

# Trafik Verilerine Göre Afetlerde Bölgesel Hizmet Verebilecek İdeal Havalimanı Önerileri

Emre Demir<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 07190, Antalya.

## Özet

Bu çalışma, önceki benzer çalışmalardan üç ana yönden ayrılmaktadır. Birincisi, yöntem olarak diğerlerinden ayrılarak ülke çapında sadece tek bir lokasyondaki havalimanı tesisi değil kümeleme yöntemi uygulanarak bölgesel hizmet verebilecek en uygun tesisler tespit edilmiştir. İkincisi, önceki çalışmalarda İstanbul Havalimanı henüz hizmete girmediğinden dolayı değerlendirmeye alınmamışken, bu çalışmada optimizasyon hesaplarına dahil edilmiştir. Üçüncüsü, yeni durumun önceki çalışmalara nazaran daha güncel verilerle ve daha güncel bir optimizasyon yöntemi olan ağaç tohum algoritması kullanılarak optimum çözümler üretilmiştir. Trafik verileri, trafiğe dayalı ağırlık katsayıları ve ulaşım mesafelerinin elde edildiği konum verilerine dayanarak yapılan analizler sonucunda, toplam on altı havalimanı kendi bölgelerine, özellikle herhangi bir felaket sırasında veya sonrasında acil durumlarda, servis sağlayabilecek ideal havalimanları bu çalışmada ortaya çıkarılarak tavsiye edilmiştir. Bu araştırmanın önerileri doğrultusunda, herhangi bir acil durumda gerekli olan ve havayolu ile sağlanabilecek hizmetler sayesinde zaman ve gider kaybının azaltılması gibi amaçlar gözetilirken daha da önemlisi can kaybının en az düzeye indirilmesi konusunda ilerleme kaydedilmesi beklenmektedir.

## Anahtar Sözcükler

Hava Trafik Verileri, Ulaşım Ağı, Lokasyon Analizi, Kümeleme, Ağaç Tohum Algoritması, Afet

## Traffic Data Based Ideal Airport Suggestions Providing Regional Service in Disasters

### Abstract

This study differs from previous similar studies in three main directions. Firstly, the location of the most suitable facilities that can provide regional service were determined by applying clustering method. Thus, not only one airport facility in a single location serving across the country was determined, which separates this research from the others. Secondly, in the previous studies, Istanbul Airport was not taken into account because it has not been put into service. Therefore, this study takes that particular airport into consideration. Thirdly, optimum solutions for such new situation were produced with more up-to-date data and using a modern optimization method, the tree seed algorithm. As a result of the analyzes made based on traffic data, traffic-based weight coefficients and location data from which transportation distances were obtained, a total of sixteen ideal airports were recommended that can provide service to their regions, especially during emergencies or after any disaster. In accordance with the suggestions of this research, it is expected that progress will be made in minimizing the loss of time and expense, and especially minimizing the loss of life thanks to the services which can be provided by air transportation in any emergency.

### Keywords

Air Traffic Data, Transportation Network, Location Analysis, Clustering, Tree Seed Algorithm, Disaster

## 1. Giriş

Ulaşımında havacılık sektörü, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gelişmeye hızla devam etmektedir. Yük ve yolcu taşımacılığında büyük öneme sahip olan havacılığa olan talep her geçen gün artmaktadır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'ne (SHGM'ye) göre özellikle geçmişe göre daha fazla yolcu taşınması, ülkemizde havacılığa hemen hemen herkesin erişebilir hale geldiği gerçekliğini göstermektedir (SHGM 2020). Artan talep sonucu, havacılık sektöründeki olanaklar da giderek artmaktadır. Ayrıca gün geçtikçe ülkemizdeki havalimanlarını kullanan veya havalimanlarımıza inen ve kalkan uçak sayısı yükselmektedir. Her ne kadar havacılıktaki kurallar çok katı olsa da bir takım aksaklıklarla beraber irili ufaklı kazalar da yaşanabilmektedir (Uslu ve Dönmez 2017). Bu kazaların yanı sıra, bölgelerimizde yaşanabilen deprem, sel, yangın gibi doğal afetler sonucu kazazedelere ve bölgeye acil müdahale gerekliliği doğmaktadır (Günaydın vd. 2017; Usta vd. 2017; Macit 2019; Ekinci vd. 2020). Bu gibi durumlarda acil müdahale, parasal kayıpları en aza indirme amacı bulundurduğu kadar, en önemlisi yaralanmaları ve hatta ölümleri en az seviyeye indirme amacını gütmektedir.

Doğal afetlerde ve havayolu kazalarında kayıpları en aza indirmenin yollarından bir tanesi de doğal afet veya kaza sonrası hızlı müdahalelerdir. Hızlı bir şekilde sağlık, kurtarma veya mühendislik hizmeti sağlandığında kaybedilen zaman en aza indirilecek ve dolayısıyla kayıplar ve giderler düşecektir. Acil müdahale söz konusu olduğunda havayolu ulaşımı ve ülkemizdeki havalimanlarının özellikleri önemli bir yer tutmaktadır.

Kayıpları minimum seviyelere getirmek adına lokasyon analizleri yapılabilir. Örnek olarak, Demir ve Kockal (2019) çalışmasında finansal kayıpları en alt seviyede tutmak amacıyla tüm ulaşım ağına hizmet etmesi planlanan bir tesisin yeri saptanmıştır. Yapılan bir diğer çalışmada (Demir 2018a), havalimanlarının ihtiyaç oranlarını göz önünde bulundurarak ülke sınırları içinde kullanılabilir en uygun lokasyonlu havalimanını seçme konusunda analizler yapılmıştır. Çalışmada ülkemizdeki tüm havalimanlarına hizmet sağlayabilecek havalimanı, Weber problemi doğrultusunda Weizsfeld yöntemi kullanılarak İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı olarak önerilmiştir. Ancak, ülkemizin batıdan doğuya uzanan coğrafi şekli ulaşım konusunda zaman kavramını gözler önüne sermektedir. Bu çalışma, Demir (2018a) çalışmasının bir devamı veya alternatifi niteliğinde düşünülebilir. Bu doğrultuda, bu çalışmanın amacı temel olarak üç ana unsura dayanmaktadır: 1) yöntem olarak ülke çapında sadece tek bir havalimanı değil kümeleme yapılarak bölgesel hizmet verecek havalimanlarının tespit edilmesi gerektiği, 2) önceki çalışmada İstanbul Havalimanı henüz hizmete girmemişken, bu çalışmada değerlendirmeye alınması, 3) yeni durumun daha güncel verilerle birlikte daha güncel optimizasyon yöntemiyle çözümlenmesi gerektiği düşünülerek analizler yapılacaktır.

Açıklamak gerekirse, birincisi, Demir (2018a) çalışmasında olduğu gibi ülke çapında bir adet havalimanının acil durumlarda hizmet için atanması ile birlikte, kendisine göreceli olarak uzakta bulunan bir havalimanına hizmet sağlaması epey zaman alabilecektir. Dolayısıyla bölgesel olarak hizmet vermek, bahse konu hizmet ulaştırmada zaman kaybını daha aza indirebileceğinden ve söz konusu ulaştırma zamanını kısaltmak olduğundan dolayı, bölgesel hizmet sağlayabilecek havalimanlarının tespitinin de önem büyüktür. İkinci olarak, hatırladığı üzere 2019'un Nisan ayında Atatürk Havalimanı'ndan İstanbul Havalimanı'na geçiş yapılarak, İstanbul Havalimanı'nın tam bir şekilde çalışmaya başlaması sağlanmıştı. Kısacası, Türkiye'nin en meşgul havalimanının lokasyonu değişmiş oldu ve kapasitesi daha yüksek olan bir havalimanı kullanılmaya başlandı. Bu yeni durumda sadece İstanbul ili bazında havalimanını kullanıcı sayısı değişmemiş, aynı zamanda da ülkesel boyutta acil durumlarda yardım sağlayabilecek havalimanlarının lokasyon analizi gözden geçirilmesinin önü açılmıştır. Son olarak, ülke ve dünya ulaşımına katkı sağlayacak büyük bir havalimanının kullanılmaya başlanması yanında güncel havalimanı uçak trafiği verileri de toplanmaya başlanmıştır. Uçak trafiği verileri bir havalimanının ne kadar kullanımda olduğunu göstererek analiz içindeki önem katsayısını, bir başka deyişle önem ağırlığını belirtmektedir. Bununla birlikte, ülkemizdeki üniversitelerde geliştirilen optimizasyon modelleri ise akademide ve sektörde kullanıma sunulmuştur. Bu çalışmanın analizinde güncel verilerle birlikte, güncel optimizasyon olanaklarının kullanılması, acil durumlarda ihtiyaç temininin veya ulaşımının daha süratli yapılması yanında güncel resmi göz önüne sererek hem bölgesel hem de ülkesel kalkınmaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu metnin devamı şöyle planlanmıştır. İkinci bölümde verilerin toplanması ve özellikleri ile birlikte kullanılacak olan yöntemler tanıtılmıştır. Metnin üçüncü bölümünde, yapılan analizler doğrultusunda karşımıza çıkan bulgular sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar çerçevesinde tartışma yapıp genel bir değerlendirme öne sürülmüştür.

## 2. Veri ve Yöntem

Bu bölümde veriler iki ana başlık altında incelenecektir. İlki coğrafi verilerin aktarılması ve ikincisi ulaşım verilerinin aktarılmasıdır. Daha sonra bu başlıklar altında ve sunulan veriler doğrultusunda, bu çalışmada kullanılacak olan işlemler ve yöntemler açıklanmıştır.

### 2.1. Coğrafi Verilerin Aktarılması

Havalimanlarının lokasyon bilgileri bu çalışmanın analizinde büyük bir öneme sahiptir. Konumları bilinen havalimanları arasında bulunan uzaklıklar optimizasyon yönteminde kullanılacak olan ana değişkenler arasındadır. Bu doğrultuda ülkemizde sivil havacılıkta kullanılan toplam elli altı havalimanının coğrafi koordinat bilgileri araştırılmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) internet sitesi ülkemizin havalimanları hakkında havalimanlarının birçok bilgiyi paylaşmaktadır. Türkiye'deki bütün sivil havacılığa hizmet veren havalimanlarının derece, dakika, saniye cinsinden konum bilgilerini sunmaktadır (DHMİ 2020). Bazı havalimanlarının konum bilgileri, mesela Aydın Çıldır Havalimanı ve Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı gibi, için internet arama motoru Google® kullanılmıştır. Tespit edilen havalimanı coğrafi konumları, küresel bir coğrafi konumlandırma sistemi olan enlem ve boylam cinsinden meydana gelmiştir. Ancak, bu makalede kullanılacak olan eniyileme yöntemi düzleme dayalı bir sistemde işlem yapacağından dolayı bir düzlem koordinat sistemi oluşturulması zorunluluk haline gelmiştir. Bundan dolayı, tüm havalimanlarının koordinatları yatay bir düzleme aktarılması amacıyla projeksiyon veya izdüşümü değişikliğine gidilerek, haritaların düzleme dayalı olanlarında dünya çapında genellikle kullanılabilen Mercator projeksiyonu optimizasyon işlemlerinde kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Gezegenimizin üstlerden basık ve yanlardan şişkin geoit adı verilen özel şekilden dolayı, küresel konumlandırmalarda tespit edilen enlem ve boylam koordinatlarını Mercator projeksiyonunda geometrik olarak konumlandırmak tam anlamıyla mümkün olmasa da; Snyder (1987), Demir (2018b), Demir ve Kockal (2019)

çalışmalarında bulunan ve halen kullanımda olan aşağıdaki (1) ve (2) numaralı denklemler vasıtasıyla işlemlerimizi iletmemiz olanak dahilindedir.

$$x = \pi R(\Phi^\circ - \Phi_0^\circ)/180^\circ \quad (1)$$

$$y = R \ln \tan(45^\circ + \lambda^\circ/2) \quad (2)$$

burada;

- $x$ : Dikdörtgenel düzlem sisteminde yatay doğrultudaki konum,
- $y$ : Dikdörtgenel düzlem sisteminde düşey doğrultudaki konum,
- $R$ : Çizilen harita ölçeğine göre kürenin yarıçapı,
- $\Phi^\circ$ : Enlem değeri, derece cinsinden,
- $\Phi_0^\circ$ : Sıfır enlem değeri (ekvator), derece cinsinden
- $\lambda^\circ$ : Boylam değeri, derece cinsinden olarak belirlenmiştir.

(1) ve (2) numaralı bağıntılar ve eşitliklerle birlikte verilen değişkenler doğrultusunda dikdörtgen biçimi olan  $x$  ve  $y$  koordinatları oluşturulmuştur. Bütün havalimanlarının coğrafi konum verileri bu denklemlere göre düzlem koordinat sistemine çevrilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

## 2.2. Ulaşım Verilerinin Aktarılması

Trafik verileri bu çalışmanın en önemli unsurlarındandır. Havalimanlarını kullanan tüm uçak sayı verileri düzenli bir şekilde aylık olarak toplayan ve araştırmalara sunan DHMİ internet sitesi sayesinde trafik verilerine ulaşılmıştır (DHMİ 2020). Çalışmanın giriş kısmında da belirtildiği gibi güncellenen trafik verileri sayesinde en güncel ve en uygun lokasyonların belirlenmesinin daha sağlıklı olması düşünülmektedir. İstanbul Havalimanı'nın tam olarak hizmet verme zamanından, bir başka deyişle 2019 yılının Mayıs ayından, İçişleri Bakanlığı'nın yeni tip koronavirüs (COVID-19) salgını karşısında aldığı tedbirlere kadar olan süre incelenmeye alınmıştır. Kısacası, 2019 yılının Mayıs ayından 2020 yılının Şubat ayına kadar olan on aylık süre değerlendirme kapsamındadır. Bu on aylık sürede değerlendirme kapsamındaki elli altı havalimanında verilen hizmetlerin normal şartlar altında yapıldığı varsayılarak bu süredeki trafik verileri analizlere dahil edilmiştir. Trafik verileri, Visual Basic ve Matlab gibi çeşitli analiz programlarında girdi olarak kullanılabilmesi için çeşitli depolama formatı versiyonlarıyla kaydedilmiştir.

Trafik verileriyle ilgili bu çalışmada önemli olan başka bir özellik ise, havalimanını kullanan tüm uçak sayısı aynı zamanda o havalimanının önemini veya çekiciliğini, diğer bir deyişle önem katsayısını veya önem ağırlığını temsil etmesidir. Her bir aylık uçak sayısı, spesifik bir havalimanının ağırlık katsayısına katkı sağlamaktadır. Belli bir havalimanı için toplamda on aylık olan trafik verileri birbirleriyle toplanarak, o havalimanının kendine özgü ağırlık katsayısını oluşturmaktadır. Böylelikle optimizasyonda kullanılacak olan ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Örnek olarak Tablo 1'de gösterilen bazı havalimanları ve 2019 yılı Mayıs ayı ile 2020 yılı Şubat ayı arasında kalan on aylık süreye dair toplamda on adet havalimanının uçak trafiği verilerini gösterilmektedir. Tablo 1'in son sütununda ise optimizasyon yönteminde kullanılacak olan havalimanlarının ağırlık katsayılarını belirleyen toplam on aylık trafik verileri, örnek on havalimanı için, sunulmuştur.

Tablo 1: On adet havalimanının aylık uçak trafiği verileri (DHMİ 2020)

Havalimanı	Veri Dönemi										On aylık toplam
	05/19	06/19	07/19	08/19	09/19	10/19	11/19	12/19	01/20	02/20	
İstanbul H.	65.666	103.667	143.471	184.106	222.435	260.382	295.163	329.799	35.089	66.649	1.706.427
İst. Atatürk H.	118.241	120.836	123.741	126.694	130.229	132.946	135.637	138.239	2.492	4.769	1.033.824
S. Gökçen H.	91.971	112.715	134.210	156.106	176.787	197.228	216.124	235.072	18.942	36.576	1.375.731
Esenboğa H.	42.533	50.780	59.578	68.292	76.417	84.564	92.134	99.216	7.537	14.579	595.630
Adnan M. H.	31.380	38.979	47.456	56.220	63.918	71.206	77.271	83.192	6.114	11.836	487.572
Antalya H.	57.182	84.006	113.645	144.039	170.694	194.589	204.646	211.936	7.740	14.731	1.203.208
Dalaman H.	11.382	17.243	23.680	30.277	35.831	39.568	41.223	42.521	1.532	2.897	246.154
Bodrum H.	7.111	12.273	18.596	25.198	29.845	32.626	33.959	34.974	1.001	1.909	197.492
Adana H.	16.768	20.222	23.764	27.233	30.677	34.141	37.603	40.680	3.320	6.435	240.843
Trabzon H.	9.101	11.876	14.971	18.120	20.470	22.393	24.165	25.930	1.769	3.275	152.070

### 2.2.1. Kümeleme İşlemi

Coğrafi verilerin aktarılmasının ardından trafik verileri de hesaplama dahil edilmiştir. Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi de ülke çapına servis verecek sadece bir adet lokasyon bulmak yerine, ilgili ağ noktalarını bir takım kriterlere göre kümeleyerek her kümeye hizmet verecek birer lokasyon tespit etmektir. Bu işlem amacıyla, ülkedeki elli beş havalimanına kümeleme işlemi uygulanmıştır. Her bir havalimanının coğrafi konumları belli olduğundan dolayı ve her bir coğrafi koordinatın dikdörtgen biçimi olan  $x$  ve  $y$  koordinatlarına dönüştürülmesinin ardından, güncel bir çalışmadaki kümeleme yöntemi kullanıma uygun hale gelmiştir (Marcon 2020). Bunun doğrultusunda çalışmamızda,  $x$  ve  $y$  koordinatları içeren bir veri takımını mesafe tabanlı kümeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem birtakım veri girdileri gerektirmektedir. Veri girdilerinden birincisi,  $x$  ve  $y$  koordinatlarını içeren verilerdir. Bunlar coğrafi lokasyonları temsil etmektedir. Çalışmamızda da tüm havalimanlarının coğrafi konumları,  $x$  ve  $y$  cinsinden girdiler şeklinde formül (1) ve (2) kullanılarak tespit edilmiştir. Kümeleme işlemimizdeki girdilerden ikincisi, kümeleme sırasındaki ağ noktaları arasındaki maksimum mesafe, bir başka deyişle eşik değeridir. Çalışmamızda bu mesafe 100 birim olarak girilmiştir. Bunun başlıca nedenleri şöyle açıklanabilir: Acil bir durumda hızlı ve etkili bir müdahale için gereken mesafenin -bir küme içerisindeki iki ağ noktası arası- çok uzun olmaması gerektiği düşünülmektedir. Aynı zamanda, ülke çapında çok fazla küme oluşmasını önlemek açısından eşik değerinin çok kısa bir mesafe olmaması gerektiği değerlendirilmektedir. Eşik değerinin çok kısa olduğu bir durum farz edelim. Bu durumda, ülke çapında çok sayıda küme oluşacak ve servis sağlayan havalimanı adedi artacağından maliyetler yükselecektir. Eşik değerinin göreceli kısa veya uzun olmasının etkileri gelecekte yapılması planlanan ayrı bir çalışmada değerlendirilecektir. Veri girdilerinden üçüncüsü, küme başına düşen minimum ağ noktası sayısıdır. Çalışmamızda, her kümede en az iki havalimanı olması öngörülmüştür. Bunun ana sebeplerinden bir tanesi, eğer küme içerisinde sadece bir tane havalimanı olursa sadece kendi bölgesine servis sağlayacağı anlamına gelmesidir. Maliyetleri azaltma doğrultusunda, ideal havalimanı olarak tavsiye edilen havalimanının sadece kendi bölgesine değil, diğer havalimanlarının da bulunduğu alanlara servis sağlaması adına küme içerisinde -ideal havalimanı dahil- en az iki havalimanı bulunması önerilmektedir. Kümeleme fonksiyonunda kullanılan girdilerden dördüncüsü ise metottur. Metot, varolan bir kümeye nokta eklerken mesafe hesaplama yöntemini belirler ve fonksiyonda birkaç şekilde kullanılabilir. Bunlardan bir tanesi 'point' yöntemidir ki eğer bir nokta küme içindeki herhangi bir noktaya eşik değeri kadar veya daha az uzaklıktaysa o nokta kümeye dahil edilir. Yapılan çalışmamızda, 'point' metodu kullanılarak küme içerisinde kalan ağ noktaları tespit edilmiştir. Bu metotun kullanılmasının nedeni şudur. Çalışmamızda toplam ağ noktası sayısı -yani toplam havalimanları- ve bunların lokasyonları sabittir. Ağımıza ağ noktaları eklenmesi -haricî havalimanları kurulması- maliyetleri çok fazla yükselteceğinden dolayı, ağımıza ek noktalar yerleştirmeden kümelemeyi gerçekleştiren 'point' metodu uygulamaya konmuştur. Özetlemek gerekirse bu kümeleme işleminde  $x$  ve  $y$  koordinatlarında ifade edilen bir dizi coğrafi noktalar değerlendirmeye alınarak, ağ noktaları arasındaki mesafeler ve fonksiyondaki eşik değerine göre, önceden küme sayısının bilinmesi gerekmez, kümeler meydana getirilmektedir.

### 2.2.2. Problem ve Ağaç Tohum Algoritması Yöntemi

Bu çalışmadaki amaç yöntem genel olarak şu şekilde değerlendirilebilir: En uygun  $(X, Y)$  koordinatlarını  $m(X, Y)$  değerini en az hale getirecek şekilde,  $X < x_k$ ,  $X > x_g$ ,  $Y < y_d$ ,  $Y > y_b$  şartlarını sağlayacak şekilde bul. Daha açık şekilde yansıtmak gerekirse aşağıdaki gibi amacımız gösterilebilir.

$$\text{Minimize } m(X, Y) = \sum_{i=1}^{n_h} a_i \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \quad (3)$$

burada;

- $m$ : mesafe değerini,
- $i$ : havalimanı indeksini,
- $n_h$ : havalimanı sayısını,
- $x_i$ : her bir havalimanının  $x$  koordinatını,
- $y_i$ : her bir havalimanının  $y$  koordinatını,
- $X$ : aday havalimanının  $x$  koordinatını,
- $Y$ : aday havalimanının  $y$  koordinatını,
- $a_i$ : havalimanı ağırlığını,
- $x_k$ : en kuzeyde bulunan havalimanının  $x$  koordinatını,
- $x_g$ : en güneyde bulunan havalimanının  $x$  koordinatını,
- $y_d$ : en doğuda bulunan havalimanının  $y$  koordinatını,
- $y_b$ : ise en batıda bulunan havalimanının  $y$  koordinatını temsil etmektedir.

Bu çalışmada sonuçları değerlendirmek için metasezgisel (üstsezgisel yöntemlerle yapılabilen) bir teknik olan ağaç tohum (AT) algoritması yöntemi dikkate alınmıştır. Bunun temel sebebi ise Tablo 2’de görüldüğü üzere, amacımızın açıklandığı bağıntı (3)’teki problemin AT yönteminin çalışma prensibine uyarlanmasıdır. Problemimizdeki aday havalimanı aynı zamanda AT yönteminin aday çözümü olmakla birlikte, AT yöntemindeki ağaç tohumun konumu havalimanı konumunu yansıtmaktadır (Tablo 2). Aynı zamanda, aday havalimanı yerleşiminin koordinatları ağaç tohum konumlarının koordinatlarıdır ve bunlar tasarım değişkenleridir. AT yönteminin performansı ise problemimizin amacı olan  $m$  değerini bulmaktır.

Tablo 2: Çalışmadaki problemin AT yöntemine uyarlanması

Problemdeki konu	AT yönteminde temsil edilen
Aday havalimanı	AT yönteminin aday çözümü
Havalimanı konumu	Ağaç tohumun konumu
Aday havalimanı yerleşiminin koordinatları ( $X, Y$ )	Ağaç tohum konumlarının koordinatları (tasarım değişkenleri)
$m$ değeri	AT yönteminin performansı (amaç)

Temel olarak, AT yönteminin çalışma prensibi kısaca şuna dayanmaktadır. Doğadaki ağaçlar tohumlarını dağıtarak bir bölgede üreme veya bir bölgede yayılma eğilimindedir. Bir takım stokastik (olasılıksal) doğa olayları yardımıyla tohumlar, oluştukları ana ağaçlardan daha başka ve geniş bölgelere taşınır. Böylece tohumlar kilometrelerce uzağa iletebilir. Ancak, yolculukları tamamlanan tohumların hepsi çimlenmeye veya büyümeye başlayamaz. Sadece, ideal koşullara sahip olanlar çimlenebilir. İşte AT algoritması bu tür doğa olaylarından esinlenmiştir (Kiran 2015). Birçok mühendislik problemini çözmek için AT yöntemi ve varyasyonları kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Aydoğdu 2017; Yıldırım ve Aydoğdu 2017; Uzun vd. 2019). Belirli parametrelerle modeller düzenlenmiş, optimizasyon teknikleri için kontrol şemaları oluşturulmuştur (Zheng vd. 2016; Chen vd. 2017; Chen vd. 2018; Zhou vd. 2018; Chen vd. 2019). Ek olarak, Muneeswaran ve Rajasekaran (2018) ağ segmentasyonunda bir işlevi ayarlamak için AT yöntemini çalıştırırken, El-Fergany ve Hasanien (2018) AT yöntemini uygulayarak enerji ağı sistemlerindeki optimum elektrik akışını çözmüşlerdir.

Algoritmada ağaç, çözüm vektörü olarak tanımlanırken, tohum aday çözüm olarak adlandırılır. Buna ek olarak, konum ifadesi de tasarım değişkeni olarak tanımlanır. Ayrıca bu yöntem, tohumların stokastik yayılma oranını düzenleyen bir parametre olarak tanımlanan arama eğilimi ( $ae$ ) parametresini içermeye özelliğine de sahiptir. AT yönteminin temel adımları şöyle sunulabilir.

Adım-1 algoritmanın başlatılmasıdır. Başlangıç olarak, arama parametreleri ve problem parametreleri başlatma sırasında ana hatlarıyla belirtilir.  $N_{say}$  ağaç sayısı olarak tanımlanırken,  $toh_{min}$  ve  $toh_{maks}$  bir ağaçtaki minimum ve maksimum tohum sayıları olarak atanır. Ayrıca,  $I_{maks}$  maksimum iterasyon veya hesap yineleme sayısı olarak belirtilir.

$$X_{i,j} = yuvarla(1 + N_{ist} \cdot ras(0,1)) \quad (4)$$

Daha sonra, denklem (4)’ün uygulaması  $i = 1, 2, \dots, N_{say}$  ve  $j = 1, 2, \dots, N_{ist}$  eşitliklerini sağlayacak şekilde başlangıçtaki çözümler gelişigüzel üretilir. Daha sonra algoritma belleği, değerlendirmelerin bulgularını ve sonuçların uygunluk değerlerini hafızada tutar. Denklem (4)’te  $X$ , çözümler tarafından sağlanan tasarım değişkeni değerlerini içeren algoritmanın belleğindeki matrisi temsil eder.  $ras(0,1)$ , 0 ve 1 aralığında rastgele gerçek sayı üreten bir matematiksel işleve karşılık gelir. Ek olarak  $yuvarla$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_{say}$  denklemde en yakın tamsayı değerine atanan gerçek değeri yuvarlayan başka bir işlevdir.  $N_{ist}$ , ağdaki en uygun çözüm için düşünülen istasyon sayısını temsil eder.

Adım-2, tohumlarla yapılan bir araştırmadır ve problemin aday çözümleri tohumların olduğu varsayılır. Tohumlar, birer çözüm havuzu olarak her ağaçta gelişirler. Ağaçtaki tohum sayısı ( $N_{toh}$ ),  $toh_{min}$  ve  $toh_{maks}$  arasındadır. Buna göre, tohumların veya aday çözümlerin ortaya çıkardığı değerler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_{k,j} = X_{i,j} + ras(-1,1) \cdot (X_{eni,yi,j} - X_{r,j}) \quad (5)$$

$$T_{i,j} = X_{i,j} + ras(-1,1) \cdot (X_{i,j} - X_{r,j}) \quad (6)$$

Eğer  $ras < ae$  ise denklem (5) uygulanmaktadır. Bunun yanında eğer  $ras \geq ae$  ise denklem (6) uygulanmaktadır. Öyle ki, aşağıda (7), (8) ve (9) bağıntıları her iki (5) ve (6) denklemleri için göz önüne alınır.



$$i, r \in 1, 2, \dots, N_{say}, i \neq r \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, N_{toh} \quad (8)$$

$$j = 1, 2, \dots, N_{ist} \quad (9)$$

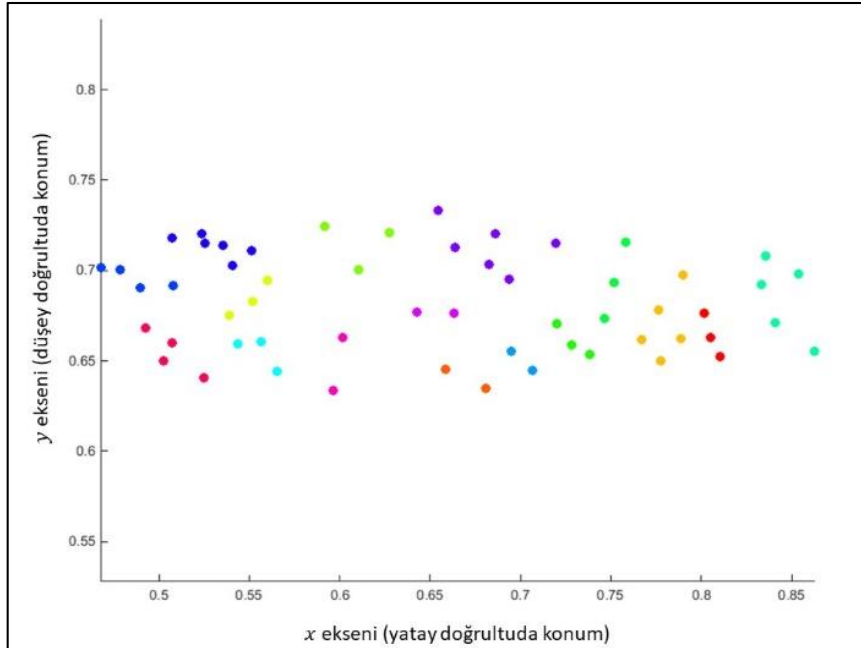
Yukarıdaki denklem ve bağıntılarda,  $i$  seçilen mevcut ağacın endeksi iken,  $r$  ise rastgele seçilen ağacın endeksidir.  $T$  de  $i$ 'nci ağacın tohum matrisidir. Bunlara göre,  $X_{eniye}$  çözüm havuzunda bulunan en iyi çözümü temsil eder.

Algoritmadaki Adım-3 ise tohumların büyümesi ile ilgilidir. Bu aşamada, ağaçlar tarafından üretilen tohumlar ekime uygunluk açısından analiz edilir (bir diğer tabirle çimlenme için uygun olup olmadıkları değerlendirilir). Daha sonra en iyi tohumlar, bulunan ideal koşullar beraberinde ana ağaçlarının yerini alır. Adım-2 ve Adım-3 arasındaki bu değerlendirmeler, toplam değerlendirme sayısı  $I_{maks}$  değerine gelene kadar  $AT$  tarafından işlenir.

Ulaşım verileri  $AT$  yöntemi sayesinde ağırlık katsayıları da değerlendirmeye katılarak kümeleme işlemi yapıldıktan sonra bulgular elde edilmiştir. Bu bulgular sıradaki bölümde açıklanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Veri toplamaları, veri aktarmaları sonrasında yapılan kümeleme işlemi, Intel® Core™ i5-2410M CPU @ 2.30GHz işlemcili, 6GB yüklü belleği olan, 64 bit işletim sistemi bulunduran bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Kümeleme sonucunda toplam on altı küme otomatik olarak oluşarak Şekil 1 elde edilmiştir ve farklı renkler ayrı kümeleri temsil etmektedir. Her bir havalimanının yalnız bir kümeye dahil edilmesi sağlanmıştır. Böylece hiçbir havalimanı kümesiz bırakılmamıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere aralarındaki ulaşım mesafeleri bakımından birbirine yakın olan havalimanları otomatik olarak gruplandırılarak kümeleme işlemi tamamlanmıştır. En çok sayıda elemanı olan küme altı havalimanını kapsıyorken, en az eleman sayılı küme iki havalimanını kapsamaktadır. Tablo 3'te altı, beş ve dört elemanlı toplam altı küme örnek olarak listelenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere, Sinop, Amasya Merzifon, Samsun Çarşamba, Tokat, Sivas Nuri Demirağ, Ordu-Giresun havalimanları aynı kümede yer alarak diğer kümelerden ayrılmışlardır.



Şekil 1: Kümeleme işleminde elde edilen kümeler (Not: Her küme ayrı renk ile belirtilmiştir.)

Tablo 3: Altı, beş ve dört elemanlı havalimanı kümeleri

Küme adı	Havalimanları
a	Sinop, Amasya Merzifon, Samsun Çarşamba, Tokat, Sivas Nuri Demirağ, Ordu-Giresun
b	Tekirdağ Çorlu, İstanbul, İstanbul Atatürk, Sabiha Gökçen, Kocaeli Cengiz Topel, Bursa Yenişehir
c	Erzurum, Bingöl, Diyarbakır, Mardin, Batman
ç	Kars Harakani, Iğdır Şehit Bülent Aydın, Ağrı Ahmed-i Hani, Van Ferit Melen, Hakkari Selahaddin Eyyubi
d	Balıkesir Merkez, Balıkesir Koca Seyit, Çanakkale, Çanakkale Gökçeada
e	İzmir Adnan Menderes, Aydın Çıldır, Muğla Dalaman, Muğla Milas-Bodrum

Ulaşım verileri ve ulaşım ağı noktalarının ağırlık katsayılarına dayanarak yapılan optimizasyon işlemi AT algoritması yöntemi ile hesaplanmıştır. Algoritmanın yansıtıldığı kodlama bilgisayar vasıtasıyla çalıştırılarak Tablo 3'teki "Optimum Lokasyon" başlığı altındaki değerler elde edilmiştir. Bahse konu değerler, optimum lokasyonların enlem ve boylam ölçülerini derece cinsinden yansıtmaktadır. Tablo 4'te gösterilen optimum lokasyon değerlerine göre yapılan incelemede, optimum lokasyonların birçoğunda halihazırda bir havalimanı olsa dahi bazılarında herhangi bir havayolu tesisi veya havalimanı bulunmadığı saptanmıştır. Bunun doğrultusunda, Tablo 4'teki optimum lokasyon koordinatlarına ulaşım mesafesi veya fiziksel mesafe açısından en yakın havalimanlarının kendi içindeki kümelerdeki havalimanlarına bahse konu acil durumlarda servis sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Eldeki trafik verilerine ve coğrafi konum verilere dayanarak, yapılan tüm bu çalışmalar doğrultusunda, her kümenin acil durumlar kapsamında gerekli donanım ve personelini konumlandırması yönünde tavsiye edilen ideal havalimanlarının listesi Tablo 4'ün son sütununda "ideal havalimanları" başlığı altında sunulmuştur. Ayrıca, Şekil 2'deki haritada da acil durumlarda servis sağlaması tavsiye edilen havalimanlarının görsel olarak coğrafi konumları ve kümeleri gösterilmiştir. Tablo 4'te yer alan ideal havalimanları, Şekil 2 'de etrafi kırmızı daire ile çevrilmiş halde görsel olarak yansıtılmıştır.

Tablo 4: Analizler sonucunda bulunan optimum lokasyonlar ve kendi kümesine servis sağlaması önerilen ideal havalimanları

Küme adı	Optimum Lokasyon		İdeal Havalimanı
	Enlem değeri ( $\Phi^\circ$ )	Boylam değeri ( $\lambda^\circ$ )	
a	41,2655663	36,5485901	Samsun Çarşamba H.
b	40,9761080	28,8138838	İstanbul Atatürk H.
c	37,9269985	40,2295297	Diyarbakır H.
ç	38,4686155	43,3308264	Van Ferit Melen H.
d	39,5524798	27,0102927	Balıkesir Koca Seyit H.
e	38,2891652	27,1550175	İzmir A. Menderes H.
f	39,2550001	30,0778154	Zafer H.
g	36,9002582	30,7927813	Antalya H.
ğ	40,1280732	32,9949761	Ankara Esenboğa H.
h	37,7769982	38,5008817	Adıyaman H.
ı	40,9958178	39,7852708	Trabzon H.
i	37,3644113	42,0598282	Şırnak Ş. Elçi H.
j	36,2991682	32,3013944	Gazipaşa Alanya H.
k	36,9822484	35,2802963	Adana Şakirpaşa H.
l	38,7702778	35,4952576	Kayseri H.
m	36,9477564	37,4788980	Gaziantep H.



Şekil 2: Havalimanı kümeleri ve AT algoritmasına göre kendi kümesine servis sağlayan havalimanları (Not: Her küme ayrı renk ile belirtilmiştir ve Google Maps ile haritalandırılmıştır)

#### 4. Sonuç

Bu çalışmanın temelleri ve benzer araştırmalardan farkı üç ana unsura dayanmaktadır. Birincisi, yöntem olarak ülke çapında sadece tek bir havalimanının acil durumlarda diğer tüm havalimanlarına hizmet sunması değil; kümeleme yapılarak bölgesel servis sağlayacak havalimanlarının tespit edilmesi çok büyük önem teşkil etmektedir. Zira acil durumlarda ivedilikle müdahale edilmesiyle can kaybının azaltılması ve maliyetlerin düşürülmesi elzemdir. İkincisi, bu kapsamda yapılan önceki analizde İstanbul Havalimanı henüz hizmete girmediği için bu çalışmada değerlendirmeye alınmıştır. Üçüncüsü, İstanbul Havalimanı'nın havayolları ulaşım ağına dahil olmasıyla birlikte yeni durumun daha güncel veriler kullanılarak daha güncel optimizasyon yöntemiyle analiz edilmesi gerektiği düşünülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Trafik verileri ile birlikte ülkemizde kullanımda olan havalimanları arasındaki mesafeler bu çalışmadaki analizlerde önemli bir yere sahiptir. Trafik verilerine dayanarak oluşturulan havalimanlarının ağırlık katsayıları bu araştırmanın çıktılarını büyük ölçüde etkilemiştir. Eğer bu araştırmada, kümeleme yapıldıktan sonra küme elemanlarının sadece ağırlık merkezi bulunsaydı, araştırmanın sonuçları bulunanlardan çok farklı olmakla kalmayıp yoğun hava trafiği bulunan havalimanlarının spesifik önemi göz ardı edilmiş olacaktı. Havalimanlarının ağırlık katsayıları değerlendirmeye alındığı için analizler gerçeğe hayatta uygulanması en ideal sonuçları vermiştir.

Trafik verileri ve bunların ulaşım karakterleri ile birlikte coğrafi konumlar kullanılarak, bu araştırmada bulunan ve Tablo 4'te sunulan optimum lokasyon değerleri göz önüne alındığında, bu koordinatların bazılarında havalimanı tesisi bulunsa dahi diğerlerinde halihazırda birer havalimanı tesisi bulunmamaktadır. Bundan dolayı, bu koordinatlara ulaşım mesafesi veya fiziksel mesafe açısından en yakın havalimanları analitik geometri kullanılarak iki nokta arasındaki en kısa mesafe bulma tekniği ile tespit edilmiştir. Böylece, optimum lokasyonlara en yakın havalimanlarının kendi kümeleri içindeki havalimanlarına acil durumlarda hizmet verebileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, toplanan trafik verilerine ve konum veri göz önünde tutularak yapılan analizler sonucunda, her kümenin acil durumlarda müdahale için ihtiyaç duyabileceği donanım ve personeli konumlandırması yönünde ideal havalimanları önerilmiştir. Yardım tesislerinin oluşturulabileceği tavsiye edilen bu havalimanları, herhangi bir doğal afet ve kaza gibi felaketler sırasında veya sonrasında can kaybını en aza indirmeye yönelik olduğu değerlendirilmektedir. Bu çalışma neticesinde ve araştırmanın önerileri doğrultusunda, herhangi bir acil durumda gerekli olan ve havayolu ile sağlanabilecek hizmetler vasıtasıyla zaman ve gider kaybının azaltılması gibi hedefler gözetilirken daha da önemlisi can kaybının minimum seviyeye indirilmesi konusunda ilerleme kaydedilmesi beklenmektedir.

Tahmin edileceği gibi kümeleme sırasındaki girdi değerleri oluşacak küme sayısını etkileyebilir. Bunun doğrultusunda da optimum lokasyonlar yer değiştirebilir. Gelecekte yapılması öngörülen ayrı bir çalışmada, kümeleme sırasındaki ağ noktaları arasındaki maksimum mesafenin, yani eşik değerinin, göreceli kısa veya uzun olmasının hassas etkileri değerlendirilecektir. Planlanan çalışmada küme başına düşen minimum ağ noktası sayısı da çeşitli şekillerde atanarak optimum lokasyonların durumları gözlemlenebilecektir. Ayrıca, karayolu ulaşım mesafeleri ve ulaşım sürelerine göre kontrol edilebilir bir havalimanı ağı bir başka çalışmada incelenecektir.

#### Teşekkür

Akademik analiz amacıyla işlenen trafik verilerini internet adresinden erişime açık bulduran Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.



## Kaynaklar

- Aydoğdu İ., (2017), *Comparison of metaheuristics on multi objective (cost&CO<sub>2</sub>) optimization of RC cantilever retaining walls*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 23(3), 221-231.
- Chen F., Ye Z., Wang C., Yan L., Wang R., (2018), *A feature selection approach for network intrusion detection based on tree-seed algorithm and K-nearest neighbor*, In 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), ss.68-72.
- Chen W., Cai M., Tan X., Wei B., (2019), *Parameter identification and state-of-charge estimation for li-ion batteries using an improved tree seed algorithm*, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 102(8), 1489-1497.
- Chen W.J., Tan X.J., Cai M., (2017), *Parameter identification of equivalent circuit models for Li-ion batteries based on tree seeds algorithm*, IOP conference series: earth and environmental science,73(1), 012024, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012024.
- Demir E., (2018a), *Havalimanlarında kalkış öncesi, acil durumlarda, yardım alınabilecek en uygun lokasyonun Weber problemine uyarlanarak belirlenmesi*, Türk Coğrafya Dergisi, 70, 81-85.
- Demir E., (2018b), *Approach for siting a support facility for transporting supplies in emergency cases in the Republic of Bulgaria*, MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 234, 06001, doi: 10.1051/mateconf/201823406001.
- Demir E., Kockal N.U., (2019), *Iterative methodology on locating a cement plant*, Journal of Inequalities and Applications, 2019(1), 1-8.
- DHMİ, (2020), *Havalimanları karşılaştırmalı istatistikleri*, <https://www.dhmi.gov.tr/sayfalar/istatistik.aspx>, [Erişim 18 Nisan 2020].
- Ekinci R., Büyüksaraç A., Ekinci Y.L., Işık E., (2020), *Bitlis ilinin doğal afet çeşitliliğinin değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 1-11.
- El-Fergany A.A., Hasanien H.M., (2018), *Tree-seed algorithm for solving optimal power flow problem in large-scale power systems incorporating validations and comparisons*, Applied Soft Computing, 64, 307-316.
- Günaydın M., Tatlı Ö., Genç E.E., (2017), *Arama kurtarma örgütleri ve ulusal medikal kurtarma ekipleri (UMKE)*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(1), 56-63.
- Kiran M.S., (2015), *TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization*, Expert Systems with Applications, 42(19), 6686-6698.
- Macit İ., (2019), *Bütünleşik afet yönetiminde Sendai çerçeve eylem planının beklenen etkisi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 175-186.
- Marcon Y., (2020), *Distance-based clustering of a set of XY coordinates*, MATLAB Central File Exchange, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/56150-distance-based-clustering-of-a-set-of-xy-coordinates>, [Erişim 28 Nisan 2020].
- Muneeswaran V., Rajasekaran M.P., (2018), *Gallbladder shape estimation using tree-seed optimization tuned radial basis function network for assessment of acute cholecystitis*. Intelligent Engineering Informatics'in İçinde, (Bhateja V., Coello Coello C., Satapathy S., Pattnaik P., Ed.), Springer, Singapore, ss.229-239.
- Uslu S., Dönmez K., (2017), *Hava trafik kontrol kaynaklı uçak kazalarının incelenmesi*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(18), 271-287.
- Usta G., Torpuş K., Küçük U., (2017), *Afetlerde START triaj skalası*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 70-76.
- Uzun B., Cıvlek O., Aydoğdu İ., (2019), *Optimum design of nano-scaled beam using the social spider optimization (SSO) algorithm*, Journal of Applied and Computational Mechanics, doi: 10.22055/jacm.2019.31406.1870.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), (2020), 2019 yılı faaliyet raporu. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/4006-faaliyet-raporlarimiz>, [Erişim 15 Nisan 2020].
- Snyder J.P., (1987), *Map Projections - A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395*, United States Government Printing Office, Washington.
- Yıldırım C., Aydoğdu İ., (2017), *Artificial bee colony algorithm for thermohydraulic optimization of flat plate solar air heaters*, Journal of Mechanical Science and Technology, 31(7), 3593-3602.
- Zheng Y., Zhou J., Zhu W., Zhang C., Li C. Fu W., (2016), *Design of a multi-mode intelligent model predictive control strategy for hydroelectric generating unit*, Neurocomputing, 207, 287-299.
- Zhou J., Zheng Y., Xu Y., Liu H., Chen D., (2018), *A heuristic TS fuzzy model for the pumped-storage generator-motor using variable-length tree-seed algorithm-based competitive agglomeration*, Energies, 11(4), 944, doi: 10.3390/en11040944.