

**KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA
VE EŞZAMANLI TOPLAMA-DAĞITIMIN
SON KİLOMETRE VE KURYE
OPERASYONLARINDA
PLANLANMASI VE OPTİMİZASYONU**

EMÜ 405 Sistem Analizi ve Tasarımı I

TÜRKÇE ÖZET

By

ÇAKIR İŞİL 2230469118

ULAŞ MUSTAFA ALP 2210469034

YILDIRIM FİRÜZE İPEK 2220469028

Danışman

ERDİ DAŞDEMİR

04.01.2026

UPS Son kilometre lojistik operasyonları, özellikle büyük ve yoğun şehirlerde, yüksek talep dalgaları, sıkı zaman kısıtları ve karmaşık operasyonel kurallar nedeniyle planlama açısından önemli zorluklar içermektedir. Günlük kurye operasyonlarında araç kapasitesinin aşılması, rota sürelerinin vardiya sınırlarını geçmesi, coğrafi olarak dağınık durak atamaları ve sahada sürekli yeniden planlama ihtiyacı, hem operasyonel maliyetleri artırmakta hem de hizmet kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma, söz konusu zorluklara yanıt verebilmek amacıyla eş zamanlı teslimat ve toplama içeren kapasiteli araç rotalama problemini (VRPSPD) ele almakta ve gerçek saha koşullarına uygun, ölçülebilir bir karar destek çerçevesi önermektedir.

Çalışmanın temel amacı, günlük alım ve dağıtım operasyonları için uygulanabilir, dengeli ve operasyonel olarak olurlu rota planları üretmektir. Bu kapsamda geliştirilen sistemin ana çıktısı, her araç için depo başlangıç ve bitişini içeren sıralı durak listelerinden oluşan günlük rota planlarıdır. Buna ek olarak, rota ve filo seviyesinde operasyonel performansın değerlendirilmesine olanak sağlayan anahtar performans göstergeleri (KPI'lar) üretilmektedir. Bu göstergeler arasında toplam seyahat mesafesi ve süresi, toplam servis süresi, rota başına durak sayısı, rota boyunca oluşan dinamik yük profilleri ile filo düzeyinde toplam planlanan kilometre, ortalama durak sayısı ve kapasite kullanım dağılımları yer almaktadır. Üretilen çıktılar, yalnızca teorik optimizasyon sonuçları olarak değil, doğrudan saha planlamasında kullanılabilecek karar destek araçları olarak tasarlanmıştır.

Ele alınan optimizasyon problemi, temel olarak toplam seyahat mesafesinin ve/veya toplam seyahat süresinin minimize edilmesi şeklinde tanımlanmıştır. Gerektiğinde, çözümün aşırı sayıda araca bölünmesini önlemek amacıyla aktif araç sayısını cezalandıran ikincil bir terim amaç fonksiyonuna eklenebilmektedir. Ancak bu çalışmada maliyet minimizasyonu, operasyonel fizibilite ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu nedenle çözümler yalnızca maliyet açısından değil; rota sürelerinin vardiya sınırları içinde kalması, durak sayılarının kabul edilebilir aralıklarda olması ve kapasite kısıtlarının rota boyunca ihlal edilmemesi gibi pratik kriterler üzerinden de analiz edilmiştir.

Modelde dikkate alınan kısıtlar, gerçek kurye operasyonlarının sahadaki belirleyici unsurlarını yansımaktadır. Araç kapasitesi, aynı tur içerisinde eş zamanlı teslimat ve toplama yapılması nedeniyle oluşan dinamik yük değişimi, rota başına asgari ve azami durak sayısı, vardiya süresi sınırı, rotaların coğrafi olarak tutarlı mahalleler içinde kalması, her durağın yalnızca bir kez servis edilmesi ve tüm rotaların depodan başlayıp depoda sonlanması temel kısıtlar olarak ele alınmıştır. Birçok akademik çalışmada ikincil düzeyde ele alınan bu kısıtlar, bu projede problem tanımının merkezine yerleştirilmiştir.

Çalışmanın uygulama kısmında, İstanbul Anadolu Yakası'na ait gerçek UPS operasyon verisi kullanılmıştır. Veri seti; durak koordinatları, servis türü (teslimat veya toplama), koli miktarları ve servis günleri gibi bilgileri içermektedir. Ankara, yalnızca önerilen

yaklaşımın farklı şehirlerde de uygulanabilirliğini vurgulamak amacıyla anılmakta olup, bu çalışma kapsamında herhangi bir Ankara verisi kullanılmamıştır. Böylece çalışmanın saha odağının İstanbul Anadolu Yakası olduğu açıkça ortaya konmuştur.

Metodolojik açıdan çalışma, iki katmanlı bir çözüm yaklaşımı benimsemektedir. İlk katmanda, problem yapısını bütüncül biçimde temsil eden bir Mixed Integer Programming (MIP) modeli tanımlanmıştır. Bu model, klasik araç rotalama probleminin temel şablonunu esas almakta; ancak eş zamanlı alım ve dağıtım, durak sayısı sınırları, vardiya süresi ve mahalle kısıtları gibi gerçek operasyonel gereksinimlerle genişletilmektedir. MIP modeli, küçük ve orta ölçekli senaryolar için Gurobi optimizasyon çözümüsü kullanılarak çözmek üzere tasarlanmış olup, daha büyük problemler için referans ve doğrulama çerçevesi sunmaktadır.

İkinci katmanda ise, büyük ölçekli günlük planlama problemlerinde hesaplama açısından daha uygulanabilir olan cluster-first, route-second yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşımında duraklar önce coğrafi olarak anlamlı ve yönetilebilir kümelere ayrılmakta, ardından her küme için uygulanabilir bir ziyaret sıralaması oluşturulmaktadır. Mevcut aşamada kullanılan kümeleme yöntemi, basit ve mesafe-temelli bir kümeleme yaklaşımıdır ve Fisher-Jaikumar algoritmasının kendisi değildir. Bu durum çalışmada açıkça belirtilmiş; mevcut yöntemin keşifsel ve başlangıç amaçlı olduğu, ilerleyen aşamalarda Fisher-Jaikumar'ın kapasite ve atama mantığını içeren asıl yapısına geçileceği ifade edilmiştir.

Rota maliyetleri, Öklidyen mesafe gibi basitleştirilmiş ölçütler yerine gerçek yol mesafesi ve seyahat süreleri temel alınarak hesaplanmıştır. Pilot çalışmalarında bu amaçla Google Distance Matrix API kullanılmış, API kısıtları nedeniyle analizler sınırlı bir alt veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Pilot analizler, pazartesi gününe ait ilk 100 durak üzerinde yapılmış ve küme bazlı rota performans göstergeleri üretilmiştir. Elde edilen bulgular, yalnızca durak sayısının dengelenmesinin yeterli olmadığını; coğrafi dağılımın rota maliyetleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, gerçek saha koşullarında rota planlamasının çok boyutlu bir problem olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, literatürde önerilen araç rotalama yöntemlerini birebir yeniden üretmekten ziyade, bu yöntemleri gerçek bir kurye operasyonunda uygulanabilir, ölçeklenebilir ve karar destek odaklı bir çerçeve içerisinde bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Gerçek operasyon verisinin kullanılması, pratik saha kısıtlarının problem tanımının merkezine yerleştirilmesi ve sonuçların doğrudan operasyonel KPI'lar üzerinden değerlendirilmesi, çalışmanın ayırt edici yönlerini oluşturmaktadır. Bu yönyle çalışma, akademik araç rotalama literatürü ile gerçek saha uygulamaları arasında bir köprü kurmayı hedeflemektedir.