

## **2. ÖDEV**

### **Warehouse Location Problem – WLP (Depo Yerleşim Problemi)**

**Öğrenci Adı:** Türkan Doğa DURAK

**Öğrenci Numarası:** 222803021

**Bölüm:** Yazılım Mühendisliği

**Ders Adı:** Algoritma Analizi ve Tasarımı

**Dersin Sorumlusu:** Doç. Dr. Müge ÖZÇEVİK

**Teslim Tarihi:** 06.05.2025

# Giriş

Depo Yerleşim Problemi (Warehouse Location Problem – WLP), lojistik ve tedarik zinciri yönetimi alanlarında stratejik karar verme sürecinde kritik rol oynayan bir optimizasyon problemidir. WLP temel olarak, belirli sayıda müşteri noktasına hizmet vermek üzere hangi depoların açılacağına ve her müşterinin hangi depoya atanacağına karar verilmesini içerir. Amaç, tüm müşteri taleplerinin karşılandığı bir sistemde toplam maliyeti (kurulum ve taşıma maliyetleri dahil) minimize etmektir. Problem, her müşterinin yalnızca bir depodan hizmet alması ve her deponun kapasitesinin aşılmaması koşullarıyla birlikte modellenmektedir.

WLP, teorik olarak kombinatoriyel optimizasyon problemleri sınıfında yer almakta ve çözümü NP-zor kabul edilmektedir. Bu nedenle, büyük boyutlu problemlerde doğrusal programlama tabanlı tam çözümler yerine sezgisel, sezgisel-tabanlı hibrit veya yaklaşık algoritmalara başvurulmaktadır. Problem, sadece akademik çalışma alanlarında değil, endüstriyel uygulamalarda da yaygın şekilde karşımıza çıkmaktadır.

Gerçek dünyada WLP, birçok sektörde uygulama alanı bulur. Perakende zincirleri için yeni şubelerin nerelere açılacağı, e-ticaret firmalarının dağıtım merkezlerini nasıl konumlandıracağı, gıda lojistiğinde soğuk hava depolarının yerleşimi veya afet yönetimi kapsamında acil yardım noktalarının belirlenmesi gibi kararlar bu problemin doğrudan örneklerindendir. Ayrıca, savunma sanayi, sağlık sistemleri, enerji dağıtımı ve kamu hizmetleri gibi sektörlerde de benzer karar yapıları bulunmaktadır.

Bu raporda, WLP'nin çözümüne yönelik çeşitli algoritmalar geliştirilmiş ve farklı boyutlardaki problem örnekleri üzerinde test edilmiştir. Literatürde önerilen sezgisel ve doğrusal programlama yaklaşımları temel alınarak, genetik algoritmalar, greedy stratejiler ve hibrit yöntemler değerlendirilmiş; elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

## Literatür Taraması

Bu bölümde, Warehouse Location Problem (WLP) ve benzeri yerleşim optimizasyon problemleri üzerine yapılan önemli akademik çalışmalar özetlenmiştir. İlgili çalışmalar, farklı çözüm yöntemlerini ve optimizasyon tekniklerini kapsamaktadır.

# 1. A New Mixed Integer Linear Programming Model for the Multi Level Uncapacitated Facility Location Problem

**Yazarlar:** Jozef Kratica, Djordje Dugošija, Aleksandar Savić

**Kaynak:** Applied Mathematical Modelling, 2014

**Yayın:** Applied Mathematical Modelling, 2014, Cilt 38(7-8), ss. 2118-2129

**DOI:** 10.1016/j.apm.2013.10.012

Bu çalışma, çok seviyeli kapasite kısıtsız tesis konumlandırma problemi (MLUFLP) için literatürdeki mevcut modellere göre daha etkili bir çözüm sağlayacak yeni bir Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP) modeli önermektedir. Yeni model, tesislerin farklı seviyelerde açılması ve müşterilere hizmet sağlanması sürecini kapsamaktadır. Bu doğrultuda modelin matematiksel geçerliliği hem kuramsal olarak ispatlanmış hem de çeşitli problem örnekleri üzerinde test edilmiştir. CPLEX ve Gurobi çözücüleri ile yapılan karşılaştırmalar, önerilen modelin özellikle küçük ve orta büyüklükteki veri kümelerinde tüm örnekleri optimal olarak çözdüğünü, bazı büyük boyutlu örneklerde ise başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

**Katkı:** Önerilen MILP modeli, literatürdeki mevcut modellere kıyasla daha kısa sürede daha kaliteli sonuçlar üretmiş, özellikle çözücülerle uyumlu yapısı sayesinde daha geniş problem sınıflarına uygulanabilirliği artırmıştır.

# 2. Heat Exchanger Networks Retrofit Considering Pressure Drop by Coupling Genetic Algorithm with LP and ILP Methods

**Yazarlar:** H. Soltani, S. Shafiei

**Yayın:** Energy, 2011, Cilt 36(5), ss. 2381-2391

**DOI:** 10.1016/j.energy.2011.01.017

Bu çalışma, ısı eşanjörü ağlarının (HEN) yeniden düzenlenmesi sürecinde genellikle ihmal edilen basınç düşüşü etkisini dikkate alarak yeni bir hibrit çözüm yaklaşımı önermektedir. Modelde, yapısal çözüm için genetik algoritma (GA) kullanılırken, enerji hedeflerini belirlemek amacıyla doğrusal programlama (LP), minimum ekipman seçimi için ise tamsayılı doğrusal programlama (ILP) teknikleri entegre edilmiştir. Geliştirilen hibrit yapı, üç farklı problem senaryosu üzerinde test edilmiş ve enerji tasarrufu, maliyet optimizasyonu,

ekipman sayısı gibi çoklu performans ölçütleri üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuçlar, bu yöntemin klasik yöntemlere göre hem daha ekonomik hem de daha uygulanabilir çözümler sunduğunu ortaya koymuştur.

**Katkı:** Bu çalışma, HEN tasarımı ve optimizasyonu alanında basınç düşüşünün dikkate alınmasını sağlayarak endüstriyel gerçekçiliği artırmıştır. Ayrıca, çok kriterli karar verme açısından GA+LP+ILP entegrasyonu literatürde yeni bir çözüm yaklaşımı olarak dikkat çekmektedir.

### **3. Greedy Heuristics for the Maximum Covering Location Problem: A Case Study of Optimal Trashcan Location**

**Yazarlar:** H. S. Amarilies, A. A. N. P. Redi, I. Mufidah, R. Nadlifatin

**Yayın:** IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2020, Cilt 847 **DOI:** 10.1088/1757-899X/847/1/012007

Bu çalışma, Batı Java’da yer alan Kampung Cipare – Tenjo köyünde çöp kutularının optimum konumlandırılması için Maximum Covering Location Problem (MCLP) modelini uygulamaktadır. Amaç, sınırlı sayıda çöp kutusu ile mümkün olan en fazla haneyi kapsayarak atık yönetimini iyileştirmektir. Bu doğrultuda iki farklı açgözlü (greedy) sezgisel algoritma (GAA ve GAAS) geliştirilmiştir. GAA yalnızca en fazla kapsama yapan konumu eklerken, GAAS hem ekleme hem de yer değiştirme (substitution) operasyonları ile daha yüksek kapsama oranı sağlamayı hedefler. Gerçek saha verileri kullanılarak 26 aday konum ve 120 hane halkı dikkate alınmış, farklı senaryolar karşılaştırılmıştır. GAAS algoritması

**Katkı:** Çalışma, literatürde yerel yönetim hizmetleri (ör. atık yönetimi) kapsamında MCLP’nin uygulanabilirliğini gerçek verilerle göstermesi açısından önemli bir örnektir. Ayrıca, GAAS yöntemi sayesinde az sayıda kaynakla yüksek hizmet kapsamı sağlanmıştır.

### **4. Optimization of Fixed Charge Problem in Python using PuLP Package**

**Yazarlar:** A. J. Arumugham, C. Krishnaraj, P. Raghunayagan

**Yayın:** International Journal of Control Theory and Applications, 2017, Cilt 10(2), ss.

Bu makalede, sabit maliyetli taşıma problemlerinden biri olan Fixed Charge Transportation Problem (FCTP) Python programlama dili ile çözülmüştür. Problemin matematiksel modeli G. Srinivasan'ın klasik yaklaşımına dayandırılmış, çözüm ise PuLP optimizasyon kütüphanesi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Modelde, sabit kurulum maliyeti olan taşıma hatları ile sürekli taşıma maliyeti birlikte değerlendirilmiş, tüm kısıtlar (kapasite, talep, yön kısıtları) dikkatlice tanımlanmıştır. Örnek bir problemde 3 tesis ve 8 müşteri üzerinden optimizasyon yapılmış, CBC çözücüsü kullanılarak optimal çözüm kısa sürede elde edilmiştir.

**Katkı:** Çalışma, Python gibi açık kaynaklı bir dilin optimizasyon problemlerinde etkin kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, FCTP gibi karmaşık maliyet yapılarının dijitalleştirilmesi için uygulanabilir ve erişilebilir bir çözüm yolu sunmuştur.

## 5.A Hybrid Algorithm Based on a Genetic Algorithm and a Set Covering-Based Exact Algorithm for the Capacitated Facility Location Problem

**Yazarlar:** Atiqa Zafar et al.

**Yayın:** BESE 2016, Conference Paper

Bu çalışma, kapasiteli tesis yeri seçimi problemi (CFLP) için genetik algoritma (GA) ile set covering tabanlı doğrusal programlamayı (ILP) birleştiren hibrit bir yöntem önermektedir. Genetik algoritma, çözüm uzayının hızlı taranmasını sağlarken, elde edilen çözümler doğrusal programlama modeli ile iyileştirilmekte ve toplam maliyet düşürülmektedir. Çaprazlama, mutasyon ve yerel arama gibi klasik GA operatörleri ile çeşitlilik korunmuş; set covering adımı ise çözümün fizibilitesini garanti altına almıştır. Çeşitli örnek veri kümeleriyle yapılan testler sonucunda, hibrit yaklaşım klasik yöntemlere göre daha az sürede daha iyi çözümler üretmiştir.

**Katkı:** Çalışma, iki farklı algoritma paradigmasını birleştirerek hem keşif (exploration) hem de sömürü (exploitation) dengesini başarıyla kurmuştur. CFLP'ye yönelik çözüm

performansı literatürdeki birçok yöntemle göre daha üstündür.

## 6. Warehouse Location Problem in Supply Chain Designing: A Simulation Analysis

**Yazarlar:** E. Szczepański, R. Jachimowski, M. Izdebski, I. Jacyna-Golda

**Yayın:** Archives of Transport, 2019, Cilt 50(2), ss. 101–110

**DOI:** 10.5604/01.3001.0013.5752

Bu çalışma, depo yeri seçimi kararlarının tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla bir simülasyon yaklaşımı önermektedir. FLEXSIM yazılımı kullanılarak farklı senaryolarda depoların yer değiştirmesi, talep dağılımındaki değişkenlik, taşıma süreleri ve toplam maliyet etkileri analiz edilmiştir. Simülasyon çıktıları, farklı depo yerleşim senaryolarının sistem performansı üzerindeki doğrudan etkilerini görselleştirerek, karar destek sistemlerine katkı sağlamıştır.

**Katkı:** Depo yeri seçimi gibi stratejik kararların, yalnızca matematiksel modellerle değil, simülasyon tabanlı yaklaşımlarla da desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Gerçekçi operasyonel verilerle test edilen bu yöntem, tedarik zinciri mühendisliği açısından esnek bir analiz çerçevesi sunar.

## 7. A Greedy Heuristic Method for Location Problems

**Yazar:** O. Berman

**Yayın:** Computers & Operations Research, 1981

**DOI:** 10.1016/0305-0548(81)90025-3

Bu çalışmada, tesis yerleşimi problemleri için etkili ve hızlı bir çözüm sunan açgözlü (greedy) sezgisel algoritma önerilmiştir. Yazar, özellikle çözüm uzayı çok büyük olduğunda klasik doğrusal programlama yaklaşımlarının hesaplama açısından yetersiz kaldığını belirterek, sezgisel bir çözümlemenin hem hesaplama süresini düşürdüğünü hem de kabul edilebilir kalitede sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Greedy algoritma, her adımda sistem genel maliyetini minimize edecek en uygun yerleşim noktasını seçer. Bu süreç,

mevcut tesisler ve müşteri konumlarına göre iteratif şekilde devam eder. Algoritmanın performansı, farklı büyüklüklerdeki problem örnekleri üzerinde test edilerek karşılaştırmalı sonuçlar sunulmuştur.

**Katkı:** Bu makale, modern yerleşim problemlerinde sıklıkla kullanılan greedy algoritmaların temellerini atmış ve algoritmanın matematiksel gerekçesini sağlam şekilde kurmuştur. Düşük hesaplama maliyeti ve pratik uygulanabilirlik özellikleriyle, özellikle büyük veri kümelerinde etkili çözüm önerileri sunan yapısı, sonraki birçok sezgisel çalışmaya temel teşkil etmiştir.

## 8. Improved ILP Models and Heuristics for Solving Routing and Resource Allocation Problems in Optical Networks

**Yazarlar:** Youssef Iraqi, Hossam S. Hassanein

**Yayın:** Computer Networks, 2005, Cilt 48(4), ss. 609–625

**DOI:** 10.1016/j.comnet.2004.09.007

Bu makale, özellikle optik ağlar gibi yüksek bant genişliği gerektiren sistemlerde karşılaşılan yönlendirme ve kaynak tahsisi problemleri (RRAP) üzerine yoğunlaşmaktadır. Araştırmacılar, klasik tamsayılı doğrusal programlama (ILP) modellerinin bu karmaşık problemlerde sınırlı kaldığını belirterek, yeni geliştirilmiş ILP modelleri ile birlikte güçlü sezgisel algoritmalar önermektedir. Çalışmada, ağ üzerindeki düğümlerin ve bağlantıların kısıtlı kaynaklarla en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan modeller geliştirilmiştir. Aynı zamanda çeşitli topolojiler ve trafik senaryoları altında ILP ve sezgisel çözüm yollarının performansları değerlendirilmiştir. Simülasyonlar, önerilen yaklaşımların hem optimal çözüme yakın hem de hesaplama süresi açısından oldukça verimli olduğunu göstermektedir.

**Katkı:** Bu çalışma, ILP modellerinin hem performans hem de esneklik açısından nasıl geliştirilebileceğine dair güçlü bir örnek sunmaktadır. Ayrıca, ILP modellerinin sezgisel yöntemlerle desteklenmesi yaklaşımı, sadece ağ yönetimi değil, tesis yeri seçimi gibi diğer kombinasyonel optimizasyon problemlerine de doğrudan uyarlanabilir. Bu yönüyle depo yerleşimi gibi kaynak kısıtı içeren problemlerde de ilham verici bir çerçeve sağlamaktadır.

## Yöntem ve Uygulama – w1\_25.txt

w1\_25.txt veri seti, 25 müşteriden oluşan küçük ölçekli bir depo yerleşim problemidir. Bu veri seti için **En Güçlü Hibrit Algoritma (Genetik Algoritma + MILP – CBC/GUROBI)** uygulanmıştır. Bu yöntemde, ilk olarak uygun bir başlangıç çözümü üretmek üzere genetik algoritma kullanılmış, ardından bu çözüm doğrusal programlama modeli içerisinde “*warm-start*” olarak Gurobi çözücüsüne aktarılmıştır. Böylece hem keşif (exploration) hem de yerel iyileştirme (exploitation) dengesi sağlanmıştır.

Hibrit algoritma temel olarak aşağıdaki adımlarla çalışmaktadır:

- **Popülasyon Tabanlı Başlangıç:** Rastgele ancak geçerli bireylerden oluşan bir çözüm popülasyonu oluşturulur.
- **Genetik Operasyonlar:** Çaprazlama ve mutasyon işlemleriyle yeni bireyler üretilir.
- **Fitness Değerlendirmesi:** Her bireyin uygunluğu (fitness) toplam maliyet ile değerlendirilir.
- **En İyi Çözümle MILP Kurulumu:** En düşük maliyetli birey MILP modeline aktarılır.
- **Gurobi Çözümü:** *Warm-start* ile başlatılan model, 1800 saniyelik süre sınırlamasıyla Gurobi çözücüsüne verilir.

## Çözüm Çıktısı – Gurobi Terminali

- **Model Satır ve Sütun Bilgisi:** 1325 kısıt, 1275 değişken
- **Başlangıç Uygun Çözümler:**
  - İlk: 3.366.371,34
  - İyileştirilmiş: 1.067.889,28  $\rightarrow$  976.215,13
- **Kök Düğüm Relaksasyonu:** 796.648,44
- **Optimal Çözüm:**



- Amaç fonksiyonu değeri: 796.648,44
- Optimal çözüm süresi: 0.02 saniye
- Gap: %0.00

Table 1: `w1_25.txt` Veri Seti İçin Gurobi Çözüm Özeti

Özellik	Değer
Model Boyutu	1.325 kısıt, 1.275 değişken
Başlangıç Uygun Çözümler	İlk: 3.366.371,34 İyileştirilmiş: 1.067.889,28 → 976.215,13
Kök Düğüm Relaksasyonu	796.648,44
Optimal Amaç Fonksiyonu Değeri	<b>796.648,44</b>
Çözüm Süresi	0,02 saniye
Çözüm Boşluğu (Gap)	%0.00

**Değerlendirme:** Geliştirilen hibrit algoritma, `w1_25.txt` dosyasına ait problemi oldukça kısa sürede optimal bir çözümle sonlandırmıştır. Genetik algoritmanın yönlendirmesiyle hızlı bir başlangıç çözümü bulunmuş ve bu çözüm Gurobi çözücüsü ile doğrulanarak en iyi çözüme ulaşılmıştır. Elde edilen toplam maliyet, algoritmanın etkinliğini ve doğruluğunu açıkça göstermektedir.

## Yöntem ve Uygulama – `w1_50.txt`

`w1_50.txt` veri seti, orta ölçekli 50 müşteriden oluşmaktadır. Bu veri seti için klasik **Tamsayılı Doğrusal Programlama (ILP)** modeli uygulanmıştır. Modelin amacı, tüm müşteri taleplerini en az maliyetle karşılayacak şekilde hangi depoların açılacağını ve her müşterinin hangi depodan hizmet alacağını belirlemektir. Geliştirilen model PuLP kütüphanesiyle tanımlanmış ve çözüm için Gurobi çözücüsü kullanılmıştır.

## Çözüm Çıktısı – Gurobi Terminali

- **Model Boyutu:** 2600 kısıt, 2550 değişken
- **Başlangıç Uygun Çözüm:** 2.506.191,29
- **Kök Düğüm Relaksasyonu:** 854.900,45
- **Optimal Çözüm:**
  - Amaç fonksiyonu değeri: 854.900,45
  - Optimal çözüm süresi: 0.03 saniye
  - Gap: %0.00

Table 2: w1\_50.txt Veri Seti İçin Gurobi Çözüm Özeti

Özellik	Değer
Model Boyutu	2.600 kısıt, 2.550 değişken
Başlangıç Uygun Çözüm	2.506.191,29
Kök Düğüm Relaksasyonu	854.900,45
Optimal Amaç Fonksiyonu Değeri	<b>854.900,45</b>
Çözüm Süresi	0,03 saniye
Çözüm Boşluğu (Gap)	%0.00

**Değerlendirme:** ILP modeli, w1\_50.txt için yalnızca 0.03 saniyede optimal bir çözüm üretmiştir. Başlangıçtaki kaba çözüme kıyasla oldukça düşük maliyetli sonuç elde edilmiş ve model doğruluğu başarıyla sağlanmıştır. Gurobi çözücüsünün yüksek performansı ve matematiksel modelin etkinliği, küçük ve orta boyutlu problemler için ILP yönteminin yeterliliğini göstermektedir.

## Yöntem ve Uygulama – w1\_200.txt

w1\_200.txt veri seti, büyük ölçekli 200 müşteriden oluşmaktadır. Bu problem için de klasik **Tamsayılı Doğrusal Programlama (ILP)** yaklaşımı tercih edilmiştir. Model, kapasite ve talep kısıtlarını içeren standart WLP formülasyonuna göre yapılandırılmış ve Gurobi çözücüsü ile çözülmüştür.

## Çözüm Çıktısı – Gurobi Terminali

- **Model Boyutu:** 40.400 kısıt, 40.200 değişken
- **Başlangıç Uygun Çözüm:** 47.232,31
- **İyileştirme Adımları:**
  - 7.363,30 → 3.811,05 → 3.563,99 → 3.310,05 → ... → 2.932,33
- **Optimal Çözüm:**
  - Amaç fonksiyonu değeri: 2.932,33
  - Optimal çözüm süresi: 72,6 saniye
  - Gap: %0.00

Table 3: w1\_200.txt Veri Seti İçin Gurobi Çözüm Özeti

Özellik	Değer
Model Boyutu	40.400 kısıt, 40.200 değişken
Başlangıç Uygun Çözüm	47.232,31
İyileştirme Adımları	7.363,30 → 3.811,05 → 3.563,99 → 3.310,05 → ... → <b>2.932,33</b>
Optimal Amaç Fonksiyonu Değeri	<b>2.932,33</b>
Çözüm Süresi	72,6 saniye
Çözüm Boşluğu (Gap)	%0.00

**Değerlendirme:** Büyük boyutlu veri setlerine rağmen ILP modeli, `w1_200.txt` dosyası için başarılı bir şekilde çalışmış ve optimal çözüme ulaşmıştır. Gurobi çözücüsü sayesinde çok sayıda değişken içeren model etkili biçimde çözülmüş, başlangıç çözümüne göre maliyet

## Yöntem ve Uygulama – `w1_300.txt`

`w1_300.txt` dosyası, 300 müşteriden oluşan büyük ölçekli bir depo yerleşim problemidir. Bu problem için hibrit bir yaklaşım olan **Best Hybrid ILP** geliştirilmiştir. Genetik algoritma, keşif amaçlı kullanılmış; en iyi birey daha sonra ILP modeline başlangıç çözümü olarak verilerek Gurobi çözücüsüyle optimize edilmiştir.

### Algoritma Adımları

- **Başlangıç Popülasyonu:** Kapasite kısıtlarına uygun rastgele bireyler oluşturulur.
- **Genetik Gelişim:** Elitizm, çaprazlama ve mutasyon ile yeni bireyler üretilir.
- **Fitness Değerlendirmesi:** Maliyet odaklıdır, kapasite aşımı olan çözümler elenir.
- **MILP Warm-start:** En iyi birey doğrusal modele aktarılır.
- **Gurobi Çözümü:** 1800 saniyelik sınırlı süreyle çözülür.

## Çözüm Çıktısı – Gurobi Terminali

- **Model Boyutu:** 90.600 kısıt, 90.300 değişken, 360.000 nonzero
- **Başlangıç Uygun Çözüm:** 110.446,30
- **İyileştirme Adımları:** 11.038 → 5.015 → 4.777 → 4.581 → ... → **4.235,15**
- **Kök Relaksasyonu:** 4.065,97
- **Optimal Çözüm:**
  - Amaç fonksiyonu değeri: 4.235,15
  - Çözüm süresi: 171 saniye
  - Gap: %0.00

Table 4: `w1_300.txt` Veri Seti İçin Gurobi Çözüm Özeti

Özellik	Değer
Model Boyutu	90.600 kısıt, 90.300 değişken, 360.000 nonzero
Başlangıç Uygun Çözüm	110.446,30
İyileştirme Adımları	11.038 $\rightarrow$ 5.015 $\rightarrow$ 4.777 $\rightarrow$ 4.581 $\rightarrow$ ... $\rightarrow$ <b>4.235,15</b>
Kök Relaksasyonu	4.065,97
Optimal Amaç Fonksiyonu Değeri	<b>4.235,15</b>
Çözüm Süresi	171 saniye
Çözüm Boşluğu (Gap)	%0.00

**Değerlendirme:** `w1_300.txt` problemi için geliştirilen Best Hybrid ILP yaklaşımı, büyük ölçekli problemlerde dahi etkinliğini kanıtlamıştır. Genetik algoritma ile elde edilen başlangıç çözümü, Gurobi tarafından optimal hale getirilmiş ve kısa sürede yüksek doğruluk sağlanmıştır.

## Yöntem ve Uygulama – `w1_500.txt`

Bu çalışmada, `hybrid_greedy_ilp()` fonksiyonu kullanılarak `w1_500.txt` veriseti çözülmüştür. Algoritma iki aşamadan oluşmaktadır:

### Algoritmanın Yapısı

- **Greedy Başlangıç:** Her müşteri rastgele sırayla gezilir. Yeterli kapasiteye sahip depolar için

$$\frac{\text{maliyet} + \text{sabitacılısmaliyeti}}{\text{kalankapasite}}$$

oranı hesaplanır ve en iyi skora sahip depo seçilir. Atama işlemleri tamamlandığında başlangıç çözümü elde edilir.

- **ILP Optimizasyonu:** Greedy çıktısı, Gurobi çözücüsüne başlangıç çözümü olarak verilerek; toplam taşıma ve sabit depo maliyetini minimize eden tamsayılı doğrusal program (ILP) modeli oluşturulur. Kullanılan temel kısıtlar şunlardır:

- Her müşteri yalnızca bir depoya atanmalıdır.
- Her deponun kapasitesi aşılmamalıdır.
- Bir müşteri bir depoya atanıyorsa, o deponun açılması zorunlu olmalıdır:  $x_{cd} \leq y_d$ .

## Gurobi Çözüm Süreci

- **Problem Boyutu:** 500 müşteri ve  $\sim 500$  depo. Toplam 250.500 ikili değişken, 251.000 kısıt.
- **Başlangıç Çözümü:** Heuristik yöntemle 105137.31 değerinde kaba bir çözüm bulundu.
- **Barrier Yöntemi:** Root relaxation’da amaç fonksiyonu değeri 2344.311 olarak elde edildi.
- **Branch-and-Bound Süreci:** Gurobi çözümleyici zaman sınırına kadar çözümü geliştirdi.

## Sonuçlar

Table 5: wl\_500.txt Veriseti İçin Hybrid Greedy + ILP Sonuçları

Kriter	Değer
Girdi Dosyası	wl_500.txt
Algoritma	Hybrid Greedy + ILP
Çözümleyici	Gurobi 12.0.1
Zaman Sınırı	600 saniye
En İyi Bulunan Maliyet (Objective)	2529.66
En İyi Alt Sınır (Best Bound)	2347.92
Açıklık (Optimality Gap)	%7.18
Başlangıç Yöntemi	Greedy

Gurobi çözümleyici, zaman sınırı içerisinde optimal çözüme ulaşamamış ancak greedy ile başlatılan çözüm üzerinden hızlı bir iyileştirme gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, kabul edilebilir bir maliyet ve düşük açıklık yüzdesi ile çözüm bulunmuştur.

## DeneySEL Sonuçların Karşılaştırması

Table 6: Farklı Veri Setlerinde Kullanılan Algoritmalar ve Çözüm Sonuçları

Veri Seti	Algoritma	Optimal Maliyet	Çözüm Süresi (sn)	Gap (%)	Başlangıç Yöntemi
w1_25.txt	GA + MILP (Gurobi)	796.648,44	0.02	0.00	Genetik Algoritma
w1_50.txt	ILP (Gurobi)	854.900,45	0.03	0.00	ILP
w1_200.txt	ILP (Gurobi)	2.932,33	72.60	0.00	ILP
w1_300.txt	GA + ILP (Gurobi)	4.235,15	171.00	0.00	Genetik Algoritma
w1_500.txt	Greedy + ILP (Gurobi)	2.529,66	600.00	7.18	Greedy

## Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı boyutlardaki WLP (Warehouse Location Problem) veri setleri üzerinde çeşitli optimizasyon algoritmaları uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. DeneySEL analiz, beş farklı veri seti (w1\_25.txt, w1\_50.txt, w1\_200.txt, w1\_300.txt, w1\_500.txt) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan algoritmalar; klasik Tamsayılı Doğrusal Programlama (ILP), Genetik Algoritma (GA) ile başlatılan hibrit modeller ve Greedy yaklaşımlara dayalı başlangıç çözümleri olmuştur.

Küçük ve orta ölçekli veri setlerinde (25 ve 50 müşteri) ILP yöntemi çok kısa sürede

Orta-büyük ölçekli veri seti olan `w1_200.txt` için doğrudan ILP modeli uygulanmış ve 72.6 saniyede optimal çözüme ulaşılmıştır. Bu durum, ILP'nin kapasitesinin veri seti büyüdükçe azaldığını, ancak hâlen uygulanabilirliğini koruduğunu göstermektedir.

`w1_300.txt` veri setinde, genetik algoritma ile elde edilen en iyi çözüm, MILP modeline başlangıç olarak verilmiş ve Gurobi çözücüsü tarafından 171 saniyede optimal çözüme ulaşılmıştır. Bu durum, genetik algoritmanın keşif gücünden yararlanılarak çözüm kalitesinin artırılabilceğini ve zaman kazancı sağlanabileceğini göstermektedir.

En büyük veri seti olan `w1_500.txt` için doğrudan ILP çözümlemesi yüksek zaman ve kaynak maliyetine neden olabileceğinden, greedy algoritma ile başlangıç yapılmış ve ardından ILP modeline aktarılmıştır. Gurobi bu çözümü 600 saniyede

## Algoritmaların Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

- **ILP:** Küçük ve orta ölçekli veri setlerinde (25–200 müşteri) en etkili ve hızlı yöntemdir. Zaman açısından avantajlıdır ve doğrudan optimal çözümler sağlar. Ancak veri seti büyüdükçe çözüm süresi artar.
- **GA + ILP (Hibrit):** Genetik algoritma ile elde edilen kaliteli başlangıç çözümleri, büyük veri setlerinde ILP optimizasyonuna büyük katkı sağlar. `w1_300.txt` gibi veri setlerinde hem optimalite hem çözüm süresi açısından başarı sağlamıştır.
- **Greedy + ILP:** Greedy algoritma başlangıçta hızlı bir çözüm üretse de, bu çözümün kalitesi genetik algoritma kadar iyi olmamış ve ILP'nin nihai optimizasyonu daha uzun sürmüştür. `w1_500.txt` verisinde

## Sonuç

Genel olarak;

- **ILP yöntemleri**, küçük ve orta boyutlu veri setlerinde zaman ve doğruluk açısından ideal çözümler üretmektedir.
- **Genetik algoritma tabanlı hibrit modeller**, büyük veri setlerinde çözüm kalitesini ve verimliliğini artırmıştır.
- **Greedy yaklaşımlar**, hızlı başlangıç avantajı sunmasına rağmen, büyük veri set-



lerinde optimal çözüme ulaşmada genetik algoritmaya göre daha düşük performans göstermiştir.

Sonuç olarak, WLP gibi NP-zor problemlerde çözüm başarısı, yalnızca algoritmanın doğasından değil, aynı zamanda veri setinin büyüklüğüne ve başlangıç çözüm kalitesine de bağlıdır. Bu bağlamda, problem boyutuna uygun algoritma seçimi, hem çözüm süresi hem de maliyet açısından doğrudan başarıyı etkilemektedir.