

# 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. GİRİŞ

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 problemidir.

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 aracı 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.<sup>1</sup> 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.<sup>2</sup> 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.<sup>3</sup> Türkiye İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (Türkiye İBBS) bilgileri TÜİK üzerinden alındı ve İBBS-II (26 alt bölge) verileri kullanıldı.<sup>4</sup>

Elde edilen veriler birtakım ön işleme aşamalarından geçerek probleme uygun hale getirilmiştir. Verilere uygulanan ön işleme 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.

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

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

Her biri eşsiz özellikte. Örnek il ismi: Ankara, örnek ilçe ismi: Ankara\_Beyazırı

- region (bölge): İlın veya ilçenin bağlı bulunduğu ilin İBBS-II verilerine göre bulunduğu bölge. Örnek: TR51\_Ankara\_alt\_bölgesi
- lat (enlem): İlın veya ilçenin merkezinin derece cinsinden enlem değeri. Örnek: 39,9334
- lon (boylam): İlın veya ilçenin merkezinin derece cinsinden boylam değeri. Örnek: 32,85411
- population (nüfus): İlın 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	1	Adana	TR62_Adana_alt_bölgesi	36.991400	35.330800	2274106	45487.0
1	1	Adana_Aladağ	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.546379	35.402962	15897	312.0
2	1	Adana_Ceyhan	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.031700	35.822750	158922	3174.0
3	1	Adana_Feke	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.819918	35.272100	15833	319.0
4	1	Adana_İmamoğlu	TR62_Adana_alt_bölgesi	37.258751	35.672840	27037	544.0

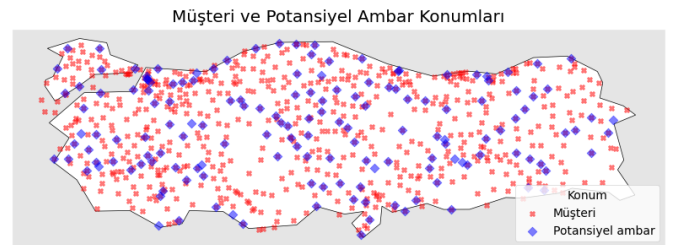
Şekil IV.1: Veri seti örneği

#### V. METODOLOJİ

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, ön işleme 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.1: Müşteri ve potansiyel ambar konumları

<sup>1</sup> <https://gist.github.com/abdullahoguk/ee03c26a23dca6eda9c480b4967e77b6>

<sup>2</sup> <http://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>

<sup>3</sup> <https://www.tech-worm.com/turkiye-illerinin-yuzolcumu-buyuklugune-gore-siralamasi/>

<sup>4</sup> [https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27nin\\_%C4%B0BBS%27si](https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27nin_%C4%B0BBS%27si)

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

```

# Constraint: the demand must be met
for i in customer_df['customer_id']:
    lp_problem += lpSum(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 += lpSum(served_customer[(i,j)] for i in customer_df['customer_id']) <= \
        annual_supply_dict[j] * created_warehouse[j]

# Constraint: a warehouse cannot give a customer more than its demand
for i in customer_df['customer_id']:
    for j in warehouse_df['warehouse_id']:
        lp_problem += served_customer[(i,j)] <= demand_dict[i] * created_warehouse[j]

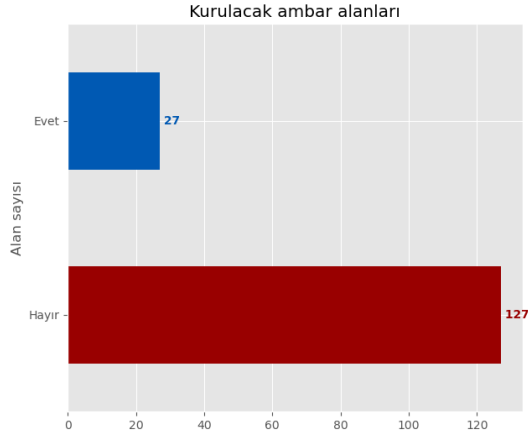
```

Şekil V.VI: Kısıt denklemlerinin tanımı

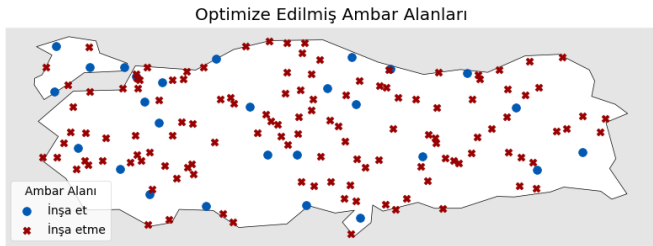
Linear problem tanımlandıktan sonra çözümü yapılmıştır ve optimal bir çözüm üretebilmiştir.

## 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:

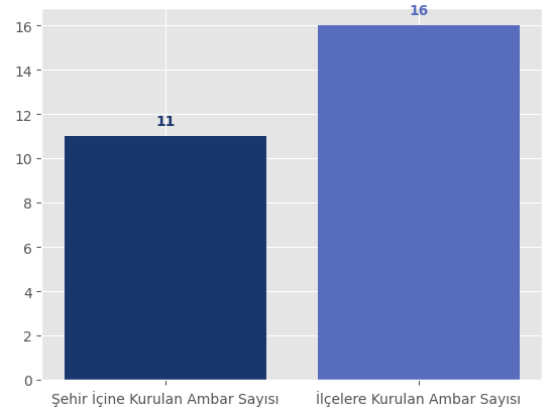


Şekil VI.I: Kurulacak ambar sayısı



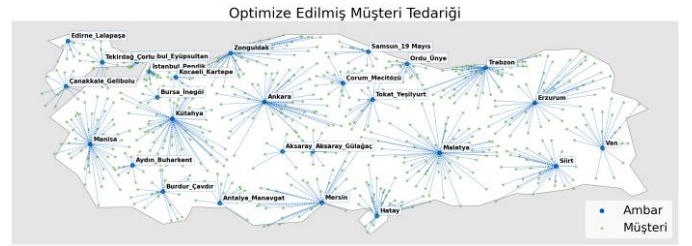
Şekil VI.II: Ambar inşa edilecek ve edilmeyecek potansiyel ambar alanları

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. SONUÇ

Sonuç olarak, bu projede, Türkiye genelinde taşımacılık firmaları için lojistik merkezlerinin en uygun sayısının ve konumlarının belirlenmesi için bir yapay zekâ aracı 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](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>.