Yapay Zekâ ve Lineer Programlama ile Türkiye Genelinde Taşımacılık Firmaları için Lojistik Merkezleri Oluşturma

Hasan Erdem AK
Bilgisayar Mühendisliği
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara, Türkiye
hak@etu.edu.tr

Özetçe—Bu proje, Türkiye genelinde bir taşımacılık firması için en optimal lojistik merkezleri sayısını ve bu merkezlerin konumlarını tespit etmek için hazırlanmıştır. Problem, kapasiteli tesis yeri seçim problemi olarak ele alınmış ve lineer programlama ile çözülmüştür. Ambarların kurulacağı yerin seçiminde nüfus, talep, ambar kapasitesi, kira, personel ve ulaşım maliyetleri gibi faktörler dikkate alınmıştır. Bu sayede, daha verimli ve karlı bir lojistik yerleşim modeli sağlanmıştır. Proje sonucunda oluşturulan harita ve veri tabanı, taşımacılık firmalarına en uygun ambar lokasyonlarına ilişkin değerli bir kaynak sunacaktır.

Anahtar Kelimeler — Kapasiteli tesis yeri seçimi problemi, lojistik, taşımacılık, yapay zekâ, lineer programlama.

I. Giriş

Günümüzde lojistik, birçok işletmenin karar verme süreçlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle taşımacılık firmaları, müşteri memnuniyetini arttırmak ve maliyetleri azaltmak adına lojistik merkezlerinin doğru bir şekilde konumlandırılması konusunda önemli adımlar atmaktadırlar. Bu bağlamda, kapasiteli tesis yeri seçimi problemi, lojistik maliyetlerini önemli ölçüde değiştiren ve lojistik merkezlerinin konumlandırılması konusunda sıkça karşılaşılan bir problemdir.

Bu proje kapsamında, bir taşımacılık firması için Türkiye genelinde lojistik merkezleri oluşturulması planlanmaktadır. Ambarların kurulacağı yerin seçimi, kira, personel ve ulaşım maliyetleri gibi faktörlerin dikkate alınması gereken bir süreçtir. Bu nedenle, proje kapsamında yapay zekâ aracılığı ile en uygun ambar lokasyonlarının belirlenmesi planlanmaktadır. Böylece, taşımacılık firmaları için en verimli ve karlı lojistik yerleşim modelleri oluşturulabilecektir.

Bu raporun amacı, kapasiteli tesis yeri seçimi probleminin taşımacılık sektöründe ne kadar önemli bir konu olduğunu vurgulamak, proje kapsamında kullanılan yöntemleri açıklamak ve sonuçların taşımacılık firmaları için ne gibi avantajlar sağlayabileceğini ortaya koymaktır. Raporun ilerleyen bölümlerinde, problem tanımı, literatür taraması, yöntemler, sonuçlar ve gelecek çalışmalar hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

II. PROBLEM TANIMI

Bir taşımacılık firması için Türkiye genelinde lojistik merkezleri oluşturulacaktır. Bu merkezler, firma tarafından kurulacak olan ambarlarda malzemelerin depolanmasını ve daha sonra kamyonlarla civar şehirlere ve ilçelere dağıtılmasını sağlamaktadır.

Bu projede, ambarların kurulacağı yerin seçimi önemlidir. Ambarların kurulacağı yerin şehrin içinde olması, kira ve personel maliyetini arttırırken, ulaşım maliyetini azaltmaktadır. Aynı şekilde, ambarların şehir dışına yani herhangi bir ilçesine yerleştirilmesi, ulaşım maliyetini arttırırken, kira ve personel maliyetini azaltmaktadır. Ayrıca ambarların sınırlı bir kapasitesi vardır. Bu nedenle, ambarların kurulacağı yerin seçimi; kira maliyeti, personel maliyeti, ulaşım maliyeti ve ambar kapasitesi gibi faktörler dikkate alınarak yapılmalıdır. Projede ayrıca, dağıtım stratejileri gibi konular da değerlendirilmiştir.

Proje kapsamında, lineer programlama ile oluşturulacak yapay zekâ aracısı ile Türkiye genelinde en uygun yerler belirlenerek, ambarların kurulması planlanmaktadır. Bu sayede, taşımacılık firmaları için en uygun ambar lokasyonlarına ilişkin bir harita ve veri tabanı oluşturulabilecektir. Ayrıca, ambarların kurulacağı yerlerin doğru seçimi, kira, personel ve ulaşım maliyetlerinin azaltılmasına ve müşteri memnuniyetinin artmasına katkı sağlayacaktır. Projenin sonucunda, taşımacılık firmaları için daha verimli ve karlı bir lojistik yerleşim modeli sağlanması hedeflenmektedir.

III. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu problem literatürde, tesis yeri seçimi probleminin bir versiyonu olan kapasiteli tesis yeri seçimi problemi olarak geçmektedir [1]. Birden çok çözüm yöntemi bulunmaktadır. Bir makalede bu problem, iki karışık tam sayılı lineer programlama modeliyle formüle edilip, genel karışık tam sayılı lineer programlama çözücüsüyle çözülmüştür. Ayrıca, problemi çözmek için Lagrange rahatlamasına dayalı bir sezgisel algoritma kullanılmıştır [2].

Bu problemin bir benzeri olarak kapasiteli p-medyan problemini çözen bir makalede ise dağıtık arama kullanılmıştır

[3]. Meta sezgisel çözüm teknikleri kullanılan çalışmalardan birinde ise iki-popülasyonlu genetik algoritma kullanılmıştır [4].

IV. VERİ SETİ, VERİ ÖZELLİKLERİ, ÖZNİTELİKLER

Projede kullanılan veriler çeşitli sitelerden alınmıştır. İl ve ilçelerin enlem ve boylam bilgileri Github üzerinden çekildi.¹ İndirilen verilerde 81 il ve 957 ilçe bulunmakta. Ayrıca her bir il ve ilçe için id, plaka, ad, enlem ve boylam verileri bulunmakta. Nüfus bilgileri ise Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2022 yılına ait adrese dayalı nüfus sayımı veri tabanından alındı.² Bu tablolarda ise 81 il ve 973 ilçe ve her biri için isim ve nüfus alanları bulunmakta. İllerin yüz ölçümleri tech-worm.com sitesinde paylaşılan bir bilgiden alındı.³ Türkiye İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (Türkiye İBBS) bilgileri TÜİK üzerinden alındı ve İBBS-II (26 alt bölge) verileri kullanıldı.⁴

Elde edilen veriler birtakım önişleme aşamalarından geçerek probleme uygun hale getirilmiştir. Verilere uygulanan önişleme adımları aşağıdadır:

- İl ve ilçe isimleri, gereksiz diğer karakterlerden temizlenerek ve sadece baş harfleri büyük olacak şekilde değiştirildi.
- İlçelerin olduğu tablodan il merkezleri çıkarıldı.
- İlçelerin hangi ile bağlı olduğunun daha kolay anlaşılması için ilçe isimleri "{il_ismi}_{ilçe_ismi}" olarak değiştirildi.
- İl ve ilçelerin nüfus bilgileri eklendi.
- İl ve ilçeler tabloları birleştirildi.
- İBBS-II bölgelerine göre il ve ilçelerin bölgelerini belirten bölge sütunu eklendi.
- İllerin yüzölçümleri kullanılarak yarıçapları hesaplandı ve haversine uzaklığı kullanılarak şehir merkezine bu yarıçapların 4'te 1'inden daha yakın olan ilçeler şehir merkezine dahil kabul edilerek veri setinden çıkarıldı.
- İllerin ve ilçelerin nüfusları belirli bir oran (0,02) ile çarpılarak, (-10)-(10) arasında bir hata sayısı eklenerek ve tam sayıya yuvarlanarak bir talep sütunu eklendi.

Önişleme adımlarından sonra elde edilen veri setinde 769 örnek ve 7 öznitelik vardır. Aşağıda veri setindeki öznitelikler listelenmiştir:

- city_code (plaka kodu): İlin veya ilçenin bağlı bulunduğu ilin plaka kodu. Yani 1-81 arası bir tam sayı değeri.
- name (il/ilçe ismi): İlin veya ilçenin ismi. İlçe isminin başında bağlı olduğu il de bulunmakta.

1 https://gist.github.com/abdullahoguk/ee03c26a23dca6eda9c480b4967e77b6 2 http://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr

- Her biri eşsiz özellikte. Örnek il ismi: Ankara, örnek ilçe ismi: Ankara Beypazarı
- region (bölge): İlin veya ilçenin bağlı bulunduğu ilin İBBS-II verilerine göre bulunduğu bölge. Örnek: TR51 Ankara alt bölgesi
- lat (enlem): İlin veya ilçenin merkezinin derece cinsinden enlem değeri. Örnek: 39,9334
- lon (boylam): İlin veya ilçenin merkezinin derece cinsinden boylam değeri. Örnek: 32,85411
- population (nüfus): İlin veya ilçenin nüfusu. Örnek: 5782285
- demand (talep): İldeki veya ilçedeki müşterilerin talep ettiği toplam ürün sayısı. Örnek: 115636

	city_code	name	region	lat	lon	population	demand
0		Adana	TR62_Adana_alt_bölgesi	36.991400	35.330800	2274106	45487.0
1		Adana_Aladağ	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.546379	35.402962	15897	312.0
2		Adana_Ceyhan	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.031700	35.822750	158922	3174.0
3		Adana_Feke	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.819918	35.272100	15833	319.0
4		Adana_İmamoğlu	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.258751	35.672840	27037	544.0

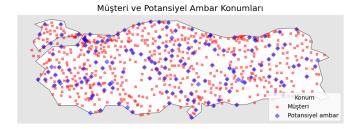
Şekil IV.I: Veri seti örneği

V. METODOLOJÍ

Projenin uygulanması aşamasında Python ve Jupyter Notebook kullanılmıştır. Öncelikle, projeye çeşitli kütüphaneler eklenmiştir. Verilerin okunması, ön işlenmesi ve verilerin işlenmesiyle ilgili diğer işlemler pandas kütüphanesi ile, harita çizimleri geopandas kütüphanesi ile, grafik çizimleri matplotlib kütüphanesi ile, ileri düzey matematiksel işlemler math kütüphanesi ile ve optimizasyon probleminin çözümü de pulp kütüphanesi ile yapılmıştır. Aşağıda bu kütüphanelerin kullanılarak projenin nasıl uygulandığı detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

A. Veri Setini Okuma, Potansiyel Ambar ve Müşteri Konumları

İlk olarak, önişleme sonucunda elde edilen veri seti okunarak başlandı. Daha sonra mevcut veri setinin rastgele 0,2'si (154 tane) potansiyel ambar konumu ve rastgele 0,9'u (692 tane) de müşteri konumu olarak seçildi ve bunlar için ayrı birer dataframe oluşturuldu. Bu konumları harita üzerinde gösterebilmek için enlem ve boylam bilgileri ve geopandas kütüphanesi kullanılarak bu dataframe'lere bir geometri sütunu eklendi. Aşağıdaki resimde potansiyel ambar ve müşteri konumlarını görebilirsiniz:



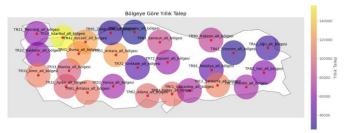
Şekil V.I: Müşteri ve potansiyel ambar konumları

³ https://www.tech-worm.com/turkiye-illerinin-yuzolcumu-buyuklugune-goresiralamasi/

⁴ https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27nin_%C4%B0BBS%27si

B. Bölgeye Göre Yıllık Talep

Ayrıca İBBS-II sistemine göre göz önünde bulundurulan 26 bölge için yıllık toplam talep tutarları aşağıdaki resimde renklendirilerek gösterilmiştir:



Şekil V.II: Bölgeye göre yıllık talep

C. Tedarik ve Sabit Maliyetler

En uygun ambar sayısını ve ambar yerlerini tespit ederken ambarların kapasitesi (tedarik), her bir ambar için yıllık kira ve personel maliyeti gibi unsurlar dikkate alınmıştır. Bu bağlamda şehir içinde yer alan ambarların yıllık kira maliyeti 1.500.000 TL, personel maliyeti ise 2.100.000 TL olarak belirlenmiştir. Şehir dışında yani ilçelerde bulunan ambarların yıllık kira maliyeti ise 500.000 TL ve personel maliyeti de 700.000 TL olarak belirlenmiştir. Her bir ambarın tedarik edebileceği toplam ürün sayısı, o ambarın bulunduğu bölgedeki müşterilerin toplam talep miktarının ortalamasını 3 kere karşılayabilecek şekilde belirlenmiştir.

D. Ulaşım Maliyetleri

Ulaşım maliyetleri hesaplanırken müşteri ve ambar lokasyonu arasındaki mesafe; enlem ve boylam değerlerinden hareketle iki konum arasındaki mesafeyi km cinsinden veren haversine formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Şehir içinde yer alan ambarlar için ulaşım masrafı, müşterisiyle arasındaki haversine uzaklığı olarak kabul edilmiştir. İlçelerdeki ambarlar için ise ulaşım masrafı, bu mesafenin 2 katı olarak belirlenmiştir.

$$\theta = \frac{d}{r} \tag{1}$$

$$hav(\theta) = hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2) hav(\lambda_2 - \lambda_1)$$
 (2)

$$hav(\theta) = sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1-cos(\theta)}{2}$$
 (3)

$$d = r \cdot archav(h) \tag{4}$$

 θ bir küre üzerindeki herhangi iki nokta arasındaki merkez açı; d, kürenin büyük dairesi boyunca iki nokta arasındaki mesafe; r, kürenin yarıçapı; hav, haversine fonksiyonu; φ_1 ve φ_2 , 1. ve 2. noktaların boylamlarıdır. r değeri yerine Dünya'nın yarıçapını yazarız. Bu da kutuplarda ve ekvatorda değişiklik gösterdiği için yaklaşık bir değer alınmış ve 6371 yazılmıştır.

E. Optimizasyon

Bu projenin amacı; kira, personel ve ulaşım maliyetlerini azaltırken müşterilerin taleplerini karşılayacak şekilde en uygun ambar sayısı ve konumunu belirlemektir. Problem için

veriler hazırladıktan sonra bu problem matematiksel optimizasyon problemi olarak çözüldü. Buna göre problem için tanımlanmış amaç fonksiyonu aşağıdadır:

$$\sum_{j=1}^{M} f_{j} \cdot y_{j} + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} t_{ij} \cdot x_{ij}$$
 (5)

N, müşteri konumları kümesi; M, aday ambarlar kümesi; f_j , j ambarı için yıllık sabit maliyet (kira ve personel); t_{ij} , j ambarından i müşterisine ulaşım maliyeti; x_{ij} , j ambarından i müşterisine teslim edilen ürün miktarı; y_j , j ambarının inşa edilip edilmeyeceğini belirten ikili bir değişkendir (0 veya 1).

Yukarıdaki amaç fonksiyonuna birtakım kısıtlar eklenecektir. Kapasiteli tesis yeri seçimi problemini ele aldığımız için her j ambarı yıllık C_j maksimum kapasitesinde ürün tedarik edebilir. Bu nedenle, x_{ij} müşterisine teslim edilen birim sayısı şu değerden fazla olamaz:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} \le C_j \cdot y_j \tag{6}$$

j deposundan i müşterisine teslim edilen yıllık ürün miktarı sıfır ile d_i arasında değişmelidir. d_i, i müşterisinin yıllık talep miktarıdır. Bu nedenle i müşterisinin yıllık talebi aşağıdaki gibidir:

$$0 \le x_{ij} \le d_i \cdot y_j \tag{7}$$

Müşterilerin taleplerinin karşılanması için ambarlardan o müşteriye tedarik edilen toplam ürün miktarı d_i'ye eşit olmalıdır:

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ii} = d_i \tag{8}$$

Ve son olarak, ambarın inşa edilip edilmeyeceğini belirten y_j değişkeni 0 veya 1 değerini alabilir:

$$y_j \in \{0,1\} \tag{9}$$

Yukarıda bahsedilen çözümün uygulanması için pulp kütüphanesi kullanılmıştır. Problemin tanımı aşağıdaki gibi yapılmıştır:

lp_problem = LpProblem('CFLP', LpMinimize)

Şekil V.III: Lineer problem tanımı

y_j ve x_{ij} değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

```
# Variable: y_j (constraint: it is binary)
created_warehouse = LpVariable.dicts(
    'Create_warehouse', warehouse_df['warehouse_id'], 0, 1, LpBinary)

# Variable: x_ij
served_customer = LpVariable.dicts(
    'Link', [(i,j) for i in customer_df['customer_id'] for j in warehouse_df['warehouse_id']], 0)
```

Şekil V.IV: y_j ve x_{ij} tanımı

En aza indirgemek için tanımladığımız amaç fonksiyonu (5) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Şekil V.V: Amaç fonksiyonu tanımı

Kısıt denklemleri (6), (7) ve (8) sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

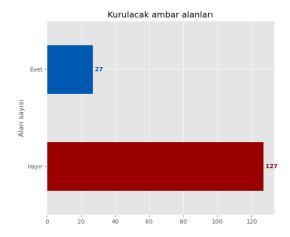
```
# Costraint: the demand must be met
for i in customer_df['customer_id']:
| lp_problem += |lpsim(served_customer[(i,j)] | for j in warehouse_df['warehouse_id']) == demand_dict[i]
# Constraint: a warehouse cannot deliver more than its capacity limit
for j in warehouse_df['warehouse_id']:
| lp_problem += |lpsim(served_customer[(i,j)] | for i in customer_df['customer_id']) <= \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \text{\lambda} \
```

Şekil V.VI: Kısıt denklemlerinin tanımı

Lineer problem tanımlandıktan sonra çözümü yapılmıştır ve optimal bir çözüm üretebilmiştir.

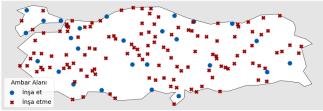
VI. DENEYSEL SONUÇLAR

Problemin optimal çözümünde, toplam masraf 193.782.902,25 TL olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, verilen kısıtlar altında elde edilebilen minimum olası maliyettir. Depoların sayısı veya yerleşimindeki diğer herhangi bir seçim, amaç fonksiyonunun daha yüksek bir değer almasına yol açacaktır. Ayrıca, 154 potansiyel ambar konumundan 27 tanesine ambar yerleştirilmesinin yeterli sonucu çıkmıştır:



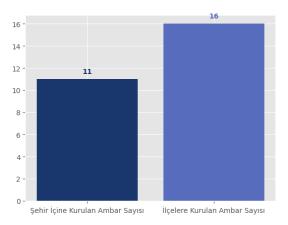
Şekil VI.I: Kurulacak ambar sayısı

Optimize Edilmiş Ambar Alanları



Şekil VI.II: Ambar inşa edilecek ve edilmeyecek potansiyel ambar alanları

Belirlenen kira, personel, ulaşım masrafları ve potansiyel ambarların konumu göz önüne alındığında herhangi bir ambarın il yerine ilçeye kurulmasının daha uygun olduğu sonucu çıkmış ve ambarların çoğunluğu ilçelere kurulmuştur. Toplamda 11 ambar illere ve diğer 16 ambar da ilçelere kurulmuştur:



Şekil VI.III: İllere ve ilçelere kurulan ambar sayıları

Kurulan ambarların ve ürün tedarik edeceği müşterilerinin olduğu harita aşağıdadır:



VII. SONUC

Sonuç olarak, bu projede, Türkiye genelinde taşımacılık firmaları için lojistik merkezlerinin en uygun sayısının ve konumlarının belirlenmesi için bir yapay zekâ aracısı tasarlanmıştır. Problem, matematiksel optimizasyon problemi olarak ele alınmış, amaç fonksiyonu ve kısıtlar belirlendikten sonra lineer programlama ile çözülmüştür. Bu yöntem; kira, personel ve ulaşım maliyetleri gibi faktörleri dikkate alarak taşımacılık firmaları için en verimli ve karlı lojistik yerleşim modellerini oluşturmak için bir yol haritası sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, taşımacılık firmalarının lojistik maliyetlerini önemli ölçüde azaltarak müşteri memnuniyetini arttırmalarına olanak sağlamış, taşımacılık firmalarına en uygun ambar lokasyonlarına ilişkin değerli bir kaynak sunmuştur. Gelecek çalışmalarda, yöntemin iyileştirilmesi ve diğer sektörlerde de uygulanabilirliğinin araştırılması sağlanabilir.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Facility_location_problem
- [2] Ling-Yun Wu, Xiang-Sun Zhang, Ju-Liang Zhang, Capacitated facility location problem with general setup cost, Computers & Operations Research, Volume 33, Issue 5, 2006, Pages 1226-1241, ISSN 0305-0548, https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.09.012.
- [3] X. Xua, X. Lia, X. Lia and H. Linb, "Notice of Retraction: An improved scatter search algorithm for capacitated p-median problem," 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, Chengdu, China, 2010, pp. V2-316-V2-320, doi: 10.1109/ICCET.2010.5485454.
- [4] J.M. Cadenas, M.J. Canós, M.C. Garrido, C. Ivorra, V. Liern, Soft-computing based heuristics for location on networks: The p-median problem, Applied Soft Computing, Volume 11, Issue 2, 2011, Pages 1540-1547, ISSN 1568-4946, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2008.03.015.