



## TOPRAK DAĞITIMINDA OLUŞABİLECEK GİRİŞİM DURUMUNUN ÖNLENMESİ İÇİN OPTİMİZASYON TABANLI ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Ziya ÇAKICI<sup>1\*</sup>, Mehmet Sinan YILDIRIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

### Keywords

*Küteller Diyagramı,  
Genel Yöntem,  
Girişim,  
Optimum Taşıma Mesafesi,  
Optimizasyon.*

### Öz

Karayolu ve demiryolu projeleri gibi ulaştırma projelerinde toprak işleri, proje maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu tür projelerde, genel olarak, yarma, dolgu ve taşıma işlemlerinin (toprak dağıtımının) en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Ulaştırma mühendisliğinde, bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de Genel toprak dağıtım yöntemidir. Bu çalışmada, Genel toprak dağıtım yönteminde özel bir durum teşkil eden "girişim" oluşumu ele alınmıştır. Bu bağlamda, ardışık bir tepe ve bir vadiden veya bir vadi ve bir tepeden oluşan küteller diyagramında, girişim oluşması durumunda, en uygun taşıma mesafelerinin yeniden belirlenmesi ve girişimin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, girişim durumunun gözlemlendiği üç farklı örnek için en uygun taşıma mesafeleri küteller diyagramına ait matematiksel, geometrik ve trigonometrik veriler göz önünde bulundurularak Diferansiyel Gelişim Algoritması ile yeniden belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimizasyon tabanlı çözüm yaklaşımı ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilebileceği ve girişim durumunun önlenebileceği görülmüştür.

## AN OPTIMIZATION-BASED SOLUTION APPROACH FOR THE PREVENTION OF OVERLAPPING THAT MAY OCCUR IN EARTH DISTRIBUTION

### Keywords

*Mass Diagram,  
General Method,  
Overlapping,  
Optimum Hauling Distance,  
Optimization.*

### Abstract

Earthworks for transportation projects such as highway and railway projects constitute a significant part of the project cost. For this reason, in these types of projects, it is aimed to carry out cutting-filling and hauling (earth distribution) in the most economical way. In transportation engineering, different methods are applied to achieve this goal. One of the these methods is, also, general earth distribution method. In this study, "overlapping" formation, which expresses a special situation for the general earth distribution method, is discussed. In this context, firstly, mass diagram consisting of the successive hills and valleys, or the successive valleys and hills is considered. Then, in the case of overlapping, it is aimed to re-determine optimum hauling distance and eliminate the overlapping. Within the scope of the study, optimum hauling distances for three different samples in which overlapping is observed is re-determined by using Differential Evolution Algorithm, taking into account mathematical, geometric and trigonometric data related to mass diagram. As a result, it is seen that quite successful results are obtained and overlapping can be prevented with optimization-based solution approach.

### Alıntı / Cite

Çakıcı, Z., Yıldırım, M. S., (2022). Toprak Dağıtımında Oluşabilecek Girişim Durumunun Önlenmesi için Optimizasyon Tabanlı Çözüm Yaklaşımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1455-1473.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ziya.cakici@idu.edu.tr, +90-232-260-1001

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Z. Çakıcı, 0000-0001-7003-815X	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	19.05.2022
M. S. Yıldırım, 0000-0001-5347-2456	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	15.08.2022
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	02.09.2022
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.12.2022

## 1. Giriş (Introduction)

Yer yüzeyinin doğal yapısının düzgün olmaması nedeniyle özellikle karayolları ve demiryolları gibi mühendislik yapıları tasarlanırken yapının temas edeceği yüzeyin düzgün bir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem, doğal yüzeyin fazlalık oluşturan bölümleri yok edilerek (kazı-yarma) ve/veya yapının temas yüzeyinin altında kalacak olan bölümler doldurularak (dolgu) iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Yarma işlemi sonucunda elde edilen malzemenin uygun bir yere götürülmesi ve dolgu malzemesinin, dolgu yapılacak bölgeye getirilmesi “taşımaya” işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, “yarma”, “dolgu” ve “taşımaya” işlemlerinin arazideki toprak işinin önemli bileşenleri olduğunu söylemek mümkündür. Genellikle özellikli iş makineleri kullanılarak yapılan toprak işleri zaman kaybının yanı sıra yüksek maliyetleri (yakıt, taşıt işletme, operatör, yıpranma payı giderleri vb.) de beraberinde getirmektedir (Evren, 2001). Bu nedenle, maliyet faktörü göz önünde bulundurulduğunda, karayolu ve demiryolu projelerinde, kırmızı çizgi çizilirken boykesit üzerindeki yarma ve dolgu alanlarının mümkün olduğu kadar birbirini dengeler durumda olması büyük bir önem arz etmektedir (Şahinkaya, 2013).

Karayolu ve demiryolu projelerinde, kırmızı çizginin belirlenmesinin ardından, öncelikli olarak, belirli aralıklarla alınan en kesitlere ait alanlar tespit edilmektedir. Daha sonra, zemine (malzemeye) ait sıkışma-kabarma faktörleri dikkate alınarak enkesitler arasındaki yarma ve dolgu hacimleri hesaplanmaktadır (Seçkin, 2003; Göktepe vd., 2008; Banks, 2010; Bakır, 2017). Üçüncü aşamada, enkesitler arasındaki hacimler eklenik olarak toplanarak, zemin kütlelerinin dağıtımında kullanılacak olan “Kütleler Diyagramı”nın çizimi gerçekleştirilmektedir (Seçkin, 2003). Kütleler diyagramı, temel olarak, en uygun taşıma mesafesi stratejilerinin belirlenmesinde ve toprak işi maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Diyagram çizilirken, yarma pozitif (karşılaştırma çizgisi üstü), dolgu ise negatif (karşılaştırma çizgisi altı) olarak dikkate alınmaktadır. Diyagramda, yatay eksen, enkesitlerin başlangıç noktasına olan mesafelerini, düşey eksen ise eklenik hacimleri ifade etmektedir. Diyagramın yükselen parçasının, özel bir bölümde dolgu üzerindeki yarma fazlasını; diyagramın alçalan parçasının ise özel bir bölümde yarma üzerindeki dolgu fazlasını belirttiği söylenebilir (Ögüt, 2005). Kütleler diyagramı ile hacimlerin kümülatif toplamı verildiği için, dolgunun yarmaya eşit olduğu hacim bölümleri de kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Kütleler diyagramının çizilmesinin ardından, yarma, dolgu ve taşıma işlemlerinin en ekonomik şekilde nasıl gerçekleştirilebileceği, “toprak dağıtımı” başlığı altında incelenebilir (Evren, 2001). Literatürde, toprak dağıtım işlemlerinin, genel olarak, “Genel Yöntem” ve/veya “Brückner Yöntemi” ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Genel Yöntem ve Brückner Yöntemi’nin en temel farkı, Genel Yöntem’de eldeki mevcut taşıma araçları göz önünde bulundurularak bir optimum taşıma mesafesinin belirlenmesidir (Erselcan, 1994). Bu çalışmada, toprak dağıtımı için kullanılan Genel Yöntem’de özel bir durum teşkil eden “girişim” oluşumu ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, ardışık bir tepe ve bir vadiden veya bir vadi ve bir tepeden oluşan kütleler diyagramında, girişim oluşması durumunda, en uygun taşıma mesafelerinin yeniden belirlenmesi ve girişimin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

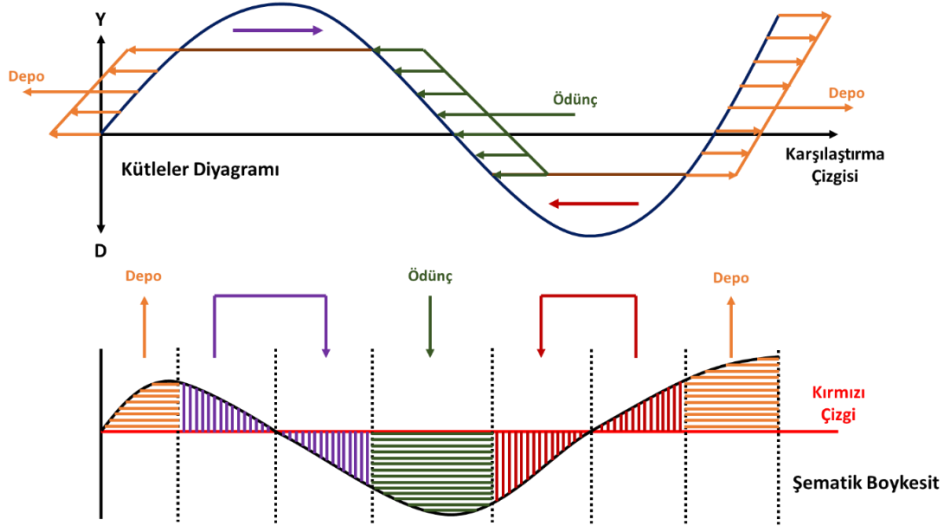
Çalışmanın ikinci bölümünde Genel Toprak Dağıtım Yöntemi ve girişim durumu ile ilgili çeşitli bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, en uygun taşıma mesafelerinin belirlenmesinde çözüm aracı olarak kullanılan Diferansiyel Gelişim Algoritması detaylı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, analiz çalışmaları için seçilen üç farklı örnek ve bu örneklerle ilişkin açıklamalar sunulmuştur. Beşinci bölümde, çalışma kapsamında yapılan analizlere yer verilmiş ve sonuçlar tablo ve şekiller kullanılarak özetlenmiştir. Son bölümde ise, analiz sonuçlarından elde edilen bulguların genel bir değerlendirmesi ve yorumlanması yapılmıştır.

## 2. Genel Yöntem ve Girişim Durumu (General Earth Distribution Method and Overlapping)

Bu bölümde, genel yöntem ile ilgili detaylara girilmeden önce toprak dağıtımında sıklıkla karşılaşılan “Depo” ve “Ödünç” kavramları açıklanmalıdır. Depo, kazılan zeminin dolgu için kullanılmaması veya kullanılsa bile fazla olması nedeniyle elde kalması durumunda belirlenen bir yere gönderilmesidir. Ödünç ise, dolgunun kazılan zeminle karşılanamaması veya karşılanırsa bile eksik kalmasından dolayı zeminin, dışarıda belirlenen bir yerden kazılarak getirilmesidir (Banks, 2010). Tanımlamalardan da anlaşılacağı üzere, toprak işlerinde; yarmalardan çıkan malzeme gerekli nitelikleri taşıyor ise dolgu kesimlerine, taşıyor ise depoya gönderilmektedir. Dolgu kesimleri için gerekli olan malzeme ise yarma kesimlerinden (zeminin nitelikleri göz önünde bulundurularak) ya da ödünçten temin edilmektedir (Seçkin, 2003).  $1 \text{ m}^3$  zeminin depo edilmesi maliyeti depo maliyeti ( $M_d$ );  $1 \text{ m}^3$  zeminin ödünç yerinden getirilmesi maliyeti de ödünç maliyeti ( $M_ö$ ) olarak adlandırılmaktadır. Depo maliyeti, depo yapılacak yer için kiralama veya mülkiyet bedeli ile zeminin depo yerine taşınma maliyetini içermektedir.

Ödünç maliyeti ise ödünç yeri için kiralama veya mülkiyet bedeli, zeminin belirlenen yerden kazılma maliyeti ve zeminin taşınma maliyeti olmak üzere 3 farklı kalemden oluşmaktadır (Şahinkaya, 2013).

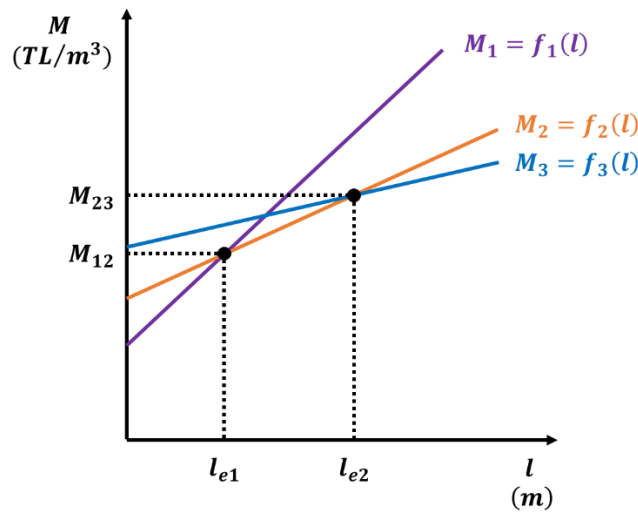
Ardışık bir tepe ve bir vadiden oluşan kütleler diyagramındaki taşıma, depo ve ödünç işlemleri ile bu işlemlerin şematik boykesit üzerindeki gösterimleri Şekil 1’ de sunulmaktadır.



Şekil 1. Örnek Bir Kütleler Diyagramı ve Şematik Boykesit (A Sample Mass Diagram and Schematic Cross-Section)

Şekil 1’ den de görüldüğü üzere, kütleler diyagramındaki tepe ve vadinin en uç noktalarında sırasıyla yarmadan dolguya ve dolgudan yarmaya geçiş durumu söz konusudur. Ayrıca, karşılaştırma çizgisine paralel olarak çizilebilecek her bir çizgi, oluşan kapalı alanlarda dolgu ve yarma hacminin dengelendiğini belirtmektedir. Şekil 1’ den, karşılaştırma çizgisine paralel onlarca çizgi çizilebileceği anlaşılabilir. Bu durumda hedef, en uygun (en ekonomik) dağıtım sağlayan çizgi lokasyonlarının belirlenmesi olmalıdır. En ekonomik toprak dağıtımının (dengelemesinin) gerçekleştirilmesi hedeflenen Genel Yöntemde, taşıma birim maliyetinin uzaklıkla doğru orantılı olarak değiştiği ve depo ve ödünç maliyetlerinin sabit olduğu kabul edilmektedir (Erselcan, 1994; Seçkin, 2003).

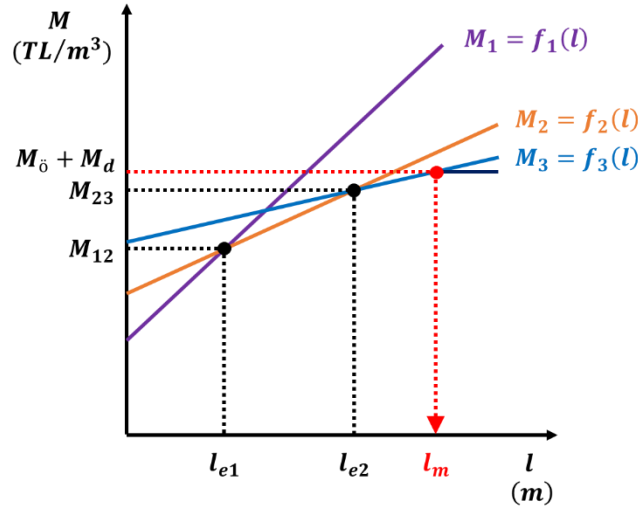
Kütleler diyagramında, kapalı alanlar oluşturularak iç dengeleme yapılmasında boyuna taşıma işlemi büyük bir önem arz etmektedir. Bu işlem, şantiye alanındaki mevcut iş makineleri (Dozer, skrayper, ekskavatör-kamyon vb.) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şantiyede boyuna taşıma yapabilecek 3 farklı iş makinesi olduğu ve bu makinelerin  $1m^3$  zemin taşıma maliyet fonksiyonlarının sırasıyla  $M_1=f_1(l)$ ,  $M_2=f_2(l)$ ,  $M_3=f_3(l)$  olarak belirlendiği varsayıldığında, taşıma uzunluğuna bağlı maliyet grafiği Şekil 2’ deki gibi gösterilebilmektedir.



Şekil 2. Taşıma Uzunluğuna bağlı Maliyet Grafiği (Hauling Distance-based Cost Graph)

Şekil 2’ de  $l_{e1}$ ; 1 ve 2 numaralı taşıtlar için taşıma sınır değerini,  $l_{e2}$  ise 2 ve 3 numaralı taşıtlar için taşıma sınır değerini göstermektedir.  $M_{12}$  ve  $M_{23}$  ise  $l_{e1}$  ve  $l_{e2}$ ’ ye ait taşıma maliyeti değerlerine karşılık gelmektedir. Bu durumda; taşıma işlemi yapılırken,  $0-l_{e1}$  arasında 1 numaralı taşıtın,  $l_{e1}-l_{e2}$  arasında 2 numaralı taşıtın,  $l_{e2}$ ’ den daha uzun mesafelerde ise 3 numaralı taşıtın etkin ve ekonomik bir şekilde kullanılabilirliği söylenebilir.

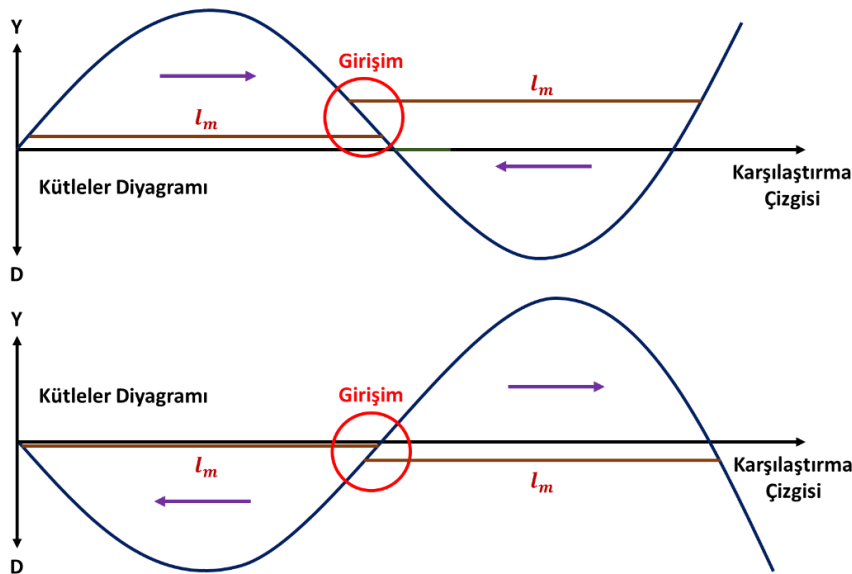
Daha önce de belirtildiği üzere Genel yöntem ile toprak dağıtımında hedef; kütleler diyagramının tepe ve vadi kesimlerinde kapalı alan oluşturmak için çizilen sonsuz sayıda dağıtım çizgisinden en ekonomik zemin dağıtımını yani dengelemeyi sağlayacak çizgiyi belirlemektir (Seçkin, 2003). Bu çizgi, optimum taşıma mesafesi olarak isimlendirilmekte ve ( $l_m$ ) ile gösterilmektedir.  $l_m$ , 1 m<sup>3</sup> zemin için depo ve ödünç maliyetleri toplamına ( $M_{\bar{o}}+M_d$ ) karşılık gelen uzunluktur.  $l_m$ ' nin Taşıma Uzunluğuna bağlı Maliyet Grafiği üzerindeki sembolik gösterimi Şekil 3' de sunulmaktadır.



Şekil 3. Taşıma Uzunluğuna bağlı Maliyet Grafiği Üzerinde  $l_m$ ' nin Sembolik Gösterimi (Symbolic Projection of  $l_m$  on Hauling Distance-based Cost Graph)

Şekil 3 dikkatle incelendiğinde,  $l_m$ ' den daha uzun mesafelerde, taşıma işlemi yerine depo ve/veya ödünç'e başvurulmasının daha ekonomik olacağı anlaşılabilmektedir.  $l_m$ ' nin belirlenmesinin ardından, bu uzunluğa karşılık gelen çizgiler kütleler diyagramı üzerindeki tepe ve vadilere yerleştirilmekte ve böylece en ekonomik toprak dağıtımı gerçekleştirilmiş olmaktadır.

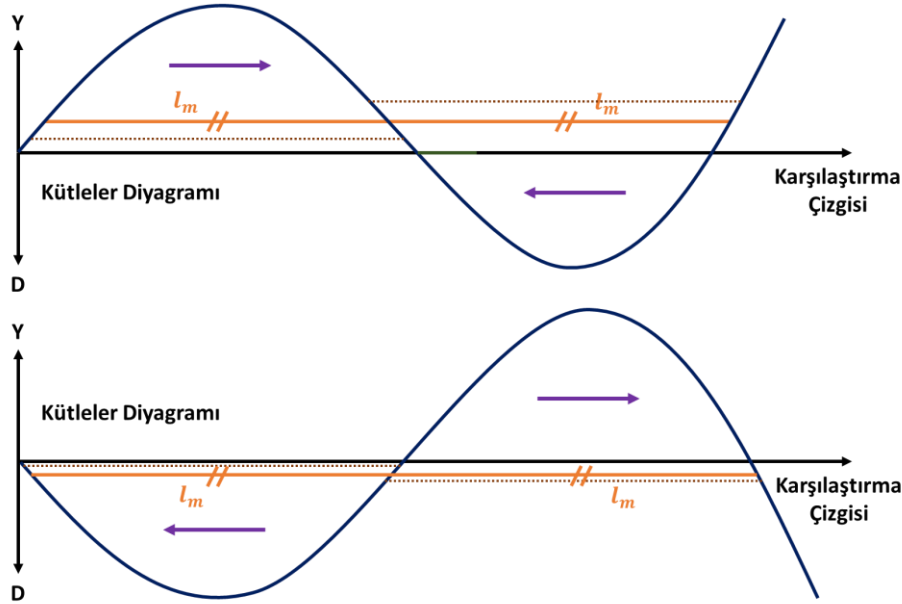
Genel Yöntem ile toprak dağıtımında bazı durumlarda,  $l_m$  uzunluğundaki çizgiler, kütleler diyagramı üzerinde tepe ve vadi kesimlerine yerleştirilirken, bir çizginin başlangıcı ile diğer çizginin bitişi veya bir çizginin bitişi ile diğer çizginin başlangıcı Şekil 4' de de görüldüğü gibi birbirini üzerine denk gelebilmektedir. Bu olumsuzluğa "Girişim" adı verilmektedir (Evren, 2001; Seçkin, 2003).



Şekil 4. Kütleler Diyagramında Girişim Meydana Gelmesi Durumu (Overlapping Occurrences on Mass Diagrams)

Girişim durumunda, bu durumun meydana geldiği bölgede iki farklı şekilde ve yönde (hem soldan sağa hem sağdan sola) taşıma yapıldığı anlaşılmasına rağmen, bunun teorik olarak mümkün olmadığı açıktır. Şekil 4' den, üstteki örnekte, girişimin meydana geldiği bölgeye aynı hacimde iki defa dolgu yapılacağı, alttaki örnekte ise girişimin meydana geldiği bölgeden aynı hacimde iki defa yarma yapılacağı anlaşılmaktadır. Fakat böyle bir durum gerçekte

mümkün değildir. Gerçek hayatta karşılığı olmayan bu durumu ortadan kaldırmak için, iki  $l_m$  çizgisi arasında tepe ve vadide uzunlukları eşit olacak şekilde yeni bir  $l_m$  çizgisi çizilmelidir. Birbirine eşit uzunlukta çizilen bu yeni çizgiler en ekonomik (optimum) dağıtım çizgileri olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4' deki örnekler için, girişim durumunun ortadan kaldırılması sonucunda elde edilen kütleler diyagramları Şekil 5' de gösterilmektedir.



**Şekil 5.** Girişimin Ortadan Kaldırılması Sonucunda Elde Edilen Kütleler Diyagramları (Mass Diagrams Obtained As a Result of the Elimination of Overlapping)

### 3. Diferansiyel Gelişim Algoritması (Differential Evolution Algorithm)

Özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu optimizasyon problemlerinde etkin sonuçlar sağlayabilen ve işleyiş-operatörleri itibarıyla Genetik Algoritma'yı andıran Diferansiyel Gelişim Algoritması, 1995 yılında R. M. Storn ve K. Price tarafından geliştirilen evrim tabanlı bir algoritmadır (Storn ve Price, 1997; Khan vd., 2014). Basit, hızlı, kolay uygulanabilir ve güçlü olmasından dolayı, birçok mühendislik probleminin çözümünde tercih edilmektedir (Elci ve Ayvaz, 2014; Kamal ve Inel, 2019). Diferansiyel Gelişim Algoritması'nda da, öncelikli olarak, Genetik Algoritma'da olduğu gibi bir başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır. Daha sonra, mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemleri uygulanarak, iterasyonlar boyunca probleme ait en iyi değer elde edilmesi amaçlanmaktadır (Baskan, 2019). Diferansiyel Gelişim Algoritması'nda, belirtilen operatörler, Genetik Algoritma'dan farklı olarak, popülasyondaki tüm bireylere sırasıyla uygulanmamaktadır (Tan vd., 2020). Popülasyondaki her bir birey, popülasyon içerisinde rastgele seçilen 3 farklı bireyden mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak elde edilen yeni bir birey ile karşılaştırılmakta ve amaç fonksiyonu değeri bazında uygunluğu daha iyi olan birey seçim operatörü gerçekleştirilerek bir sonraki jenerasyona (iterasyona) aktarılmaktadır (Liu vd., 2010; Çakıcı, 2020).

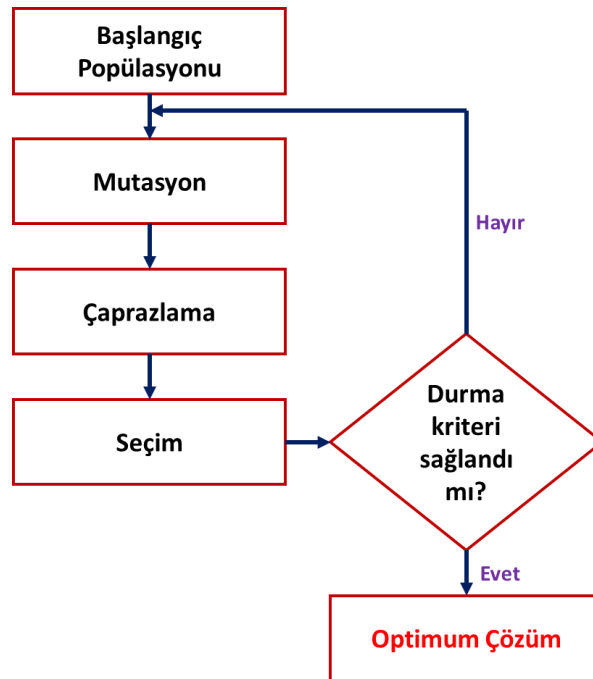
Diferansiyel Gelişim Algoritması'nda işlem adımları şu şekildedir:

- 1) Kontrol parametrelerinin belirlenmesi: Algoritmada 4 farklı parametrenin kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler; popülasyon boyutu (NP), mutasyon faktörü (F), çaprazlama oranı (CR) ve maksimum iterasyon sayısı ( $G_{maks}$ )'dır. Literatürde, genel olarak; popülasyon boyutu için 20 ile 50, mutasyon faktörü için 0 ile 2, çaprazlama oranı için 0 ile 1 aralığında değerler önerilmektedir (Karaboğa, 2014). Maksimum iterasyon sayısı ise problemin zorluk derecesine göre şekillenmekte olup kullanıcıya bırakılmaktadır.
- 2) Başlangıç popülasyonunun oluşturulması: Başlangıç popülasyonu NP sayıda çözüm vektöründen oluşmakta ve her bir çözüm vektörü kromozom olarak adlandırılmaktadır. Kromozomlar da genlerden (karar değişkenlerinden) oluşmaktadır. Başlangıç popülasyonunda, karar değişkenlerinin her biri, değişkenlere ait alt ve üst limit değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasının ardından, mutasyon-çaprazlama ve seçim işlemleri  $G_{maks}$  defa uygulanmaktadır. Son iterasyonda elde edilen en iyi çözüm, problemin çözümü'dür.
- 3) Mutasyon işlemi: Mutasyon operatörü, algoritmayı geliştiren ve daha güçlü hale getiren operatördür. Söz konusu operatör ile mevcut kromozom üzerinde rastgele değişiklikler yapılarak, mevcut vektörde doğru zamanlı, doğru miktarlı ve doğru yönlü artışlar gerçekleştirilmektedir (Karaboğa, 2014). Mutasyon işlemi

gerçekleştirilirken, öncelikli olarak, mevcut kromozom haricinde birbirinden farklı 3 kromozom seçilmektedir. Daha sonra, seçilen ilk kromozomdan ikinci kromozom çıkarılarak elde edilen fark kromozomu ölçekleme faktörü ile çarpılmaktadır. Üçüncü aşamada, ölçekleme faktörü ile çarpılan fark kromozomu üçüncü kromozom ile toplanmakta ve çaprazlama işleminde kullanılacak olan yeni vektör elde edilmektedir (Keskintürk, 2006).

- 4) Çaprazlama işlemi: Çaprazlama işlemi gerçekleştirilirken, öncelikli olarak, mevcut çözüm vektörü ve mutasyon sonucunda elde edilen vektör kullanılarak bir sonraki jenerasyona aday deneme vektörü oluşturulmaktadır. Deneme kromozomuna ait her bir gen, CR olasılıkla mutasyon ile elde edilen vektörden,  $(1 - CR)$  olasılıkla ise mevcut çözüm vektöründen seçilmektedir. Çaprazlama işleminde, en az bir değişkenin (genin) de mutasyon sonucunda oluşturulan vektörden seçilmesi garanti edilmektedir. Böylece, yeni çözüm vektörünün, mevcut vektörden farklılaştırılması sağlanmaktadır (Çakıcı, 2020).
- 5) Değerlendirme: Bu aşamada, yeni çözüm vektöründeki tüm değişkenler, amaç fonksiyonundaki ilgili yerlere yerleştirilmekte ve fonksiyonun değeri (uygunluk değeri) hesaplanmaktadır.
- 6) Seçim işlemi: Seçim aşamasında, yeni çözüm vektörünün uygunluk değeri mevcut vektörün uygunluk değeri ile karşılaştırılmaktadır. Mevcut vektörün uygunluk değerinin daha iyi olması durumunda mevcut vektör bir jenerasyon daha popülasyonda kalmaktadır. Yeni çözüm vektörünün uygunluk değerinin daha iyi olması durumunda ise yeni çözüm vektörü bir sonraki jenerasyona aktarılmaktadır.
- 7) Algoritmanın durdurulması: Diferansiyel Gelişim Algoritması'nda iteratif mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemlerinin toplam tekrar sayısı  $G_{maks}$  'a ulaştığında algoritma durdurulmaktadır. Ayrıca, algoritma, en kötü ve en iyi uygunluk değerleri arasındaki farkın çok küçük ( $10^{-5}$  ve  $10^{-6}$  gibi) bir değere ulaşması durumunda da durdurulabilir (Ali ve Törn, 2004). Bu durumda, durdurma işlemi için seçilen değer, kullanıcıya bağlı olarak değişmekte olup problemde problemde farklılık gösterebilmektedir.
- 8) Problemin sonlandırılması: Durdurma işleminin gerçekleştirilmesinin ardından popülasyon içerisinde uygunluğu en iyi olan birey belirlenmektedir. Sonuç çözüm vektörü olarak adlandırılan bu bireydeki genlere ait sayısal değerler de, mevcut optimizasyon problemi için değişkenlerin optimum (yaklaşık optimum) değerlerini belirtmektedir.

Diferansiyel Gelişim Algoritması akış diyagramı Şekil 6' da gösterilmektedir (Li vd., 2016; Sriboonchandr vd., 2019).



Şekil 6. Diferansiyel Gelişim Algoritması Akış Diyagramı (The Flow Chart of Differential Evolution Algorithm)

#### 4. Örnek Durumlar (Sample Cases)

Çalışmanın bu bölümünde, analizler için kullanılan üç farklı örnek detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Tüm örnekler için kütleler diyagramları, taşıma işlemlerinde kullanılan araçların mesafeye bağlı taşıma maliyetleri, depo ve ödünç için birim maliyetler ayrı ayrı ele alınmaktadır.

- **Örnek 1:** Analizlerde kullanılacak olan Örnek 1 için kütleler diyagramı Şekil 7' de gösterilmektedir.



Şekil 7. Örnek 1 için Kütleler Diyagramı (Mass Diagram for Sample 1)

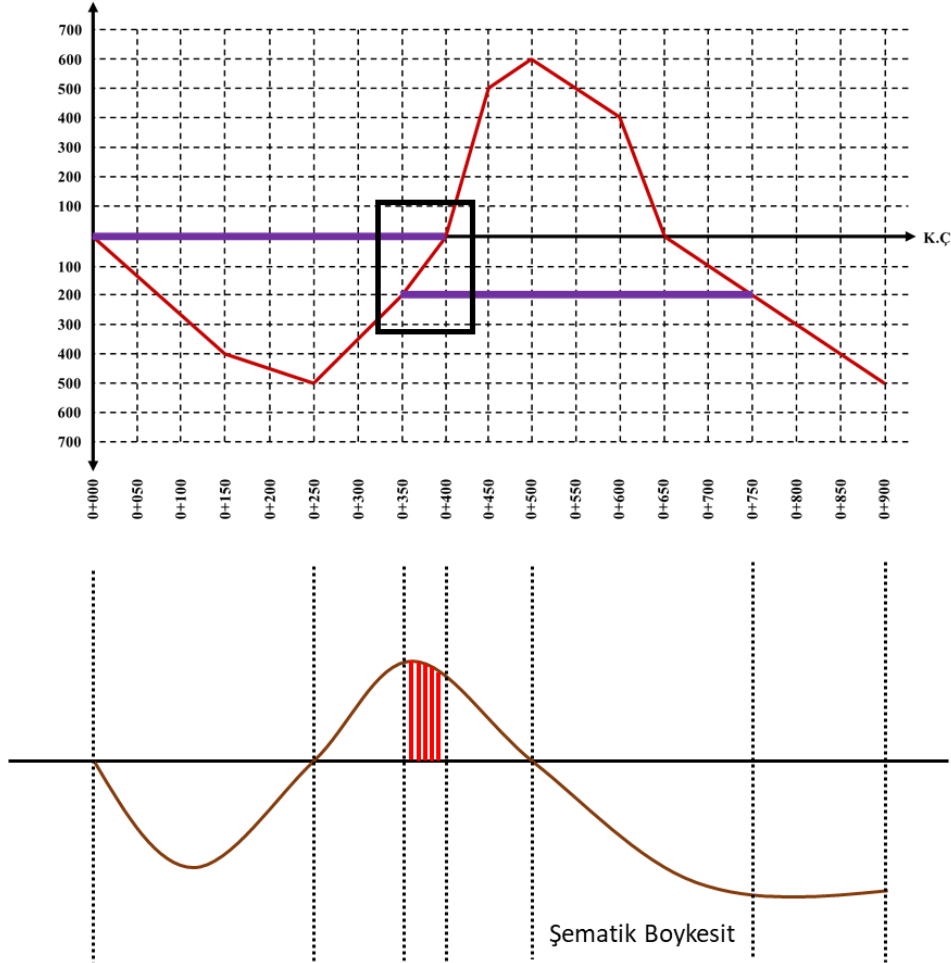
Şekil 7' den görüldüğü üzere, Örnek 1 için göz önünde bulundurulmuş kütleler diyagramı ardışık bir vadi ve bir tepeden oluşmaktadır. Bu durumda, girişimin söz konusu vadi ve tepe bölümleri arasında gerçekleştirilebileceği söylenebilir. Örnek 1 için, araçların taşıma mesafesine bağlı olarak taşıma maliyetleri ile depo ve ödünç maliyetleri Tablo 1' de sunulmaktadır.

Tablo 1. Örnek 1 için Maliyetler (Costs for Sample 1)

T <sub>1</sub> aracı için	$M_1 = 5 \times 10^{-3} \times (150 + 1,5 \times L)$
T <sub>2</sub> aracı için	$M_2 = 5 \times 10^{-3} \times (200 + L)$
Depo maliyeti	$M_o = 1,80 \text{ TL/m}^3$
Ödünç maliyeti	$M_d = 1,20 \text{ TL/m}^3$

Tablo 1' de verilen veriler ışığında, öncelikli olarak T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> araçlarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için mesafeler hesaplanmalıdır. T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> araçları için uygun taşıma mesafesinin sınır değeri ( $l_{e1}$ ), her iki araç için taşıma maliyetleri birbirlerine eşitlenerek elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, optimum taşıma mesafesinin belirlenmesi için de T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> araçlarının mesafeye bağlı taşıma maliyetleri ayrı ayrı ödünç ve depo birim maliyetlerinin toplamına eşitlenmektedir. Yapılan eşitlemelerin ardından elde edilen L<sub>1</sub> ve L<sub>2</sub> değerlerinden büyük olanı optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ ) olarak belirtilmektedir (Evren, 2001). Bu bilgilerden yola çıkarak, Örnek 1 için, T<sub>1</sub> aracının 100 metre ( $l_{e1}=100 \text{ m.}$ ), T<sub>2</sub> aracının ise 400 metre ( $l_m=400 \text{ m.}$ ) mesafeye kadar etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar önünde bulundurularak, Örnek 1 için optimum taşıma mesafesinin 400 metre olduğu ( $l_m=400 \text{ m.}$ ) söylenebilir.

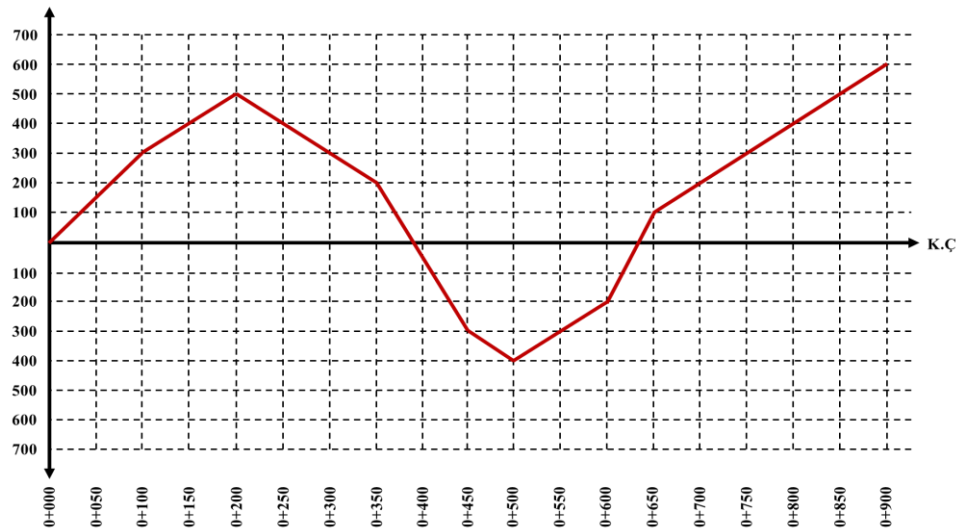
Optimum taşıma mesafesinin belirlenmesinin ardından optimum taşıma mesafesini temsil eden çizgi, tepe ve vadilerde kapalı alan oluşturulacak şekilde (birinci dereceden toprak dağıtımı) kütleler diyagramı üzerine yerleştirilmektedir. Böylece birbirleri ile dengelenecek olan hacimler, diyagram üzerinde net bir şekilde görülebilmektedir. Örnek 1 için, optimum taşıma mesafesinin kütleler diyagramı üzerindeki gösterimi ve şematik boykesit Şekil 8' de sunulmaktadır.



Şekil 8. Örnek 1 için Optimum Taşıma Mesafesinin Gösterimi ve Şematik Boykesit (Projection of Optimum Hauling Distance and Schematic Cross-Section for Sample 1)

Şekil 8’ den görüldüğü üzere, siyah kutu içerisinde gösterilen bölümde optimum taşıma mesafesi çizgileri birbirleri üzerine denk gelmekte ve “girişim” oluşmaktadır. Bu durumda, şematik boykesitte kırmızı ile taranan bölgeden soldan sağa doğru ve sağdan sola doğru iki defa taşıma yapıldığı anlaşılabilir. Bu durum fiziksel olarak mümkün değildir. Bu yüzden, Örnek 1 için, tepe ve vadi kısmındaki taşıma mesafelerinin birbirine eşit olduğu yeni bir optimum taşıma mesafesi belirlenmesi gerekmektedir.

- **Örnek 2:** Analizlerde kullanılacak olan Örnek 2’ ye ait kütleler diyagramı, birbiri ardına gelen bir tepe ve bir vadiden oluşmaktadır. Örnek 2 için kütleler diyagramı Şekil 9’ da gösterilmektedir.



Şekil 9. Örnek 2 için Kütleler Diyagramı (Mass Diagram for Sample 2)



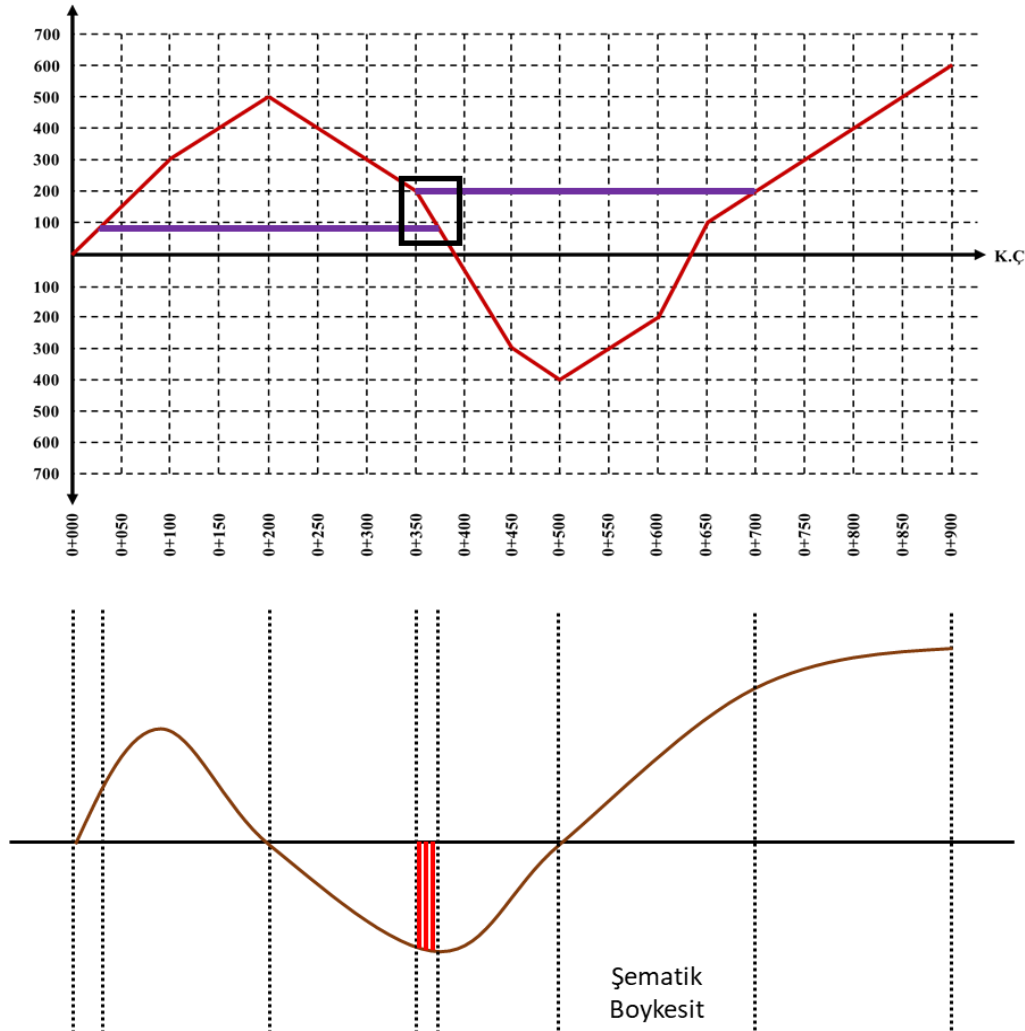
Şekil 9' dan görüldüğü üzere, tepe ve vadi kısımları arasında girişim gerçekleşebileceği söylenebilir. Örnek 2 için, araçların taşıma mesafesine bağlı olarak taşıma maliyetleri ile depo ve ödünç maliyetleri Tablo 2' de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** Örnek 2 için Maliyetler (Costs for Sample 2)

T <sub>1</sub> aracı için	$M_1 = 5 \times 10^{-3} \times (100 + 1,5 \times L)$
T <sub>2</sub> aracı için	$M_2 = 5 \times 10^{-3} \times (150 + L)$
Depo maliyeti	$M_0 = 1,50 \text{ TL/m}^3$
Ödünç maliyeti	$M_d = 1,00 \text{ TL/m}^3$

Örnek 2 için de, Örnek 1' de yapılan işlemler takip edilerek T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> araçları için uygun taşıma mesafesinin sınır değeri ( $l_{e1}$ ) 100 metre olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, yeniden Örnek 1' deki işlem adımları takip edilerek, optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ ) 350 metre olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, taşıma işlemi için, T<sub>2</sub> aracının da 350 metre mesafeye kadar etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilceği söylenebilir. Elde edilen sonuçlar ışığında, Örnek 2 için optimum taşıma mesafesinin 350 metre ( $l_m=350 \text{ m.}$ ) olduğu anlaşılabilir.

Optimum taşıma mesafesinin belirlenmesinin ardından, Örnek 1' de olduğu gibi, Örnek 2' de de tepe ve vadide kapalı alan oluşturacak şekilde (birinci dereceden toprak dağıtımı) kütleler diyagramı üzerine yerleştirilmektedir. Örnek 2' deki tepe kısmında,  $l_m=350 \text{ m.}$  lik çizginin geometrik ve trigonometrik bilgilerden yararlanılarak karşılaştırma çizgisinin 75 birim ( $75 \text{ m}^3$  e karşılık gelen) üstüne karşılık geldiği belirlenmiştir. Vadi bölümünde ise, söz konusu çizgi, kütleler diyagramı için oluşturulan karelejlardan yararlanılarak yerleştirilmiştir. Örnek 2 için, optimum taşıma mesafesinin kütleler diyagramı üzerindeki gösterimi ve şematik boykesit ise Şekil 10' da gösterilmektedir.



**Şekil 10.** Örnek 2 için Optimum Taşıma Mesafesinin Gösterimi ve Şematik Boykesit (Projection of Optimum Hauling Distance and Schematic Cross-Section for Sample 2)

Şekil 10' dan görüldüğü üzere, Örnek 1' de olduğu gibi, siyah kutu içerisinde gösterilen bölümde optimum taşıma mesafesi çizgileri birbirleri üzerine denk gelmekte ve "girişim" oluşmaktadır. Bu durumda, şematik boykesitte kırmızı ile taranan bölgeye hem soldan sağa doğru hem de sağdan sola doğru iki defa taşıma yapıldığı anlaşılabilir. Bu, fiziksel olarak mümkün değildir. Bu yüzden, Örnek 2 için de, tepe ve vadi kısmındaki taşıma mesafelerinin birbirine eşit olduğu yeni bir optimum taşıma mesafesi belirlenmesi gerekmektedir.

- **Örnek 3:** Analizlerde kullanılacak olan Örnek 3' e ait kütleler diyagramı birbiri ardına gelen bir tepe, bir vadi ve bir tepeden oluşmaktadır. Örnek 3 için kütleler diyagramı Şekil 11' de gösterilmektedir.



Şekil 11. Örnek 3 için Kütleler Diyagramı (Mass Diagram for Sample 3)

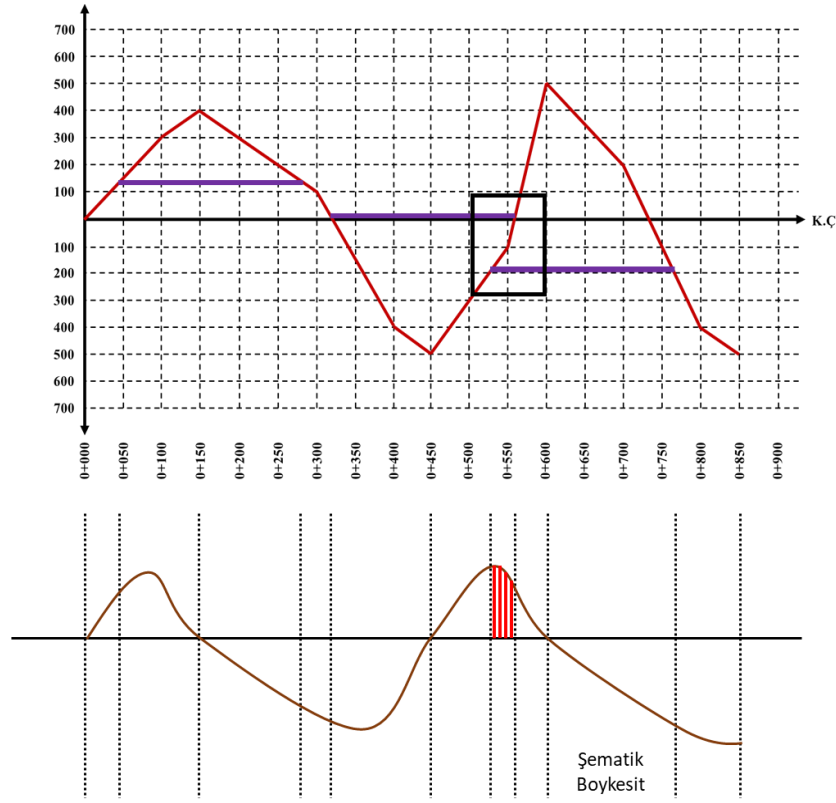
Şekil 11' den görüldüğü üzere; 1. tepe ve 1. vadi arasında, 1. vadi ve 2. tepe arasında veya her iki durumda da girişim gerçekleşme olasılığı bulunmaktadır. Örnek 3 için, araçların taşıma mesafesine bağlı olarak taşıma maliyetleri ile depo ve ödünç maliyetleri Tablo 3' de verilmektedir.

Tablo 3. Örnek 3 için Maliyetler (Costs for Sample 3)

T <sub>1</sub> aracı için	$M_1 = 5 \times 10^{-3} \times (250 + 1,75 \times L)$
T <sub>2</sub> aracı için	$M_2 = 5 \times 10^{-3} \times (300 + 1,25 \times L)$
Depo maliyeti	$M_o = 1,80 \text{ TL/m}^3$
Ödünç maliyeti	$M_d = 1,20 \text{ TL/m}^3$

Örnek 3 için de Örnek 1 ve Örnek 2' de yapılan işlem adımları takip edilerek T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> araçları için uygun taşıma mesafesinin sınır değeri ( $l_{e1}$ ) 100 metre olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yeniden, Örnek 1 ve Örnek 2' deki işlem adımları takip edilerek, optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ ) 240 metre olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, Örnek 3' de taşıma işlemi için, T<sub>2</sub> aracının 240 metre mesafeye kadar etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi söylenebilir. Buna göre, Örnek 3 için optimum taşıma mesafesinin 240 metre ( $l_m=240$  m.) olduğu anlaşılmaktadır.

Optimum taşıma mesafesinin belirlenmesinin ardından, optimum taşıma mesafesi çizgileri, diğer örneklerde olduğu gibi, tepe ve vadilerde kapalı alan oluşturacak şekilde (birinci dereceden toprak dağıtımı) kütleler diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Örnek 3' de de, vadi ve tepelerdeki optimum taşıma mesafesi çizgisi lokasyonları geometrik ve trigonometrik bilgiler kullanılarak belirlenmiştir. Optimum taşıma mesafesi çizgilerinin; 1. tepe' de karşılaştırma çizgisinin 132 br ( $132 \text{ m}^3$ ) yukarısına, vadiye karşılaştırma çizgisinin 5.88 br ( $5.88 \text{ m}^3$ ) yukarısına ve 2. tepede de karşılaştırma çizgisinin 196 br ( $196 \text{ m}^3$ ) aşağısına denk geldiği tespit edilmiştir. Şekil 12' de, Örnek 3 için, optimum taşıma mesafesinin kütleler diyagramı üzerindeki gösterimi ve şematik boykesit gösterilmektedir.



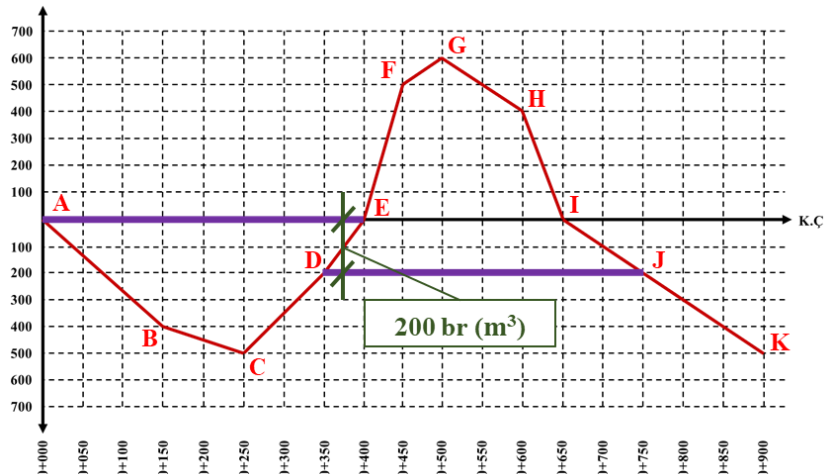
Şekil 12. Örnek 3 için Optimum Taşıma Mesafesinin Gösterimi ve Şematik Boykesit (Projection of Optimum Hauling Distance and Schematic Cross-Section for Sample 3)

Şekil 12' dikkatle incelendiğinde, 1. tepe ve vadi arasında herhangi bir girişim durumunun söz konusu olmadığı fakat vadi ve 2. tepe arasında girişim meydana geldiği görülebilmektedir. Bu durumda, şematik boykesitte kırmızı ile taralı olan bölgeden hem sağdan sola doğru hem de soldan sağa doğru taşıma yapıldığı anlaşılmaktadır. Daha önceki örneklerde de belirtildiği üzere, böyle bir durum fiziksel olarak mümkün olamayacağı için vadi ve 2. tepe kısmında taşıma mesafelerinin birbirlerine eşit olduğu yeni bir optimum taşıma mesafesi belirlenmelidir.

## 5. Analizler (Analyses)

Bu bölümde, öncelikli olarak, bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılan 3 farklı örnek için girişim durumlarının ortadan kaldırılması amacıyla kurulan matematiksel modeller ayrı ayrı anlatılmıştır. Daha sonra ise, yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur.

- **Örnek 1:** Örnek 1 için, kütleler diyagramı üzerinde optimum taşıma mesafelerinin belirtildiği ve girişim durumunun gözlemlendiği noktalar Şekil 13' deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 13. Örnek 1 için Optimum Taşıma Mesafesi Çizgilerinin Lokasyonları (Locations of Optimum Hauling Distance Lines for Sample 1)

Şekil 13' den, Örnek 1 için optimum taşıma mesafesi çizgilerinin, A-E ve D-J noktaları arasında bulunduğu görülebilmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, A-E ve D-J arasındaki düşey mesafe 200 br ( $m^3$ ) olarak hesaplanmıştır. Yeni belirlenen optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ ) değerinin 400 metrenin altında olacağı ve bu çizgilerin de 200 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafenin üzerinde bir noktada yerleştirileceği söylenebilir. Bu durumda, A-E noktaları arasındaki çizgi aşağı doğru, D-J noktaları arasındaki çizgi ise yukarı doğru hareket edecektir. A-E noktaları arasındaki çizginin yeni uzunluğu belirlenirken A-B ve D-E çizgilerinin eğiminden yararlanılmalıdır. Benzer şekilde, D-J noktaları arasındaki çizginin yeni uzunluğu belirlenirken de D-E ve I-J çizgi eğimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bilgilerden yola çıkarak, A-E arasındaki çizginin, A-E ve D-J çizgileri arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren matematiksel ifade için şunlar söylenebilir:

- A-B çizgisinin eğimini gösteren açı  $\alpha$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\alpha = 400/150 = 2,6667$ ); toplam 200 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede A-E çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot\alpha$  kadardır.
- D-E çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\beta = 200/50 = 4,0000$ ); toplam 200 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede A-E çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot\beta$  kadardır.
- Bu durumda, A-E arasındaki çizgi matematiksel olarak:  $U_{A-E} = 400 - (x \times \cot\alpha) - (x \times \cot\beta)$  şeklinde ifade edilmektedir.

Benzer şekilde; D-J arasındaki çizginin, A-E ve D-J çizgileri arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren matematiksel ifade için ise şunlar söylenebilir:

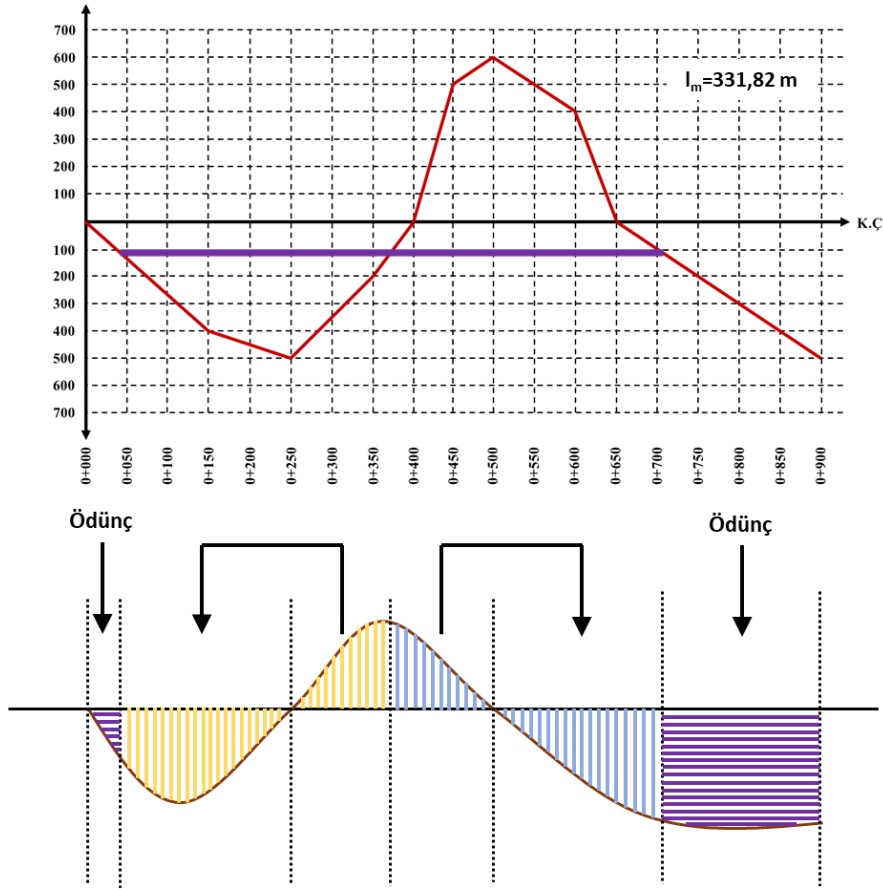
- D-E çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\beta = 200/50 = 4,0000$ ); toplam 200 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede D-J çizgisinden eksilen bölüm  $(200 - x) \times \cot\beta$  kadardır.
- I-J çizgisinin eğimini gösteren açı  $\phi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\phi = 200/100 = 2,0000$ ); toplam 200 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede D-J çizgisinden eksilen bölüm  $(200 - x) \times \cot\phi$  kadardır.
- Bu durumda D-J arasındaki çizgi uzunluğu:  $U_{D-J} = 400 - (200 - x) \times \cot\beta - (200 - x) \times \cot\phi$  dir.

A-E ve D-J çizgi uzunlukları çizgiler arasındaki düşey uzunluğa bağlı olarak değiştiğinden, optimizasyon problemi için, düşey mesafe, karar değişkeni olarak dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, girişim durumunun ortadan kaldırılması, her iki çizgi uzunluğunun birbirine eşitlenmesiyle mümkün olacaktır. Bu yüzden, çizgilerin uzunluklarının farklarının mutlak değeri amaç fonksiyonu olarak göz önünde bulundurulmalı ve 0' a eşitlenmelidir. Örnek 1 için, oluşturulan optimizasyon problemi ve analiz sonuçları Tablo 4' de detaylı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Örnek 1 için Oluşturulan Optimizasyon Problemi ve Analiz Sonuçları (Created Optimization Problem and Analyses Results for Sample 1)

Oluşturulan Optimizasyon Problemi		Analiz Sonuçları	
Amaç fonksiyonu	$f = \min( U_{A-E} - U_{D-J} )$	Optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ )	331,82
Karar değişkeni (x)	$0 \leq x \leq 200$	Çizgilerin, üstteki (A-E) çizgiye düşey uzaklığı	109,09
*Diferansiyel Gelişim Algoritması parametreleri: NP = 50 ; CR = 0,8 ; F = 0,8 ve $G_{maks} = 1000$ olarak seçilmiştir.			

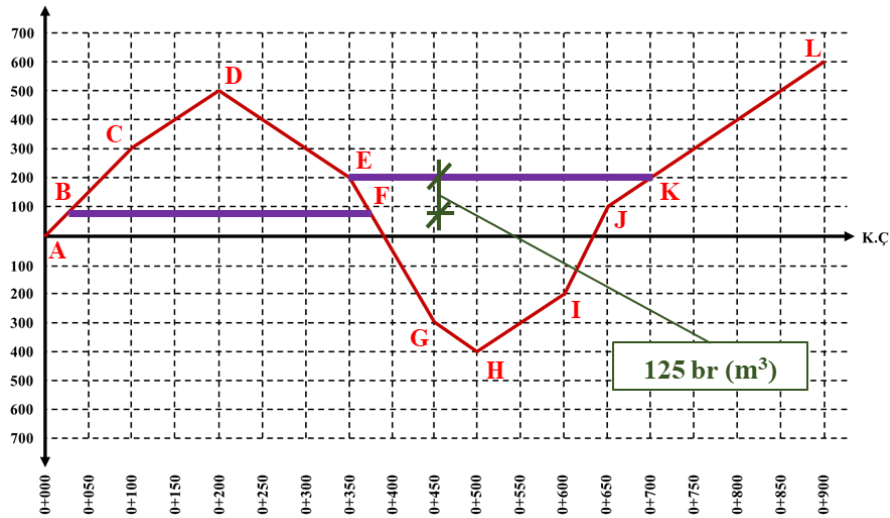
Tablo 4' den, yeni optimum taşıma mesafesinin 331,82 metre olarak elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, yeni dağıtma çizgilerinin de, karşılaştırma çizgisinin 109,09 br ( $m^3$ ) aşağısında bulunması gerektiği söylenebilir. Örnek 1 için, dağıtma çizgilerinin yeniden çizilmesi durumunda elde edilen kütleler diyagramı ve dağıtma işlemlerini gösteren şematik boykesit Şekil 14' de sunulmaktadır.



Şekil 14. Örnek 1 için Girişimin Önlenmesi ile Elde Edilen Kütleler Diyagramı ve Şematik Boykesit (Mass Diagram Obtained by Prevention of Overlapping and Schematic Cross-Section for Sample 1)

Şekil 14’ den de görüldüğü üzere, Örnek 1 için  $l_m=331,82$  metre olması durumunda girişim ortadan kaldırılabilmektedir.

- **Örnek 2:** Örnek 2 için, kütleler diyagramı üzerinde optimum taşıma mesafelerinin belirtildiği ve girişim durumunun gözlemlendiği noktalar Şekil 15’ de gösterilmektedir.



Şekil 15. Örnek 2 için Optimum Taşıma Mesafesi Çizgilerinin Lokasyonları (Locations of Optimum Hauling Distance Lines for Sample 2)

Şekil 15’ den de görüldüğü üzere, Örnek 2 için optimum taşıma mesafesi çizgileri B-F ve E-K noktaları arasında bulunmaktadır. Bölüm 4’ de de belirtildiği üzere, B-F ve E-K arasındaki düşey mesafe de  $125 \text{ br (m}^3\text{)}$  olarak hesaplanmıştır. Burada, yeniden belirlenecek olan optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ ) değerinin 350 metrenin altında olacağı açıktır. Bununla birlikte, optimum taşıma mesafesini temsil eden sembolik çizgiler de  $125 \text{ br (m}^3\text{)}$ ’ lik düşey

mesafe üzerinde bir noktada yerleştirilmelidir. Bu durumda, B-F noktaları arasındaki çizgi yukarı doğru, E-K noktaları arasındaki çizgi ise aşağı doğru hareket edecektir. B-F noktaları arasındaki çizginin yeni uzunluğu belirlenirken A-C ve E-G çizgilerinin, E-K noktaları arasındaki çizginin yeni uzunluğu belirlenirken ise E-G, I-J ve J-K çizgilerinin eğimlerinden yararlanılmalıdır.

Bu bilgiler ışığında, B-F arasındaki çizginin, B-F ve E-K çizgileri arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren matematiksel ifade için şunlar söylenebilir:

- A-C çizgisinin eğimini gösteren açı  $\alpha$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\alpha = 300/100 = 3,0000$ ); toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede B-F çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot\alpha$  kadardır.
- E-G çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\beta = 500/100 = 5,0000$ ); toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede B-F çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot\beta$  kadardır.
- Bu durumda, B-F arasındaki çizgi matematiksel olarak:  $U_{B-F} = 350 - (x \times \cot\alpha) - (x \times \cot\beta)$  şeklinde ifade edilmektedir.

E-K arasındaki çizginin, B-F ve E-K çizgileri arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren matematiksel ifade için ise iki farklı durum söz konusudur ve şunlar söylenebilir:

➤ Eğer  $(125 - x) \leq 100$ ;

- E-G çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\beta = 500/100 = 5,0000$ ); toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede E-K çizgisinden eksilen bölüm  $(125 - x) \times \cot\beta$  kadardır.
- J-L çizgisinin eğimini gösteren açı  $\phi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\phi = 500/250 = 2,0000$ ); toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede E-K çizgisinden eksilen bölüm  $(125 - x) \times \cot\phi$  kadardır.
- Bu durumda, E-K arasındaki çizgi uzunluğu  $U_{E-K} = 350 - ((125 - x) \times \cot\beta) - ((125 - x) \times \cot\phi)$  şeklinde ifade edilmektedir.

➤ Eğer  $(125 - x) > 100$ ;

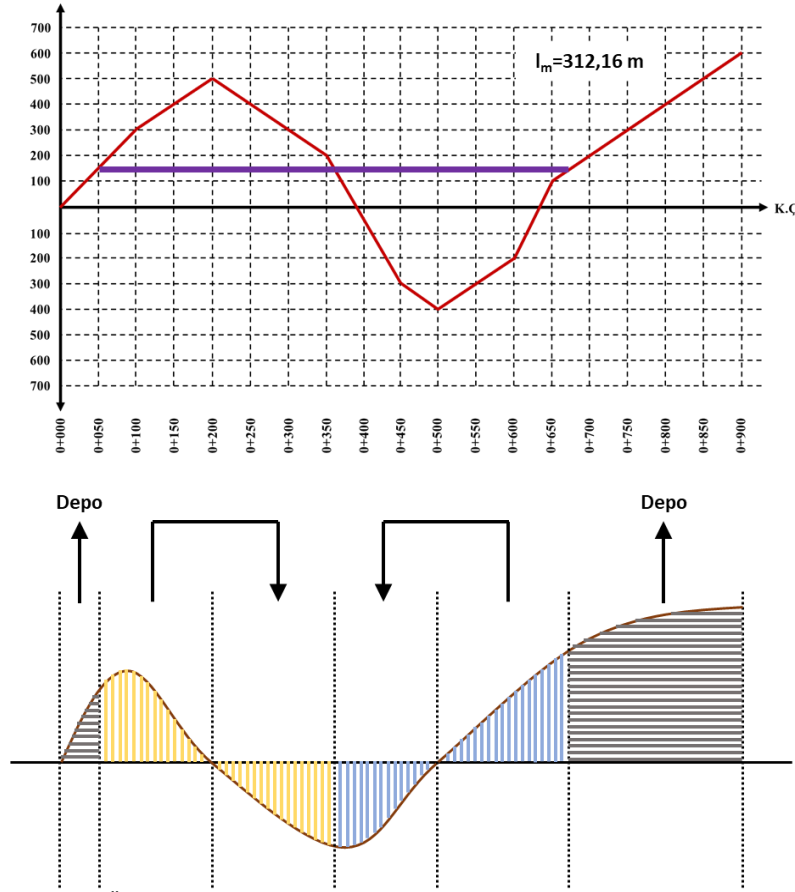
- E-G çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\beta = 500/100 = 5,0000$ ); toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede E-K çizgisinden eksilen bölüm  $(125 - x) \times \cot\beta$  kadardır.
- J-K arasındaki yatay mesafeden dolayı, toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede 50 metre' lik bir eksilme olacaktır.
- I-J çizgisinin eğimini gösteren açı  $\varphi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan\varphi = 300/50 = 6,0000$ ); toplam 125 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede E-K çizgisinden eksilen bölüm  $(x - 100) \times \cot\varphi$  kadardır.
- Bu durumda, E-K çizgi uzunluğu,  $U_{E-K} = 350 - ((125 - x) \times \cot\beta) - (50) - ((x - 100) \times \cot\varphi)$  şeklinde ifade edilmektedir.

B-F ve E-K çizgi uzunlukları için matematiksel ifadelerin elde edilmesinin ardından, öncelikli olarak, Örnek 1' de belirtilen adımlar takip edilerek, optimizasyon probleminin karar değişkeni, kısıtı ve amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Daha sonra ise probleme ait karar değişkeni, kısıt ve amaç fonksiyonu göz önünde bulundurularak, problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Örnek 2 için, oluşturulan optimizasyon problemi ve analiz sonuçları Tablo 5' de detaylı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Örnek 2 için Oluşturulan Optimizasyon Problemi ve Analiz Sonuçları (Created Optimization Problem and Analyses Results for Sample 2)

Oluşturulan Optimizasyon Problemi		Analiz Sonuçları	
Amaç fonksiyonu	$f = \min( U_{B-F} - U_{E-K} )$	Optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ )	312,16
Karar değişkeni (x)	$0 \leq x \leq 125$	Çizgilerin alttaki (B-F) çizgiye düşey uzaklığı	70,95
*Diferansiyel Gelişim Algoritması parametreleri: NP=50 ; CR=0,8 ; F=0,8 ve $G_{maks} = 1000$ olarak seçilmiştir.			

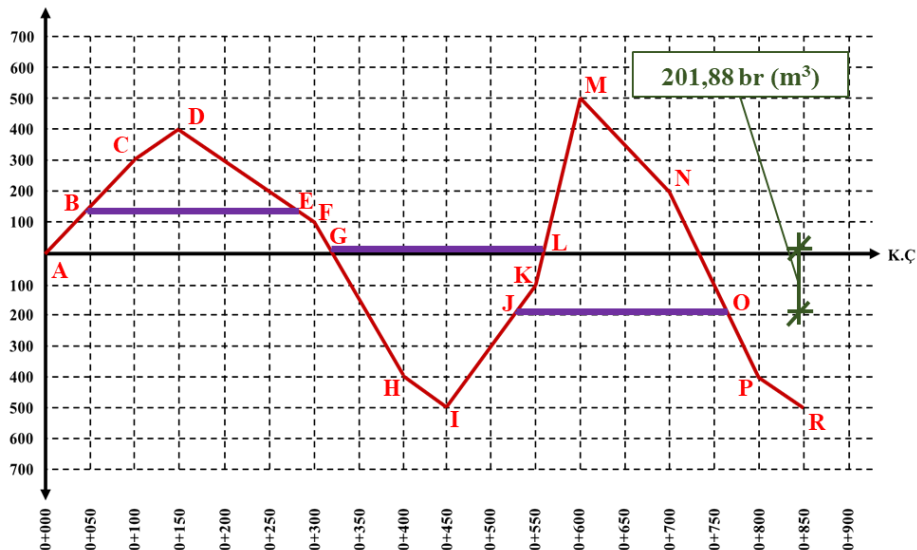
Tablo 5’ den görüldüğü üzere, yeni optimum taşıma mesafesi 312,16 metre olarak elde edilmiştir. Ayrıca, yeni dağıtma çizgilerinin de, B-F noktalarından 70,95 br (m<sup>3</sup>) ve karşılaştırma çizgisinden ise 145,95 br (m<sup>3</sup>) yukarıya yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Örnek 2 için, dağıtma çizgilerinin yeniden çizilmesi durumunda elde edilen kütleler diyagramı ve dağıtma işlemlerini gösteren şematik boykesit Şekil 16’ da sunulmaktadır.



Şekil 16. Örnek 2 için Girişimin Önlenmesi ile Elde Edilen Kütleler Diyagramı ve Şematik Boykesit (Mass Diagram Obtained by Prevention of Overlapping and Schematic Cross-Section for Sample 2)

Şekil 16’ dan,  $l_m=312,16$  metre olması durumunda girişimin ortadan kaldırılabilirdiği açık bir şekilde görülmektedir.

- **Örnek 3:** Örnek 3 için, kütleler diyagramı üzerinde optimum taşıma mesafelerinin gösterildiği ve girişim durumunun gözlemlendiği noktalar Şekil 17’ de sunulmaktadır.



Şekil 17. Örnek 3 için Optimum Taşıma Mesafesi Çizgilerinin Lokasyonları (Locations of Optimum Hauling Distance Lines for Sample 3)

Örnek 3 için optimum taşıma mesafesi çizgileri; 1. tepede B-E, vadide G-L ve 2. tepede de J-O noktaları arasında bulunmaktadır. Daha önce (Bölüm 4) de belirtildiği üzere, burada yalnızca vadi ve 2. tepedeki çizgilerde girişim söz konusudur. Bu yüzden, Örnek 3 kapsamında yalnızca bu durumun düzeltilmesi gerekmektedir. Vadideki (G-L arasındaki) çizginin karşılaştırma çizgisinden 5,88 br ( $m^3$ ) yukarıda, 2. tepedeki çizginin de karşılaştırma çizgisinden 196 br ( $m^3$ ) aşağıda olduğu bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında aradaki düşey mesafenin 201,88 br ( $m^3$ ) olduğu söylenebilir. Başlangıçtaki optimum taşıma mesafesi ( $l_m$ ) 240 metre elde edildiği için, girişimin meydana geldiği vadi ve 2. tepedeki mesafelerin 240 metreden daha düşük olması gerekmektedir. Ayrıca, vadi ve 2. tepede, optimum taşıma mesafesini temsil eden sembolik çizgiler de 201,88 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafe üzerinde bir noktada yerleştirilmelidir. Bu durumda, G-L noktaları arasındaki çizgi aşağı doğru, J-O noktaları arasındaki çizgi ise yukarı doğru hareket edecektir. G-L noktaları arasındaki çizginin yeni uzunluğu belirlenirken F-H, I-K ve K-M çizgilerinin, J-O noktaları arasındaki çizginin yeni uzunluğu belirlenirken ise I-K, K-M ve N-P çizgilerinin eğimlerinden yararlanılmalıdır.

G-L arasındaki çizginin, G-L ve J-O çizgileri arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren matematiksel ifade için şunlar söylenebilir:

- Eğer  $x \leq 105,88$  ;
- F-H çizgisinin eğimini gösteren açı  $\alpha$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \alpha = 500/100 = 5,0000$ ); toplam 201,88 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede G-L çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot \alpha$  kadardır.
- K-M çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \beta = 600/50 = 12,0000$ ); toplam 201,88 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede G-L çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot \beta$  kadardır.
- Bu durumda, G-L arasındaki çizgi matematiksel olarak:  $U_{G-L} = 240 - (x \times \cot \alpha) - (x \times \cot \beta)$  şeklinde ifade edilmektedir.
- Eğer  $x > 105,88$  ;
- F-H çizgisinin eğimini gösteren açı  $\alpha$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \alpha = 500/100 = 5,0000$ ); toplam 201,88 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede G-L çizgisinden eksilen bölüm  $x \times \cot \alpha$  kadardır.
- K-M çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \beta = 600/50 = 12,0000$ ); 105,88 br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede G-L çizgisinden eksilen bölüm  $105,88 \times \cot \beta$  kadardır.
- I-K çizgisinin eğimini gösteren açı  $\phi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \phi = 400/100 = 4,0000$ ); 105,88 br ( $m^3$ )' lik düşey kısımdan sonraki mesafede G-L çizgisinden eksilen bölüm  $(x - 105,88) \times \cot \phi$  kadardır.
- Böylece, G-L çizgi uzunluğu:  $U_{G-L} = 240 - ((x \times \cot \alpha) - (105,88 \times \cot \beta) - ((x - 105,88) \times \cot \phi))$  şeklinde ifade edilmektedir.

Benzer şekilde, J-O arasındaki çizginin, G-L ve J-O çizgileri arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren matematiksel ifade için de şunlar söylenebilir:

- Eğer  $(201,88 - x) \leq 96,00$  ;
- I-K çizgisinin eğimini gösteren açı  $\phi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \phi = 400/100 = 4,0000$ );  $(201,88 - x)$  br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede J-O çizgisinden eksilen bölüm  $(201,88 - x) \times \cot \phi$  kadardır.
- N-P çizgisinin eğimini gösteren açı  $\varphi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \varphi = 600/100 = 6,0000$ );  $(201,88 - x)$  br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede J-O çizgisinden eksilen bölüm  $(201,88 - x) \times \cot \varphi$  kadardır.
- Bu durumda J-O çizgi uzunluğu:  $U_{J-O} = 240 - ((201,88 - x) \times \cot \phi - (201,88 - x) \times \cot \varphi)$  şeklinde ifade edilebilir.
- Eğer  $(201,88 - x) > 96,00$  ;
- K-M çizgisinin eğimini gösteren açı  $\beta$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \beta = 600/50 = 12,0000$ );  $(105,88 - x)$  br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede 200 metrelik yatay mesafeden (0+550 ve 0+750 arası) eksilen bölüm  $(105,88 - x) \times \cot \beta$  kadardır.
- N-P çizgisinin eğimini gösteren açı  $\varphi$  ile ifade edildiğinde ( $\tan \varphi = 600/100 = 6,0000$ );  $(105,88 - x)$  br ( $m^3$ )' lik düşey mesafede 200 metrelik yatay mesafeden (0+550 ve 0+750 arası) eksilen bölüm  $(105,88 - x) \times \cot \varphi$  kadardır.
- Bu durumda J-O çizgi uzunluğu:  $U_{J-O} = 200 - ((105,88 - x) \times \cot \beta - (105,88 - x) \times \cot \varphi)$  şeklinde ifade edilebilir.

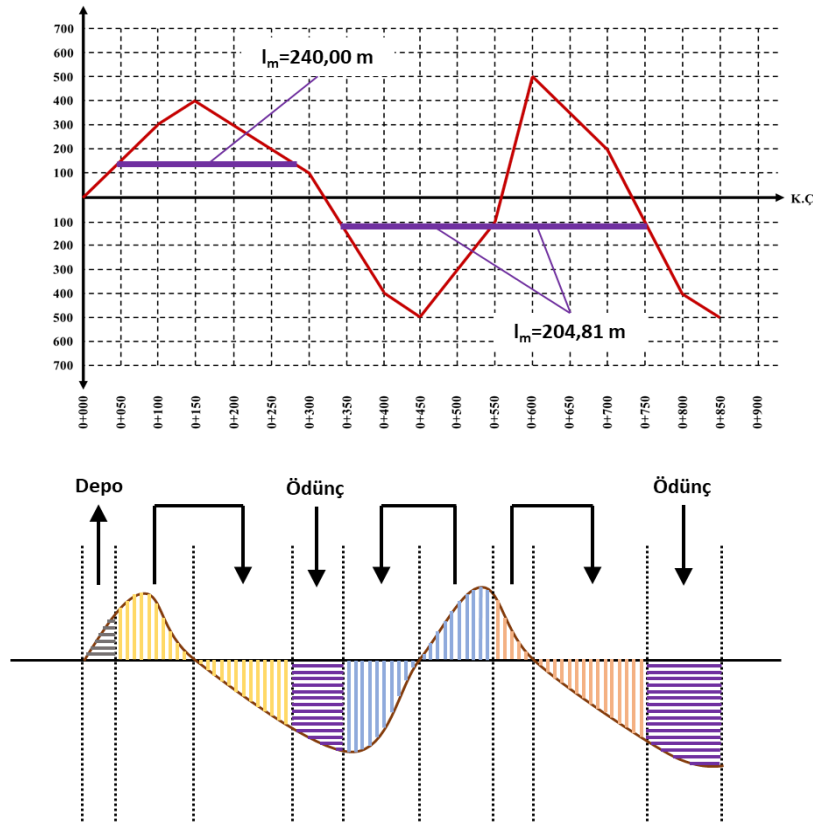


G-L ve J-O çizgi uzunlukları için matematiksel ifadelerin elde edilmesinin ardından, öncelikli olarak, önceki örneklerde de olduğu gibi, optimizasyon probleminin karar değişkeni, kısıtı ve amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Daha sonra ise probleme ait karar değişkeni, kısıt ve amaç fonksiyonu göz önünde bulundurularak, problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Örnek 3 için, oluşturulan optimizasyon problemi ve analiz sonuçları Tablo 6' da detaylı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 6.** Örnek 3 için Oluşturulan Optimizasyon Problemi ve Analiz Sonuçları (Created Optimization Problem and Analyses Results for Sample 3)

Oluşturulan Optimizasyon Problemi		Analiz Sonuçları	
Amaç fonksiyonu	$f = \min( U_{G-L} - U_{J-O} )$	Optimum taşıma mesafesi ( $I_m$ )	204,81
Karar değişkeni (x)	$0 \leq x \leq 201,88$	Çizgilerin üstteki (G-L) çizgiye düşey uzaklığı	117,42
*Diferansiyel Gelişim Algoritması parametreleri: NP = 50; CR = 0,8; F = 0,8 ve $G_{maks} = 1000$ olarak seçilmiştir.			

Tablo 6' dan görüldüğü üzere, Örnek 3' de vadi ve 2. tepe kısmı için optimum taşıma mesafesinin yeni değeri 204,81 metre olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, vadi ve 2. tepe kısmındaki yeni dağıtma çizgilerinin, G-L noktalarından 117,42 br ( $m^3$ ), karşılaştırma çizgisinden de 111,54 br ( $m^3$ ) aşağıya yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Örnek 3 için, dağıtma çizgilerinin yeniden çizilmesi durumunda oluşan kütleler diyagramı ve dağıtma işlemlerini gösteren şematik boykesit Şekil 18' de sunulmaktadır.



**Şekil 18.** Örnek 3 için Girişimin Önlenmesi ile Elde Edilen Kütleler Diyagramı ve Şematik Boykesit (Mass Diagram Obtained by Prevention of Overlapping and Schematic Cross-Section for Sample 3)

Şekil 18' den de görüldüğü üzere, vadi ve 2. tepe için yeni optimum taşıma mesafesi ( $I_m$ ) 204,81 metre elde edilerek girişim durumu ortadan kaldırılmıştır. 1. tepe ve vadi arasında herhangi bir girişim durumu söz konusu olmadığı için 1. tepedeki optimum taşıma mesafesinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

## 6. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, toprak dağıtımı için kullanılan Genel Yöntem’ de özel bir durum teşkil eden “girişim” oluşumu ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, ardışık bir tepe ve bir vadiden veya bir vadi ve bir tepeden oluşan kütleler diyagramında, girişim oluşması durumunda, en uygun taşıma mesafelerinin yeniden belirlenmesi ve girişimin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, birbirinden farklı üç örnek ele alınmış ve literatürdeki Genel Yöntem hesap yaklaşımları kullanılarak Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için optimum taşıma mesafeleri sırasıyla 400 m., 350 m. ve 240 m. olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, en ekonomik (optimum) toprak dağıtımının gerçekleştirilebilmesi için hesaplanan bu uzunluklar kütleler diyagramları üzerine yerleştirilmiş ve her üç örnekte de girişimin meydana geldiği görülmüştür. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, her bir örnek için optimum taşıma mesafeleri, kütleler diyagramlarına ait matematiksel, geometrik ve trigonometrik veriler göz önünde bulundurularak Diferansiyel Gelişim Algoritması ile yeniden belirlenmiştir. Analiz sonuçları ve şematik boykesitler dikkatle incelendiğinde, Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için optimum taşıma mesafelerinin sırasıyla 331,82 m., 312,16 m. ve 204,81 m. (Örnek 3 için 1. vadi ve 2. tepe kesiminde) elde edilmesi durumunda, üç örnekte de girişimin önlenilebileceği ve en ekonomik toprak dağıtımının gerçekleştirilebileceği açık bir şekilde görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar ışığında, optimizasyon tabanlı çözüm yaklaşımının, birçok mühendislik probleminin çözümünde olduğu gibi, toprak işlerinde meydana gelebilen girişimin önlenmesinde de etkin bir çözüm yaklaşımı olarak kullanılabileceği söylenebilir. Daha sonraki çalışmalarda, bir kütleler diyagramında birden fazla kesimde meydana gelen girişim durumunun optimizasyon tabanlı çözümünün ele alınmasının çalıştırmayı geliştirmeye yönelik önemli bir adım olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, veri girişi kullanıcı tarafından yapılabilen kütleler diyagramında en uygun taşıma mesafelerinin kolay bir şekilde belirlenebilmesine yönelik grafiksel bir arayüz (Graphical User Interface-GUI) oluşturulması planlanmaktadır.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Ali, M. M., Törn, A., 2004. Population Set-Based Global Optimization Algorithms: Some Modifications and Numerical Studies, *Computers & Operations Research*, 31, 1703-1725.
- Bakır, D., 2017. Toprak İşleri Şantiyesinde Kazı, Yükleme ve Taşıma Maliyetlerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 72 s.
- Baskan, O., 2019. A Multiobjective Bilevel Programming Model for Environmentally Friendly Traffic Signal Timings, *Advances in Civil Engineering*, Article ID: 1638618, 1-13.
- Banks, J. H., 2010. *Introduction to Transportation Engineering*, New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- Çakıcı, Z., 2020. Sinyalize Kavşaklar için Optimizasyon Tabanlı Trafik Yönetim Modeli. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 173 s.
- Elci, A., Ayvaz, M. T., 2014. Differential-Evolution Algorithm Based Optimization for the Site Selection of Groundwater Production Wells with the Consideration of the Vulnerability Concept, *Journal of Hydrology*, 511, 736-749.
- Erselcan, N., 1994. Toprak Dağıtımı için Bir Lineer Programlama Yöntemi, *Teknik Dergi*, 5 (22), 763-769.
- Evren, G., 2001. *Toprak İşleri*, İstanbul: Birsan Yayınevi Ltd. Şti.
- Göktepe, A. B., Lav, A. H., Altun, S., Altıntaş, G., 2008. Fuzzy Decision Support System to Determine Swell/Shrink Factor Affecting Earthwork Optimization of Highways, *Mathematical and Computational Applications*, 13 (1), 61-70.
- Kamal, M., İnel, M., Optimum Design of Reinforced Concrete Continuous Foundation Using Differential Evolution Algorithm, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44 (10), 8401-8415.
- Karaboğa, D., 2014. *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Keskintürk, T., 2006. Diferansiyel Gelişim Algoritması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 85-99.
- Khan, S. U., Qureshi, I. M., Zaman, F., Shoaib, B., Naveed, A., Basit, A., 2014. Correction of Faulty Sensors in Phased Array Radars Using Symmetrical Sensor Failure Technique and Cultural Algorithm with Differential Evolution, *The Scientific World Journal*, Article ID: 852539, 1-10.
- Li, X-Q., Wang, Z., Fu, L-H., 2016. A Laser-based Measuring System for Online Quality Control of Car Engine Block. *Sensors*, 16 (11), 1877.
- Liu, H., Cai, Z., Wang, Y., 2010. Hybridizing Particle Swarm Optimization with Differential Evolution for Constrained Numerical and Engineering Optimization, *Applied Soft Computing*, 10 (2), 629-640.
- Ögüt, K. S., 2005. New Approaches for the Earth Distribution Method. *Journal of Transportation Engineering*, 131 (4), 294-301.
- Seçkin, İ., 2003. *Toprak İşleri ve Demiryolu*, İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Sriboonchandr, P., Kriengkarakot, N., Kriengkarakot, P., 2019. Improved Differential Evolution Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling Problems. *Mathematical and Computational Applications*, 24 (3), 80.

- Storn, R., Price, K., 1997. Differential Evolution a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, *Journal of Global Optimization*, 11 (4), 341-359.
- Şahinkaya, O., Türk-Hırvat Karayolları Teknik Şartnamelerinin Toprak İşleri Açısından Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 99 s.
- Tan, E., Sadak, D., Ayvaz, M. T., 2020. Kanalizasyon Sistemlerinin Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanılarak Optimum Tasarımı, *Teknik Dergi*, 31 (5), 10229-10250.