasyon problemidir. Bu çalışmada bu problem türlerinden biri olan ÇPP incelenmiştir. ÇPP, günümüzde posta gönderimi, yol bakımı, kar küreme, çöp toplama, devriye araçları ve yol tuzlama gibi pek çok konuda uygulaması bulunmaktadır. Gerçek hayatta bu problemlerin çözümü için önemli maliyetler söz konusudur. Ancak planlamanın etkin olarak yapılamaması büyük ölçekli kaynakların israfına sebep olmaktadır. Bu nedenle ÇPP'nin önemi özellikle uygulama alanında gittikçe yükselmektedir.

ÇPP türleri için günümüze kadar birçok çözüm yöntemi bulunmuştur. Problem çoğunlukla, kesin çözüm yöntemi olan tam sayılı doğrusal programlama yardımıyla çözülmüştür. Literatür araştırması sırasında bulanık mantığın sadece gezgin satıcı problemi üzerindeki uygulamalarına rastlanılmış ve ÇPP model olarak GSP benzediğinden ÇPP'ne bulanık yaklaşım ile çözüm önerilmiştir. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak amaç fonksiyonu katsayıları bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklık kısaca belirsiz durumlardan kaynaklanır. Geçmişten günümüze insanlar bu bilinmezlik ve karmaşıklık içeren problemlere bilinçaltında çözümler aramaktadırlar. Belirsizliğin az olduğu problemler, standart çözüm yöntemleri ve sayısal yöntemlerle çözüme ulaşılabilmektedir. Ancak belirsizliğin ve dolayısıyla karmaşıklığın arttığı problemlerin sonuca ulaşmasında standart modeller yeterli olmamaktadır. Bu bağlamda problemin gerçek hayat problemlerini yansıtabilmesi adına süre olarak ele aldığımız amaç fonksiyon katsayısı bulanıklaştırılmıştır.

Uygulama da kullanılan değerler gerçek değerler olup literatürdeki durulaştırma yöntemleri kullanılarak net değerler elde edilerek problem çözülmüştür. Sonuç olarak birbirine yakın değerler çıksa da rotalar her yöntemde farklılık göstermektedir. Uygulamamızın amacı literatürdeki durulaştırma yöntemlerini probleme uygulayarak farklılıkları gözlemlemektir. Bu bağlamda optimum süre ve bu süreyi bulmada kullanılan yöntemler sırasıyla Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Farklı durulaştırma yöntemlerine göre elde edilen optimum değerler

YÖNTEM	OPTİMUM DEĞER
Üçgen Bulanık Sayıların Sıralaması	4450
Robust Ranking Tekniği ile Durulaştırma Yöntemi	4859
Orta Değer (Medyan) Durulaştırma Yöntemi	5174
Büyüklüğe Bağlı Durulaştırma Yöntemi(En Büyüklerin Ortalaması)	6922
Büyüklüğe Bağlı Durulaştırma Yöntemi(Yükseklik)	10120
Toplamların Merkezi Durulaştırma Yöntemi	15522

GAMS paket programı yardımıyla elde edilen sonuçlara bakıldığında optimum süre 4000-6000 bandındadır. 10120 saniye ve 15522 saniye değerleri diğer değerlerle aradaki farkın açıldığı en büyük değerlerdir. Bu en büyük değerlerde üçgensel bulanık sayılardaki en büyük değeri (yükseklik) ve tüm değerlerin (toplamların merkezi) toplamlarını hesaplayan yöntemlere dayanır. En büyük değerleri esas alan yöntemler üçgensel olarak tanımlanan bulanık sayının tamamını hesaba katıp ortalama bir değer hesaplamaktan uzak olduğundan gerçeği çok fazla yansıtmamaktadır. Diğer yöntemlerden süre bazında en optimum sonucu veren yöntem 4450 saniye ile üçgen bulanık sayıların sıralamasını esas alan durulaştırma yöntemidir.

Uygulama alanlarının farklılığı ve önemine rağmen, ÇPP için çözüm yöntemleri, gezgin satıcı ve araç rotalama problemleri kadar yeterli ilgi görmemiştir. Bu çalışmada yapılan uygulama ÇPP farklı türleri içinde uygulanabilir. Şebeke optimizasyonu problemlerinin bu alanı pek çok araştırmacı için hala çalışılmaya ve yeniliklere açık bir şekilde literatürde yer almaktadır.

KAYNAKLAR

Alpaslan, M., 2015. Araç Rotalama Problemleri İçin Matematiksel Modeller ve Çözüm Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Atlı, Ö., Kahraman, C., 2013. Fuzzy Critical Path Analysis. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31,128-140.

Çolak, S., 2010. Genetik Algoritmalar Yardımı İle Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü Üzerine Bir Uygulama. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Entitüsü Dergisi, 19(3), 423-438.

Demiral, M., 2013. Süt Endüstrisinde Optimizasyon İmkanları ve Bir Model Önerisi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 5(8), 36-57.

Dubois, D., Prade, H., 1979. Operations in a Fuzzy-Valued Logic. Information and Control, 43, 224-240.

Durucasu, H., 2004. Bir Polis Devriye Aracı Rotasının Elektronik Çalışma Sayfası Modeli Yardımıyla Belirlenmesi. Sosyal Bilimler Dergisi, 2, 49-72.

Emel, G. G., Taşkın Ç., ve Dinç, E., 2003. Yönsüz Çinli Postacı Problemi: Polis Devriye Araçları İçin Bir Uygulama. Sosyal Bilimler Dergisi, 3 (1), 121-140.

Eroğlu, E., Azizoğlu, M., 2018. Exact Solution Approaches For The Directed Bi-Objective Chinese Postman Problem. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 29(1-2), 15-30.

Eroğlu, E.. 2015. A Single Chinese Postman Problem With Two Objectives. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Eroğlu, H.., 2015. Graf Teorinin Cebirsel Yapıları. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.

Ertuğrul, İ., Özçil, A., 2016. Siyasi Parti Mitinglerinin Gezgin Satıcı Problemi Yaklaşımı ile Analizi. Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 4(4), 223-238.

Fındıklı, A., Altun, S., Fendoğlu, E., Söyler, H., 2018. Yapay Arı Kolonisi Algoritması İle Gezici Robotun Haritalanmış Sahada Gezinme Maliyetinin Optimizasyonu. 2. International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Samsun.

Gülcan, B., 2012. Bulanık Doğrusal Programlama Ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma. Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.

Jatinder Pal Singh, Neha Ishesh Thakur., 2015. A Novel Method to Solve Assignment Problem in Fuzzy Environment. Endustrial Engineering Letters, Vol.5, (2), 31-36.

Karasakal, O., 2012. Bulanık Pıd Kontrolörleri İçin Çevrim İçi Kural Ağırlıklandırma Yöntemleri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kılıç, S., Kahraman, C., 2009. Bulanık Karar Ortamında Karınca Kolonisi Optimizasyonu Yöntemiyle Araç Rotalama. İTÜ Mühendislik Dergisi, 8(4), 160-172.

Kumar A. and Gupta A., 2012. Assignment and Travelling Salesman Problems with Coefficients as LR Fuzzy Parameters. International Journal of Applied Science and Engineering, 10 (3),155-170.

Kuruüzüm, A., 1999. Bulanık Amaç Katsayılı Doğrusal Programlama. D.E.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi, 14(1), 27-36.

Limon, Y.. 2015. On The Balanced K-Chinese Postmen Problems. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Menteş, A., 2000. Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özdemir, İ., Aytekin, O., Kuşan, H., 2011. Kent Bölge ve Altbölge Hizmet Serimlerinde GSP ve ÇPP Yöntemleri Kullanılarak Toplam Değer Eniyileme. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, Bursa.

Özkan, S., 2010. Gezgin Satıcı Probleminin Çözümüne Yönelik Algoritmik Yaklaşımlar. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

S.Abduljabar, J., 2011. Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Gazlı İçeceklerde Karbondioksit Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Shanmugasundari, M., Ganesan, K., 2013. A Novel Approach For The Fuzzy Optimal Solution Of Fuzzy Transportation Problem. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 3, (1), 1416-1424.

Söyler, H., Fendoğlu, E., 2018. Route Optimization of Malatya Metropolitan Municipality Pesticide Vehicles. The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems, 6(1), 14-24.

Thorani, Y.L.P., Ravi Shankar, N., 2017. Application of Fuzzy Assignment Problem. Advances in Fuzzy Mathematics, 12 (4), 911-939.

Türkşen, Ö., 2011. Çok Yanıtlı Yüzey Problemlerinin Çözümüne Bulanık ve Sezgisel Yaklaşım. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uçal Sarı, İ., 2012. Yatırım Analizinde Bulanık Model Önerileri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wang, Hsio-Fan., Wen, Yu-Pin., 2002. Time-Constrained Chinese Postman Problem. Computers and Mathematics with Application, 44, 375-387.

Yalçın, P., 2014. Seçici Gezgin Satıcı Problemi İçin Yeni Matematiksel Modeller. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yılmaz, M., 2018. Karayolları Bakım Çalışmasında Kullanılan Araçların Güzergâhlarının Hiyerarşik Çinli Postacı Problemi Kullanılarak Düzenlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(4), 107-115.

Yılmaz, M., Çodur, M., Yılmaz, H., 2017, Chinese Postman Problem Approach For A Large-Scale Conventıonal Rail Network In Turkey, 24(5), 1471-1477.

Yiğit, F., Güner, E., 2002. Otomatik Yönlendirmeli Araç (Oya) Sistemleri Ve Depo Bakımında Rotalama Problemi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 269-277.

Zhang, J., 2011. Modeling and Solution for Multiple Chinese Postman Problems. 215, 520-525.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad, Soyad : Nida Nur GÖKHAN

Uyruk : Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Tarihi, Yeri : 02.09.1991, Erzurum

E – Mail Adresi : nida.gokhan@gmail.com

Eğitim Bilgileri

Lise : Erzurum Anadolu Lisesi (2005-2009)

Lisans : Atatürk Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği (2009-2013)

Yüksek Lisans : Atatürk Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği (2015-2019)

Yabancı Diller

İngilizce / Indermediate

Bilgisayar Programları

Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), Arena Simulation, R, Python