

Ulaştırma Talep Tahmin Modellerinde Harmoni Arama Yöntemi Uygulamas

Rasim Temur^a, S. Cankat Tanrıverdi^b

^a İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı A.D. İstanbul, Türkiye
temur@istanbul.edu.tr

^b İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma A.D. İstanbul, Türkiye
cankattanriverdi@gmail.com

Özet: Müzisyen doğaçlaması benzetimi ile üretilen sezgisel bir algoritma olarak tanımlanan Harmoni Arama (HA) yöntemi, en uygunluğun arandığı pek çok mühendislik probleminde uygulanan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu çalışmada, en uygunluğun, ulaşırmada talep tahmini konusunda incelemesi yapılmış, yarar fonksiyonuna göre değişkenlerin ağırlığını ifade eden katsayılar elde edilmiş ve gerçek değerler ile yakınlık sayısal olarak ifade edilmiştir. Çalışmada, regresyon analizi ile incelenmiş bir ulaşım problemi, HA metoduyla ele alınmıştır. Analizler sonucunda HA yönteminin gerçek verilere daha yakın değerler üretebildiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ulaştırma Talep Tahmini, Harmoni Arama Yöntemi, Regresyon Analizi, Transportation Demand Forecasting, Harmony Search Method, Regression Analysis.

Giriş

Harmoni (ahenk, uyum) Arama (HA), Geem vd. tarafından, var olan algoritmaların daha az sayıda iterasyon adımıyla çözümünü amacıyla, 2001 yılında geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir.

Geem'in ifadesiyle "Müzisyen doğaçlamasına benzetim ile üretilen bir sezgisel algoritmadır" (Geem vd., 2001) Başka bir deyişle "Harmoni Arama, müzik tabanlı bir genel-sezgisel (meta-heuristic) optimizasyon yöntemidir. Müzikte ahenkli ezginin araştırılmasından ilham alınarak geliştirilmiştir. Müzikte harmoninin yakalanması, benzeşim yapılan problemde, gerekli kısıtların da sağlanarak, en uygun çözümün bulunmasını (optimizasyonu) temsil eder" (Geem vd., 2009).

Harmoni Arama yöntemi birçok alanı kapsayan optimizasyon problemine uygulanmıştır. Geem vd. tarafından yapılan araç rotalama problemi uygulaması (Geem, 2005a), yine Geem tarafından 2006 yılında yapılan boru hattı tasarımı; Gil-Lopez vd. tarafından 2009 yılında yapılan çok kullanıcı algılama problemi uygulaması, Landa-Torres vd. tarafından yapılan erişim noktası yerleşim problemi uygulaması (Landa-Torres vd., 2012), Toklu vd. tarafından 2013 yılında yapılan kafes sitemlerin yapısal analizi uygulamalarında, HA yöntemi uygulanmış ve başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür.

Harmoni Arama (HA) yönteminin uygulandığı alanlardan biri olan Araç Rotalama Problemi (ARP) ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında çalışılmıştır. Daha sonra birçok çalışma ile geliştirilen problem, aracın, belirli bir noktadan başlayıp, kullanıcıları belirli sırayla ziyaret edip bu noktaya dönmesi için güzergâhlar oluşturulmasıyla ilgilidir. Bu problemdeki ana amaç, kullanılacak araç sayısını, maliyeti, toplam yolculuk süresi ve mesafesini en aza indirirken, kapasite ve süre gibi kısıtları da sağlayarak kullanıcı memnuniyetini maksimize etmektir (Düzakın ve Demircioğlu, 2009). Geem, 2005b yılında yaptığı Okul Taşıtı Rotalama Problemi çalışmada HA'yı bu probleme uygulamış ve üretilmiş bilgi veya herhangi bir önemli varsayım yapmaksızın optimuma yakın çözümler bulunduğunu belirtmiştir.

Bo vd.(2009)'nin yaptığı çalışmada başlangıç ve varış noktaları arasında, belirli süre kısıtlarını sağlayacak, minimum maliyete sahip rota/rotaların bulunması amacıyla, Dördüncü Parti Lojistik Rota Problemi (4PLRP) çözümü için HA yöntemi önerilmiştir. Sonuçta yöntemin bu problemde, belirtilen kısıtlar altında, optimuma yakın çözümler verdiği belirtilmiştir.

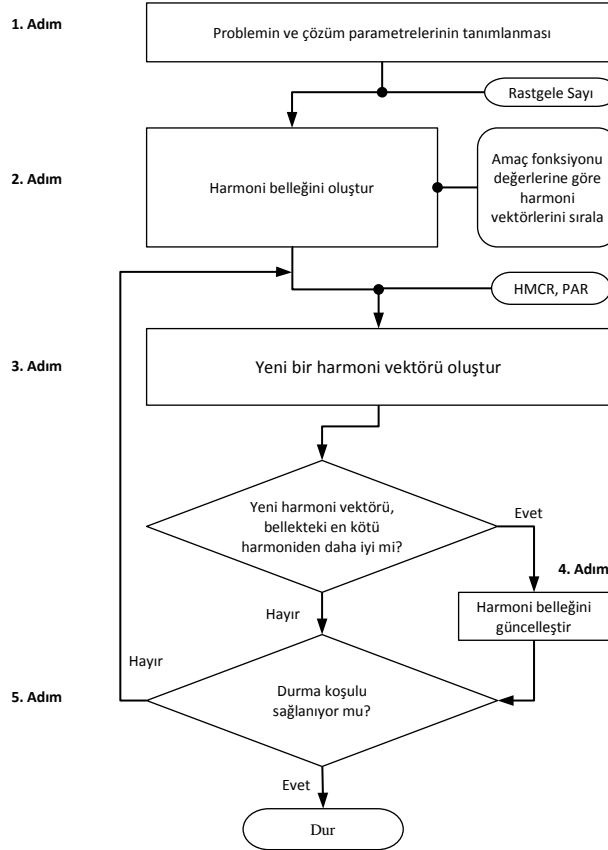
Sanz vd. tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, tek-yönlü yollarda felaket vb. durumlar sonrası optimum yeniden düzenleme üzerine çok-amaçlı HA incelemesi sunulmuştur. Simülasyonlar sonucu, bulunan yaklaşımın, tek-yönlü yollarda, iki nokta arası taşıt hareketliliğini artıran optimuma yakın değerleri verdiği belirtilmiştir.

Yöntemin kıyası amacıyla yapılan bir çalışmada geliştirilen modellerde, sürücülerin güzergah seçim davranışları probit güzergah seçim modeli kullanılarak temsil edilmekte ve Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) problemi, eşdeğer optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Önerilen modellerin test edilmesi için 1 adet Başlangıç-Variş çifti, 5 adet bağ ve 3 adet güzergâhtan oluşan ulaşım ağı verilmiştir. Sonuçta SKD atamasının sonuçları Deterministik Kullanıcı Dengesi (DKD) ataması sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal uygulama sonucunda, SKD probleminin çözümünde Harmoni Arama Yöntemi, Stokastik Trafik Atama (ARASTA) modeli hesaplama süresi açısından KAKOSTA modeline göre avantajlı görülmüş fakat Karınca Kolonisi Stokastik Trafik Atama (KAKOSTA) modelinin amaç fonksiyonunun en küçüklenmesinde daha başarılı olduğu görülmüştür (Başkan ve Haldenbilen, 2011).

Bu çalışmada, bir ulaştırma mühendisliği problemi, HA optimizasyon yöntemiyle incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle bu yöntemin benzer alanlarda yapılmış örnekleri araştırılmıştır. Yapılan incelemelerde ulaşım planlama çalışmalarının en önemli kollarından olan yolcu davranışı modelleri konusunda HA yönteminin denenmediği görülmüştür. Bu kapsamda, alanda daha önce regresyon analizi ile yapılmış bir çalışma için HA yöntemi uygulaması yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Harmoni Arama Yöntemi

2001 yılında Geem vd. tarafından geliştirilen harmoni arama yöntemi, müzik tabanlı bir üst sezgisel algoritmadır. Yöntem beş adımdan oluşmaktadır ve akış şeması Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1: Harmoni Arama Yönteminin Akış Şeması (Lee ve Geem, 2004)

1. Problemin ve çözüm parametrelerinin tanımlanması

Harmoni arama yönteminin ilk adımında, problemin çözümünde kullanılacak amaç fonksiyonu ve fonksiyona ait değişkenler Denklem 1'deki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned} \text{Amaç fonksiyonu} & f(x) \\ \text{Değişkenler} & x_i \in X_i, i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad [1]$$

Burada $f(x)$ amaç fonksiyonunu, x_i fonksiyonun değişkenlerini, X_i değişkenlerin alabileceği değer aralığını, N ise fonksiyonda yer alan değişken sayısını ifade etmektedir. Harmoni arama yönteminin optimizasyon problemini çözmek için ihtiyaç duyduğu; harmoni belleği kapasitesi (HMS), harmoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR), ton ayarlama oranı (PAR) ve maksimum iterasyon sayısı parametreleri bu adımda tanımlanır.

2. Harmoni belleğinin oluşturulması

Yöntemin ikinci adımında harmoni belleği adı verilen matris (Şekil 2), tamamı rastgele üretilmiş değişken değerleriyle doldurulur ve bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix}$$

Şekil 2: Harmoni Belleği Matrisi

3. Yeni harmoni oluşturulması

Bu adımda, harmoni belleğinde bulunan değerler de kullanılarak yeni bir harmoni oluşturulur. Yeni harmoni vektörünün elemanları HMCR olasılığına göre ya harmoni belleğinin elemanları kullanılarak ya da ikinci adımda olduğu gibi X_i değer aralığında rastgele bir değerle oluşturulur. Bu amaçla öncelikle 0 ile 1 arasındaki değerlerden rastgele bir sayı üretilir. Üretilen bu sayı, 0 ile 1 arasındaki bir değere sahip olan HMCR olasılığını sağlıyorsa yeni vektör elemanı harmoni belleği içindeki elemanların arasından seçilir. Rastgele üretilen sayı HMCR olasılığını sağlamıyorsa yeni vektör elemanı harmoni belleğinden değil değişkenlerin alabileceği değer aralığı içerisinde rastgele bir değer olarak belirlenir (Denklem 2).

$$x'_i = \begin{cases} x_i \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{HMS}\} & \text{HMCR olasılığı durumu} \\ x_i \in X_i & (1 - \text{HMCR}) \text{ olasılığı durumu} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad [2]$$

Yeni vektörün elemanı belirlendikten sonra ton ayarlama işlemi yapılır. Buna göre üretilen bir rastgele sayı PAR koşulunu sağlamıyorsa x'_i değeri değiştirilmez. PAR koşulu sağlanıyorsa $x'_i = x_i \pm Rnd(0;1) \cdot bw$ bağıntısıyla ton ayarlama işlemi yapılır (Denklem 3). Bu denklemde bw rastgele seçilmiş bant genişliğini, $Rnd(0;1)$ ise 0 ile 1 arasında üretilen rastgele bir sayıyı temsil etmektedir. (Ayvaz vd., 2007)

$$x'_i = \begin{cases} x_i \pm Rnd(0;1) \cdot bw & \text{PAR olasılığı durumu} \\ x_i & (1 - \text{PAR}) \text{ olasılığı durumu} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad [3]$$

4. Harmoni belleğinin güncelleştirilmesi

Yeni oluşturulan harmoni vektörü, bellekte yer alan ve en kötü amaç fonksiyonu değerine sahip olan harmoni vektöründen daha iyi sonuç veriyorsa, en kötü vektör bellekten silinir ve yeni harmoni vektörü belleğe eklenir.

5. Durma koşulu gerçekleşinceye kadar 3. ve 4. Adımların tekrar edilmesi

Bu adımda, problem için tanımlanan durma koşulu kontrol edilir. Koşulun sağlanması durumunda çözümleme sona erer ve harmoni belleğinde yer alan en iyi vektör nihai çözüm olarak kabul edilir. Durma koşulunun sağlanmaması durumunda ise 3. ve 4. adımlar tekrar edilir.

Problemin Tanımlanması

Mevcut çalışmada ulaştırma talep tahminini yapmak amacıyla nüfus, gayrisafı yurt içi hâsıla (GSYH) ve otomobil sayısı olmak üzere üç parametre kullanılmıştır. Ulaştırma talebi ise toplam yolculuk sayısı (TYS) ile ifade edilmektedir. Kullanılan üç parametrenin her birinin toplam yolculuk sayısını doğru orantılı olarak etkilediği öngörülmektedir. Bu sebeple toplam yolculuk sayısı ile kullanılan parametreler arasındaki bağıntı;

$$TYS = \beta_1 \cdot Nüfus + \beta_2 \cdot GSYH + \beta_3 \cdot Otomobil Sayısı \quad [4]$$

şeklinde olmaktadır. β değerleri, her parametrenin toplam yolculuk sayısı üzerine etkisini ifade eden katsayılardır. Ulaştırma talep tahmini problemi için bu katsayılar HA modelinde fonksiyon değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Analizler sonucunda üç tane β değeri elde edileceğinden $N=3$ olmaktadır. Harmoni belleği kapasitesi $HMS=5$ olarak seçilmiştir.

Çalışmada iki farklı model kullanılmıştır. Birinci modelde kullanılan β değerleri hem pozitif hem de negatif değerler alabilmektedir. Ulaştırma talep tahmini için yapılan karşılaştırmalar ise gerçek toplam yolculuk sayısı (TYS_{Veri}) verileri ile HA analizleri sonucunda elde edilen toplam yolculuk sayısı (TYS_{HA}) değerleri arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamları ile yapılmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu Denklem 5'teki gibi olmaktadır.

$$f(x) = \sum_{x=1}^n |TYS_{Veri} - TYS_{HA}| \quad [5]$$

Fonksiyonda n değeri, verilerin alındığı yıl sayısını ifade etmektedir. İlk modelde Denklem 5'te verilen amaç fonksiyonunun en düşük değerini sağlayan β değerleri kesin sonuç olarak kabul edilmektedir. HA algoritmasında HMCR değeri 0.1, PAR değeri ise 0.2 olarak kullanılmıştır. Oluşturulan rastgele sayıların bu değerlerden küçük olması durumunda olasılıklar sağlanmaktadır. Durma koşulu olarak iterasyon sayısı tanımlanmıştır. 10^6 iterasyon sonucunda elde edilen değerler kesin çözüm kümesi olarak kabul edilmiştir.

İkinci modelde kullanılan parametrelerin her birinin toplam yolculuk sayısını artırdığı öngörüldüğünden, β değerleri yalnızca pozitif değerler aralığında aranmaktadır.

Mevcut çalışmada ulaştırma talep tahmini için yapılan karşılaştırmalar doğrusal regresyon bağıntısı (Denklem 6-8) kullanılarak yapılmıştır. Denklemde x verilerin ait olduğu yıl, \hat{y} her yıla ait toplam yolculuk sayısı, x_j j'inci yıl, y_j j'inci yıla ait toplam yolculuk sayısı ve n ise verilerin alındığı yıl sayısı olmaktadır.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x \quad [6]$$

$$b_0 = \frac{\sum x_j - b_1 \cdot \sum y_j}{n} \quad [7]$$

$$b_1 = \frac{\sum x_j \cdot y_j - \frac{\sum x_j \cdot \sum y_j}{n}}{\sum x_j^2 - \frac{(\sum x_j)^2}{n}} \quad [8]$$

HA analizlerinde amaç fonksiyonu olarak gerçek verilerle oluşturulan regresyon eğrisinin değerleriyle (\hat{y}_{Veri}), HA analizi sonucu elde edilen katsayılar kullanılarak oluşturulan regresyon eğrisi değerleri (\hat{y}_{HA}) farklarının mutlak

değerlerinin toplamı kullanılmıştır (Denklem 9). Amaç fonksiyonu değerini en aza indirgeyen β katsayıları kesin çözüm kümesi olarak kabul edilmiştir.

$$f(x) = \sum |\hat{y}_{veri} - \hat{y}_{HA}| \quad [9]$$

Problemin çözümü için HA algoritmasında HMCR ve PAR değerleri 0.1 olarak kullanılmıştır. Oluşturulan rastgele sayıların bu değerlerden küçük olması durumunda olasılıklar sağlanmaktadır. İterasyon sayısı, durma koşulu olarak tanımlanmıştır. 10^6 iterasyon sonucunda elde edilen değerler kesin çözüm kümesi olarak kabul edilmiştir.

Sayısal Uygulama

Optimizasyon alanında incelenen bu çalışmada, Demir ve Gerçek tarafından YSA yöntemiyle çalışılmış bir ulaşım problemi (Demir ve Gerçek, 1998), farklı bir yöntemle; HA Optimizasyon metoduyla incelenmiştir. Ele alınan ulaşım talep tahmini modelinde Aydın-Denizli Otoyolu'nun Kuyucak-Denizli kesimi için yapılmış olan ön proje kapsamında hazırlanan trafik ön etüd raporu verileri kullanılmıştır (Tablo 1). Bağımlı değişken olarak “toplam yolculuk sayısı”, bağımsız değişkenler olarak ise, “nüfus”, “gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYH)” ve “otomobil sayısı” verileri yer almaktadır.

Tablo 1: Model Verileri (Demir ve Gerçek, 1998)

Nüfus	GSYH	Otomobil Sayısı	TYS
304470	362280	16034	13528
826695	1407162	45816	50739
896150	1645318	48305	80598
1378397	2552512	101578	12097
1458339	2572825	79750	39794
1541542	1475348	70667	57317
3848861	5893493	327782	118460
4301315	10454994	286347	87041
7146413	11896318	545262	138741
9044861	12286705	352338	149569
13068696	31745562	969243	146216

Tablo 1'deki verilerin alındığı kaynak çalışmada, bağımsız değişkenlerin katsayılarının bulunması amacıyla yapay sinir ağları modeli kurulmuş ve regresyon analizi yapılmıştır. Sonuçta,

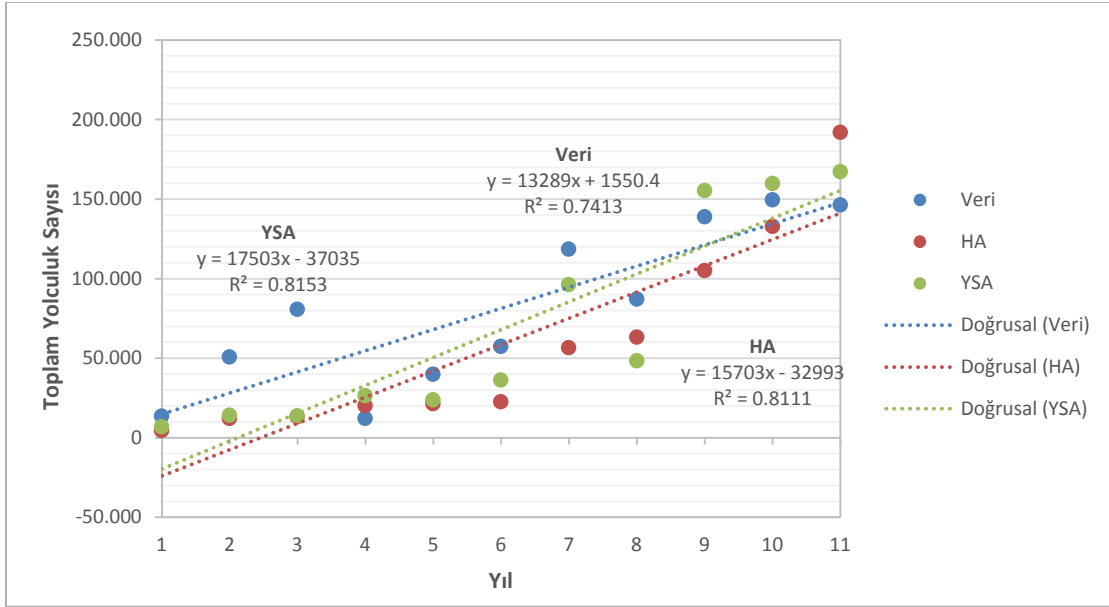
$$TYS = 0.02499 \cdot Nüfus - 0.01113 \cdot GSYH + 0.200049 \cdot Otomobil Sayısı \quad [10]$$

bağıntısı bulunmuştur. Bağıntıdan GSYH değişkeni ile toplam yolculuk değişkeni arasında mantıklı bir ilişki oluşmadığı görüldüğünden (GSYH arttıkça yolculuk sayısının da artması gerekirdi) regresyon analizinin uygun model olarak alınamayacağı belirtilmiştir.

Mevcut çalışmada kullanılan ve β katsayılarının hem pozitif hem de negatif değerler alabildiği birinci model ile yapılan HA analizleri sonucunda elde edilen bağıntı,

$$TYS = 0.02424606 \cdot Nüfus - 0.01031226 \cdot GSYH + 0.1616949 \cdot Otomobil Sayısı \quad [11]$$

şeklinindedir. Gerçek veriler ile birlikte Denklem 10 ve Denklem 11 ile elde edilen TYS değerlerinin grafik gösterimi Şekil 3'teki gibidir.

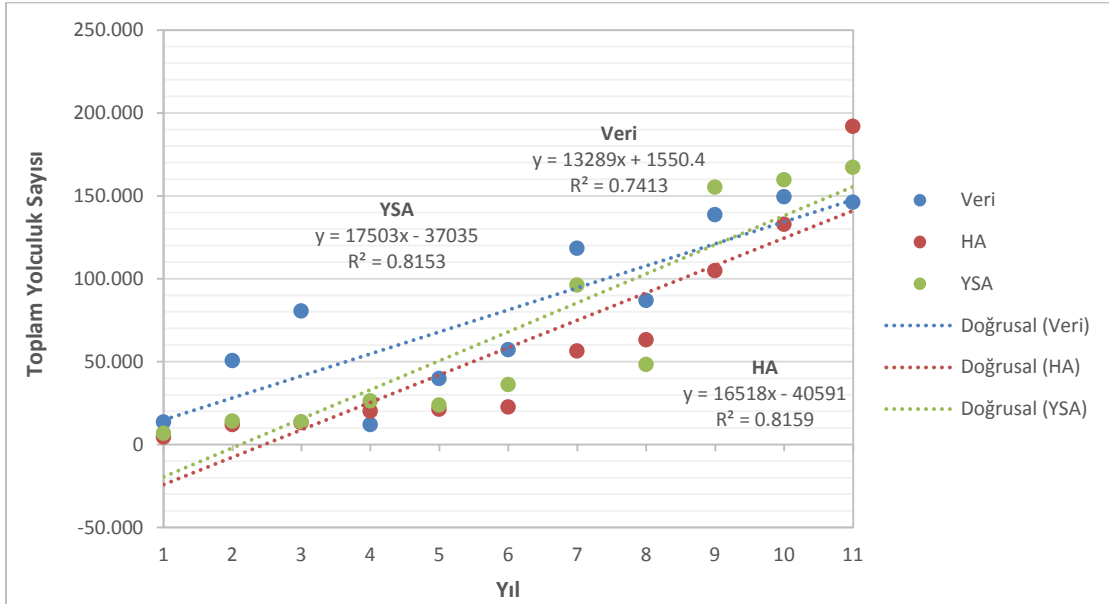


Şekil 3: Birinci model kullanılarak yapılan analizlerin grafik gösterimi

β katsayılarının yalnızca pozitif değerler alabildiği ikinci model ile yapılan HA analizleri sonucunda elde edilen bağıntı ise,

$$TYS = 0.01468723 \cdot Nüfus + 4.955428 \cdot 10^{-8} \cdot GSYH + 5.260805 \cdot 10^{-5} \cdot Otomobil Sayısı \quad [12]$$

şeklinde. Gerçek veriler ile birlikte Denklem 10 ve Denklem 12 ile elde edilen TYS değerlerinin grafik gösterimi Şekil 4'teki gibidir.



Şekil 4: İkinci model kullanılarak yapılan analizlerin grafik gösterimi

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma ile ulaştırmada talep tahmini veya diğer mühendislik optimizasyon alanlarında, yeni yaklaşımların denenmesinin ve bunların kendi aralarında kıyaslanarak sürekli daha iyi bir sonuca yaklaşımanın, bir anlamda en iyi harmoninin yakalanması çalışmalarının bilimsel olarak gerekliliğinin vurgulanması amaçlanmıştır.

Ulaştırmada talep tahmini konusu, üzerine matematik modellerin kurulmasına oldukça açık bir alandır. Bu modeller, ekonomi veya istatistik temel alanlarına dayanabilmektedir. İnsanların ve ürünlerin “daha hızlı, daha ekonomik” ulaşım talebinde olduğu çağımızda, gerekli ve yeterli arzın sağlanması, bu talebin önceden kestirilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Tahmin söz konusu olduğunda da; istatistik veriler, matematik modeller ve optimizasyon konuları akla gelmelidir. Harmoni arama yöntemi de bu optimizasyon yöntemlerinin gelişmekte olan bir dalıdır.

Müzik tabanlı bir üst-sezgisel (*meta-heuristic*) optimizasyon yöntemi olan Harmoni Arama optimizasyon yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, ulaştırma talep tahmini alanında bir kısım temel değışkenin (nüfus, gelir durumu ve otomobil sahipliliğı) ağırlığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemin sınanması amacıyla benzer alanda incelenmiş bir çalışmanın veri ve sonuçları kullanılmıştır. Yapay sinir ağırları yöntemine göre değışken katsayılarının belirlendiğı bu çalışmada bulunan sonuçlar, regresyon analizi sonucu bulunan eğrilerin eğimleri açısından kıyaslanmıştır. Sonuçta, HA yöntemi kullanılarak; yapay sinir ağırları yöntemi sonucunda oluşan eğriye göre, gerçek regresyon eğrisine daha yakın eğimli bir doğruyu belirten yani gerçek sonuçlara nispeten daha yakın olan bir bağıntı elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan birinci model β_2 katsayısının negatif çıkması sebebiyle beklenen sonucu vermemektedir. (GSYH'nin toplam yolculuk sayısına etkisinin pozitif yönde olması beklenir.) İkinci modelde ise β değışkenlerinin tamamı pozitif olmakla birlikte “GSYH” ve “otomobil sayısı” değışkenlerinin etkisinin düşük, “nüfus” değışkeninin etkisinin ise nispeten yüksek olması, kurulan bağıntının tek değışkenli davranış göstermesine sebep olmaktadır. Bulunan sonuçlar kullanılan modellerdeki karşılaştırma ölçütleri açısından değışkenlerindeki literatürdeki sonuçlara göre daha anlamlıdır. Parametre ve/veya veri sayılarının artırılması koşulu ile HA yöntemi kullanılarak daha kabul edilebilir sonuçlar elde edilebileceğı öngörülmektedir.

Kaynaklar

Ayvaz vd. (2007). Su dağıtım şebekelerinin armoni araştırması optimizasyon tekniğı ile optimum tasarımı. *5. Kentsel Altyapı Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (188-202). Hatay.

Başkan ve Haldenbilen. (2011). Stokastik Kullanıcı Dengesi Trafik Atama Probleminin Sezgisel Metotlar Kullanılarak Çözülmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (55-74).

Bo vd. (2009). Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2005). *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2009)*. “Trondheim, Norveç.

Dantzig, G.B. ve Ramser, J.M. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, (81-91).

Demir, Y., Gerçek, H. (1998), Ulaştırma Taleplerinin Yapay Sinir Ağları Yardımı ile Tahmini, *İMO 4. Ulaştırma Kongresi*.

Düzakın ve Demircioğlu. (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, (68-87).

Geem vd. (2001). A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. Simulation. *SAGE Publications*, (60-68).

Geem vd. (2005a). Application of harmony search to vehicle routing. *American Journal of Applied Sciences*, (1552-1557).

Geem Z. W. (2005b). School bus routing using harmony search. *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2005)*. Washington, D.C. ABD.

Geem, Z. W. (2006). Optimal cost design of water distribution networks using harmony search. *Engineering Optimization*, (259-277).

Geem vd. (2009). Music-Inspired Harmony Search Algorithm. *Studies in Computational Intelligence*.

Gil-Lopez vd. (2009). A Novel Heuristic Algorithm for Multiuser Detection in Synchronous CDMA Wireless Sensor Networks. *Ultra Modern Telecommunications & Workshops*, (1-6).

Landa-Torres vd. (2012). A novel grouping harmony search algorithm for the multiple-type access node location problem. *Expert Systems with Applications*.

Lee ve Geem (2004). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, (3902-3933).

Sanz vd. (2013). One-way urban traffic reconfiguration using a multi-objective harmony. *Expert Systems with Applications*, (3341-3350).

Toklu vd. (2013). Analysis of trusses by total potential optimization method. *Structural Engineering and Mechanics*, (183-199).