

Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritması (PESA) ile B-Spline Eğri Tahmini

Utku Köse¹, Erkan Ülker²

¹Bilgisayar Mühendisliği, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye
²Bilgisayar Mühendisliği, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye
utku.kose@usak.edu.tr, eulker@selcuk.edu.tr
(Geliş/Received: 28.05.2012; Kabul/Accepted: 10.09.2012)

Özet— Bilgisayarlı Modelleme alanında, literatürün araştırma konusunu oluşturan problemlerden en yaygını, eldeki veriler ışığında, istenilen eğri düzenini tahmin etmektir. Bu amaçla, farklı eğri türleri için zaman içerisinde birçok yaklaşım ve yöntem geliştirilmiş ve ilgili problemin çözümü bağlamında işe koşulmuştur. Bu çalışmada ise benzer olarak, B-Spline eğrilerinin tahmininde Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasının kullanımı öne sürülmektedir. Bu kapsamda, ters mühendislik yöntemleri ile ilgili algoritma yaklaşımlarının bir araya getirildiği bir uygulama ortamı geliştirilip, ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler— Bilgisayarlı modelleme, yapay zeka, ters mühendislik, genetik algoritma

B-Spline Curve Estimation with Pareto Envelope-based Selection Algorithm (PESA)

Abstract— Within the Computer-based Modeling field, the most common problem of the literature is estimating the desired curve order via available data. For this aim, many different approaches and methods for different curve types have been developed in time and these developed approaches and methods were used for solving the related problem. In this work, as similar to the expressed background, using the Pareto Envelope-based Selection Algorithm for estimating B-Spline curves is explained. In this context, an application environment including reverse engineering methods and the related algorithm approaches was developed and provided.

Keywords— Computer-based modeling, artificial intelligence, reverse engineering, genetic algorithm

1. GİRİŞ

Bilgisayarlı Modelleme, özellikle kullanım yerleri ve bu bağlamda problem çözüm yaklaşımları incelenip değerlendirildiği takdirde, günümüzde oldukça popüler olan alanlardan birisi olarak göze çarpmaktadır. Bilgisayarlı Modellemenin popülaritesi, bu alanın zaman içerisinde modelleme tabanlı birçok problemin çözümü aşamasında yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Bu kullanım sıklığına bağlı olarak, bünyesindeki yaklaşımlar, yöntemler ve teknikler neticesinde, farklı problemlerin daha etkili çözülebilmesi adına, birçok araştırma çalışmasının da gerçekleştirilmesine ön ayak olmuştur. Bu açıdan ele alındığı zaman, Bilgisayarlı Modellemenin günümüzde özellikle Yapay Zekâ teknikleri ile oldukça sıkı bir şekilde ilişkili olduğu değerlendirilebilir. Bu noktada, özellikle ilgili alanda çözüme ihtiyaç duyulan problemlerin çözümü aşamasında Yapay Zekâ tekniklerinin kullanımı oldukça yaygın bir durumdur.

Bilgisayarlı Modellemenin problemleri arasında, araştırma çalışmaları en çok ilgilendiren nokta, eldeki veriler ışığında, istenilen model faktörlerinin (eğriler, noktalar... vb.) ve yapılarının (örneğin; yüzeyler) tahmin edilmesi ve hatta oluşturulması olmaktadır. Konu bu açıdan ele alındığında, B-Spline, NURBs gibi eğrilerin tahmini ve hatta buradan yola çıkılarak yüzey tahminlerinde bulunulması, popüler problem çözüm yaklaşımlarından birisi olmaktadır. Konu geniş çapta, ancak konu bağlamında özel bir perspektiften ele alındığı takdirde, farklı eğri türleri için zaman içerisinde birçok yaklaşım ve yöntem geliştirildiği ve ilgili problemin çözümü bağlamında işe koşulduğu görülmektedir. Konuyla ilgili olarak, ilgi çekici farklı akademik çalışmalar, literatürde göze çarpmaktadır [1-4]. Bu çalışmada ise benzer olarak, B-Spline eğrilerinin tahmininde Yapay Zeka tekniklerinden birisi olan Genetik Algoritmaların kullanımı konusuna değinilmiş ve daha özel anlamda, özellikle çok kriterli optimizasyon aşamasında kullanılan ve Genetik Algoritma türlerinden birisi olan Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasının

kullanımı açıklanmıştır. Bu konu bağlamında, özellikle B-Spline eğri tahmininde kullanılan çeşitli ters mühendislik yöntemleri ve ilgili algoritmanın işlem adımları, uygun bir şekilde bir araya getirilerek probleme çözüm aranmıştır. Araştırma çalışmalarının somutlaştırılması ve etkili bir biçimde sunumu adına bir uygulama ortamı geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ele alınan algoritmanın, B-Spline eğri tahmini aşamasında etkili bir yaklaşım ortaya koyduğunu göstermektedir.

İlerleyen bölümler şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde, B-Spline eğri tahmini, bu aşamada izlenen ters mühendislik yaklaşımı ve Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasına değinilmektedir. Üçüncü bölümde ise, söz konusu algoritma üzerine kurulu bir şekilde geliştirilmiş olan yazılım ortamının özellikleri ve kullanım şekli ve problemin çözümü aşamasında nasıl sonuçlar ortaya koyduğu açıklanmaktadır. Son bölümde ise çalışma bağlamında ulaşılan sonuçlara değinilmektedir.

2. B-SPLINE EĞRİ TAHMİNİ VE YAPAY ZEKÂNIN BU AMAÇLA KULLANIMI

Çalışmada öne sürülen çözüm yaklaşımını daha iyi anlamak adına, problem çözümü bünyesinde ele alınan ve izlenen işlemlere değinmek oldukça önemlidir. Buna göre, ilgili çalışmanın konusunu oluşturan; “Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritması ile B-Spline eğri tahmini”, B-Spline eğri tahmininde kullanılan ters mühendislik yaklaşımlarının ve söz konusu algoritmanın kullanımını içermektedir. Bu nedenle, ilgili yaklaşımlara sırasıyla değinmek yerinde olacaktır.

2. 1. B-Spline Eğrisi Düğüm Tahmini

B-Spline eğri tahmini aşamasında, bu çalışmada işe koşulan ters mühendislik yöntemleri, düğüm tahminine dayanmaktadır. Buna göre izlenen yöntem, genel hatlarıyla, eldeki noktalar üzerine uygulanan matematiksel işlemlerin kullanıldığı ters mühendislik yöntemleriyle, düğüm noktaları verilerinin elde edilmesine dayanmaktadır. Problem çözümünün daha iyi anlaşılması adına, ilgili işlem adımları aşağıdaki gibi olmaktadır [5]:

- 1- İlk aşamada, eldeki noktalar arasından (M_u) bazıları (m) seçilir ve bu noktalardan Centripetal düğümler hesaplanır. Bu hesaplama aşağıdaki eşitsizliklere göre gerçekleştirilir:

u , her bir Centripetal düğümü göstermek üzere,

$$\overline{u}_0 = 0, \quad \overline{u}_m = 1 \quad (1)$$

$$\overline{u}_i = \overline{u}_{i-1} + \frac{\sqrt{|Q_i - Q_{i-1}|}}{\sum_{j=0}^m \sqrt{|Q_j - Q_{j-1}|}} \quad (2)$$

Burada Öklit uzaklığı;

$$|Q_i - Q_{i-1}| = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

- 2- İkinci aşamada, elde edilen Centripetal düğümlerden yararlanılarak, tahmini B-Spline düğümleri hesaplanmaktadır. Bu aşamada, aşağıdaki eşitlikten yararlanılmaktadır:

$$u_{j+p_esas} = \frac{1}{p_esas} \sum_{i=j}^{j+p_esas-1} u_i \quad j=1, \dots, m-p_esas \text{ için} \quad (3)$$

- 3- İlk iki işlem adımından sonra, artık B-Spline eğri formülü olan, $Q=P \times R$ matris düzeni kullanılarak düğüm noktalarına ulaşılabilmektedir. Bu amaçla, ifade edilen matris düzeni üzerinden P matrisi elde edilmeye çalışılır. Bu yolda öncelikli olarak, R matrisinin elde edilmesi gerekmektedir. İlgili matris, harmanlama fonksiyonlarının da kullanımı sayesinde, (N değerlerine göre) elde edilir.
- 4- R matrisinin elde edilmesi sonucunda, $Q=P \times R$ ifadesi üzerinde P matrisini yalnız bırakacak şekilde matris işlemleri uygulanabilmektedir. Buna göre, R matrisinin tersi (inversi) alındıktan sonra $Q=P \times R^{-1}$ matris işleminde yerine konularak, P matrisi elde edilir.
- 5- P matrisinin elde edilmesiyle birlikte, B-Spline eğrisinin çizimi gerçekleştirilebilmektedir. Buna göre;

$$S(u) = \sum_{i=0}^n P_i N_{i,p}(u) \quad (4)$$

- 6- Elde edilen çizim sonrası, söz konusu çizimin doğruluğu konusunda değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, ilk başta elde olan veriler ile tahmin edilen verilerden yararlanarak hata tespitinin yapılması gerekmektedir. Öklitsel hatalar toplamı olarak adlandırılan bu yaklaşım aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$Hata = \sqrt{\sum_{i=1}^{M-u} |S_i - F_i|^2} \quad (5)$$

Bu noktada, elde edilen değer, sıfır değerine ne kadar yakın olursa, noktalar o kadar iyi tahmin edilmiş anlamına gelmektedir. Bu amaçla, ilgili durma kriterlerinin (belli bir hata değeri ya da iterasyon) seçimine bağlı olarak, ifade edilen işlem adımları tekrar edilmektedir.

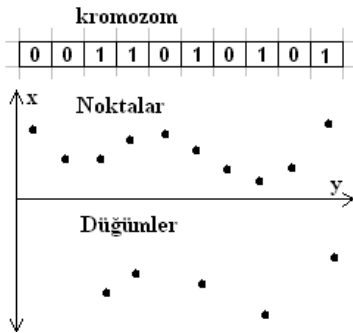
2. 2. Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasının Eğri Tahmininde Kullanımı

Daha önce de ifade edildiği üzere, izlenen yaklaşım popüler Yapay Zekâ tekniklerinden birisi olan Genetik Algoritmalara dayanmakta ve yine Genetik Algoritma

türlerinden birisi olan Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasını kullanmaktadır. Buna göre, problemin çözümü genel anlamda “Genetik Algoritma kullanılarak düğüm tahmininde bulunma” yaklaşımından yola çıkmakta, ancak Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasına dayanmaktadır. Bu nedenle, düğüm tahmininde Genetik Algoritmanın kullanımıyla ilgili olarak, bu çalışmadaki yaklaşımda da kullanılan ya da en azından çıkış noktasını oluşturan bazı kabulleri ifade etmek yerinde olacaktır.

2. 2. 1. Genetik algoritma kabulleri

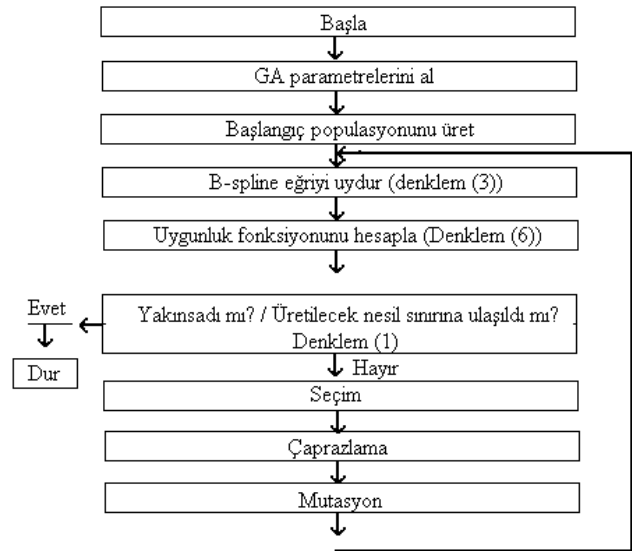
Genetik Algoritma temelli yaklaşımlarda, problemin çözümü aşamasında kullanılacak olan, kromozom yapılarının tanımlanması gerekmektedir. Yaklaşım genel olarak ele alındığında, tanımlanan popülasyon ve nesil bilgilerine göre problemin çözümü gerçekleştirilmektedir. Burada önemli olan, B-Spline düğüm tahmininde kullanılan kromozomların nasıl tanımlandığıdır. B-Spline düğüm tahmini işlem adımlarının ilkinden de anlaşılacağı üzere, tahmin işlemleri aşamasında, elde tutulan nokta verilerinden rastgele seçimler gerçekleştirilmekte ve çözüm adımlarına devam edilmektedir. Bu noktada, ikili düzende ifade edilen kromozom yapıları rastgele oluşturulduktan sonra, istenilen veriler, ikilik düzende 1'e karşılık gelenlerden seçilebilmektedir. Bu bağlamda önemli olan diğer bir husus da, tanımlanan her bir kromozomun bit sayısının, eldeki toplam nokta verilerinin sayısına eşit olmasıdır. İlgili yaklaşım Şekil 1'de ifade edilmektedir.



Şekil 1. B-Spline düğüm tahmininde kromozom tanımlaması.

Bu yaklaşım kapsamında değinilmesi gereken diğer önemli bir nokta da, düğüm tahmini aşamasında “ilk” ve “son” noktaların tanımlı olması gerekliliğidir. Buna göre, rastgele ikilik düzende oluşturulan her bir kromozomun ilk ve son bitleri 1 olmak durumundadır. Bu gereklilik de, rastgele oluşturulmuş olan her bir kromozomun, 1...000...1 şeklinde bir ifade ile “VEYA” mantıksal işlemine tabi tutulması ile giderilmektedir.

Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasının kullanımı aşamasındaki işlem adımlarını daha iyi anlamak adına, Genetik Algoritma tekniği ile izlenen, “B-Spline düğüm tahmini” işlem adımlarının gösterilmesi de önemlidir. Buna göre Genetik Algoritma ile düğüm tahmini Şekil 2'deki akış şeması kapsamında gerçekleştirilebilmektedir [5].



Şekil 2. Genetik Algoritma ile B-Spline düğüm tahmini.

Çözüm kapsamında hesaplanan uygunluk fonksiyonu işe aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [1]:

$$AIC_1 = N \log_e (\varepsilon[C(u)]) + 2(2n + k) \quad (6)$$

$$\varepsilon[C(u)]_i = \sum (C(u_i) - Y_i)^2 \quad (7)$$

B-Spline eğri ifadelerini hatırlamak adına [1];

$$C(u) = \sum_{q=0}^n c_q N_q^k(u) D_q, \quad u \in [u_{k-1}, u_{n+1}] \quad (8)$$

$$N_j^1(u) = \begin{cases} 1 & \text{if } u \in [u_j, u_{j+1}) \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$N_j^k(u) = \frac{u - u_j}{u_{j+k-1} - u_j} N_j^{k-1}(u) + \frac{u_{j+k} - u}{u_{j+k} - u_{j+1}} N_{j+1}^{k-1}(u) \quad (9)$$

Eşitlik (6) ve (7) kapsamında ifade edilen söz konusu fonksiyondan elde edilen değerlere göre veya belirli bir nesil sınırına kadar, belirtilen işlem adımları yerine getirilmektedir.

2. 2. 2. Pareto zarflama-temelli seçim algoritması

Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritması (Pareto Envelope-Based Selection Algorithm – PESA), Corne vd. tarafından öne sürülen bir genetik algoritma türüdür [6]. Çok kriterli optimizasyon aşamasında kullanılan algoritmalar arasında yer alan PESA, seçim ve çeşitliliğin korunması aşamasında bir hiper grid şemasının kullanımına dayanmaktadır. PESA kapsamında izlenen seçim yaklaşımı, popülasyonda çözümlerin bastırıldığı diğer çözümlerin derecelendirilmesine bağlı bir katsayı kullanmaktadır. Çeşitliliğin sağlanması aşamasında ise yine bütün Genetik Algoritma türlerinde olduğu gibi çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerden yararlanmaktadır [7, 8].

Popülasyon bağlamında incelendiğinde, PESA küçük bir dahili popülasyon ve genellikle bundan daha geniş bir harici popülasyon kullanarak, ele alınan problemin çözümüne ulaşmaya çalışmaktadır. Bu noktada harici popülasyon, gerçekten Pareto yüzeye o anki yakınsamayı depolayan küme niteliğinde olmaktadır. Diğer yandan, dahili popülasyon ise, ilgili kümeye girmek için mücadele veren yeni aday çözümlerden ibaret olmaktadır [7].

Anlaşılabacağı üzere, PESA kapsamında çaprazlama ve mutasyon katsayıları kullanılmaktadır. Bunların dışında ayrıca, popülasyon boyutuyla ilgili olarak iki ve hiper grid kalabalıklık stratejisi ile ilgili olarak da bir tane daha parametre, söz konusu işlem adımları kapsamında kullanılmaktadır [7].

Temel olarak PESA'nın işlem adımları aşağıdaki gibi olmaktadır [7]:

- 1- Başlangıç popülasyonunun (dahili popülasyon: IP) tüm kromozomlarını üret ve değerlendir. Diğer yandan, harici popülasyon: EP'yi boş küme olarak oluştur.
- 2- IP'nin bastırılmamış bireylerini EP'ye ekle.
- 3- Seçilen bir sonlandırma kriterine (uygunluk değeri, hata, nesil... vb.) ulaşılmışsa çalışmayı durdur ve EP'deki kromozom kümesini sonuç olarak kabul et. Aksi durumda ise, IP'nin geçerli içeriğini sil ve PI yeni aday çözümleri üretinceye kadar şu işlemleri yerine getir:

İlgili olasılık değeri ile EP'den iki ebeveyn seç, çaprazlamayla tek bir çocuk üret ve buna mutasyon uygula. Yine olasılık değeri kapsamında bir ebeveyn daha seç ve bir çocuk üretmek için buna mutasyon uygula.
- 4- 2. İşlem Adımı'na dön.

Bu çalışmada amaçlanan, B-Spline düğüm tahmininde, yukarıda ifade edilen popülasyonlar kapsamında rastgele kromozomlar (toplam nokta sayısına göre)

oluşturulmakta, kullanılacak düğümlerin seçimi ve kullanımı, yine Şekil 1 altında ve açıklanan ters mühendislik hesaplamaları ile yapılmakta, elde edilen hata değeri, ulaşılan nesil sayısı ya da yine Eşitlik (6) ve (7)'den yararlanılarak elde uygunluk değeri kriterlerine bağlı olarak, en uygun çözümü bulma adına gerekli süreç yerine getirilmektedir.

Söz konusu bu yaklaşımın daha somut bir forma kavuşması ve yaklaşımın etkinliğinin değerlendirmesi de çalışma kapsamında oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle, PESA yardımıyla B-Spline düğüm tahmininin gerçekleştirildiği bir uygulama ortamı geliştirilmiştir. Çalışmanın niteliğini anlamak adına bu uygulama ortamının özellik ve işlevlerinin açıklanması gerekmektedir.

3. PESA İLE B-SPLINE EĞRİ TAHMİNİNİN UYGULAMA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

PESA ile B-Spline eğrisi düğüm tahmininin gerçekleştirmek amacıyla, C# programlama dili yardımıyla, Visual Studio 2010 platformu üzerinde bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, verilen parametreler ve değerler ışığında, PESA yaklaşımını bazı almak suretiyle, ilgili B-Spline eğrisinin tahminini gerçekleştirmektedir. Bu noktada öncelikli olarak, geliştirilen uygulama ortamının kullanım özelliklerini incelemek, problem çözümü bağlamında yazılımın tanınması açısından önemlidir.

3.1. Yazılımın Temel Özellikleri

Geliştirilen yazılım, kolay ve hızlı bir kullanım tecrübesi sağlamak adına, uygun yapıda bir arayüz üzerinde inşa edilmiştir. Yazılım ilk çalıştırıldığında, gerekli bütün ayarlama ve işlemlerin sağlanabildiği "Giriş Arayüzü" ekrana gelmektedir. Giriş Arayüzü'nden bir ekran görüntüsü Resim 1 altında sunulmuştur.



Resim 1. Yazılım – Giriş Arayüzü.

İlgili arayüzden de anlaşılacağı üzere, yazılımın genel kullanımı, sol, orta ve sağ kesimde yer alan alanlar üzerine dayalıdır. Sol tarafta PESA algoritması ile ilgili parametrelerin yazılımının çalışma sürecine dayalı görsel işlevlerin ayarlanabildiği bazı kontroller ve gerek tahmin sürecinin başlatılması, gerekse tahmin sonrası elde edilen görsel sonuçların görüntülenmesi gibi birtakım temel görevleri yerine getiren düğmeler bulunmaktadır. Diğer yandan orta alanda, tahmin edilen “en iyi” B-Spline eğrisinin ve istendiği takdirde de ulaşılması gereken eğrinin görüntülediği alan bulunmaktadır. Son olarak sağ tarafta ise, PESA'nın çalışması esnasında, tahmin edilen değerlerin, ulaşılan hata ve uygunluk değerlerinin listelendiği ve hatta yazdırılabildiği, ilgili kontroller yer almaktadır. Söz konusu alanlar bünyesinde yer alan “ortak nitelikli” kontroller, GroupBox kontrolleri yardımıyla bir araya toplanmıştır.

Bu noktada, ilgili kontrollerin birçoğu, yazılımın gerek görsel, gerekse işlevsel yönleri üzerine dayalı olduğundan, daha detaylı bir şekilde incelemeye alınmayacaktır. Bunun yerine, çalışmanın esas konusunu oluşturan PESA algoritmasının, bu yazılım üzerinde nasıl çalıştırıldığı açıklanacak ve gerektiği takdirde, bu süreç dahilinde kullanılan spesifik kontrollerin işlev ve özelliklerine değinilmiş olacaktır.

3.2. Yazılımın Kullanımı: B-Spline Eğrisi Düşüm Tahmini

B-Spline eğrisi düşüm tahmininde bulunmak için, Giriş Arayüzü'nde sunulan ilgili alanlarda, istenilen PESA parametreleri belirtilmekte ve ardından “PESA Çalıştır” düğmesi aracılığıyla algoritma çalıştırılmaktadır. PESA algoritması bağlamında belirtilen parametreler, sırasıyla “Popülasyon Sayısı”, “Nesil Sayısı”, “Çaprazlama Oranı” ve “Mutasyon Oranı” olmaktadır. İlgili değerler, yazılımın sol üst kısmında yer alan, “PESA (Algoritma) Seçenekleri” başlıklı alan altından ayarlanmaktadır. Varsayılan değerler, Popülasyon Sayısı=10, Nesil Sayısı=50, Çaprazlama Oranı=(%)20 ve Mutasyon Oranı=(%)30 şeklindedir. Söz konusu parametreler ayarlandıktan sonra, tahmin süreci “PESA Çalıştır” düğmesine tıklamak suretiyle başlatılmaktadır.

PESA algoritması üzerine kurulu yapıda olan yazılım, B-Spline eğrisi düşüm tahmininde kullanılacak olan gerekli verileri bir .TXT dosyasından okumaktadır. Bu dosya içerisinde ilk iki satır sırasıyla “eğri derecesini” ve “toplam nokta sayısı” değerlerini belirtmekte, geriye kalan satırlar ise ilgili noktaların X ve Y eksenleri üzerindeki değerlerini belirtmektedir. İlgili dosyadan bir ekran görüntüsü Resim 2’de sunulmaktadır.

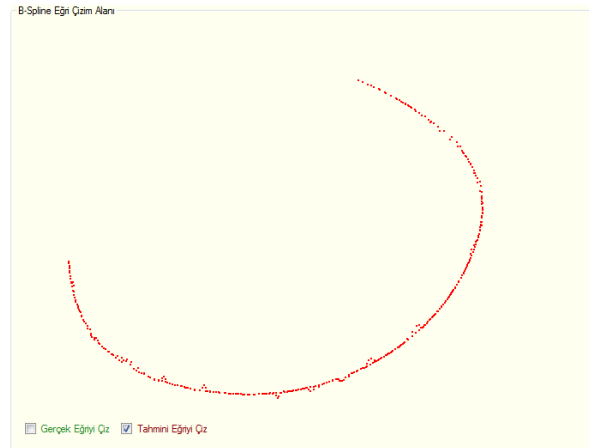
```

noktalar.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
P=3
M_u=200
502, 235
511.638394666667, 239.266416666667
520.878357333333, 243.544933333333
529.727056, 247.83445
538.191658666667, 252.133866666667
546.279333333333, 256.442083333333
553.997248, 260.758
561.352570666667, 265.080516666667
568.352469333333, 269.408533333333
571.004112, 271.74095
581.314666666667, 278.076666666667
587.291301333333, 282.414583333333
592.941184, 286.7536
598.271482666667, 291.092616666667
603.289365333333, 295.430533333333
608.002, 299.76625
612.416554666667, 304.098666666667
616.540197333333, 308.426683333333
620.380096, 312.7492
621.943418666667, 311.065116666667
627.237333333333, 321.373333333333
630.269008, 325.67275
633.045610666667, 329.962266666667
635.574309333333, 334.240783333333
637.862272, 338.5072
639.916666666667, 342.760416666667
641.744661333333, 346.999333333333
643.353424, 351.22285
644.750122666667, 355.429866666667
645.941925333333, 353.619283333333
646.936, 363.79
647.739514666667, 367.940916666667

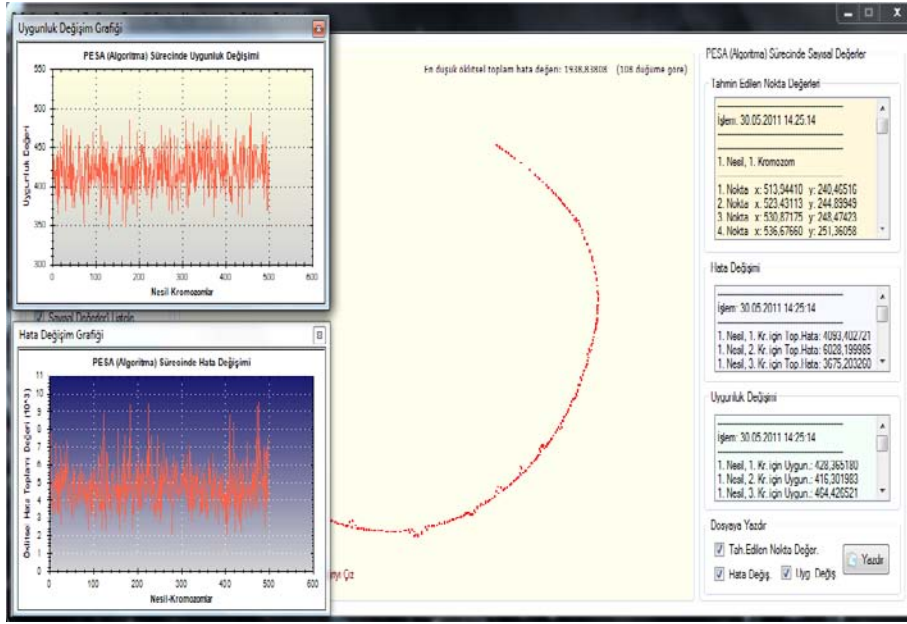
```

Resim 2. Nokta verilerinin tutulduğu .TXT dosyasının içeriği.

“PESA Çalıştır” düğmesine tıklandıktan sonra, yazılım bu dosyanın içeriğini okuyup, gerekli verileri almakta ve daha önce açıklanan yaklaşımlar kapsamında tahmin sürecine başlamaktadır. Tahmin sürecinin işleyişi, sol taraftaki alanda yer alan ve sırasıyla “Nesil” ve “Pop.” Etiketleri altında sunulan, genel nesil değerlendirme sürecini ve her nesil altında popülasyon değerlendirme sürecini gösteren ProgressBar kontrolleri yardımıyla izlenebilmektedir. Ayrıca bu süre zarfında, nesiller ve ilgili kromozomlar bağlamında tahmin edilen eğrinin gösterimi, eş zamanlı olarak orta alanda sunulmaktadır. Süreç sırasında görüntülenen bir eğri görüntüsü Resim 3 altında sunulmaktadır.



Resim 3. PESA süreci esnasında tahmin edilen bir eğri çizimi.



Resim 4. PESA süreci sonunda genel görünüm.

Süreç sona erdiğinde, orta alanda en az hata değeri ile elde edilmiş olan eğri çizimi görüntülenmekte, sağ alanda yer alan kontroller altında, her nesil ve popülasyon altında tahmin edilen koordinat değerleri, hata değerleri, uygunluk değerleri listelenmekte ve genel hata ve uygunluk değerlerinin değişimi, iki farklı grafik altında otomatik olarak gösterilmektedir. Kullanıcı dilerse, orta alanda yer alan ilgili kontrolleri kullanarak, hem gerçek hem de en iyi tahmin edilen eğrileri aynı anda görüntüleyebilmektedir.

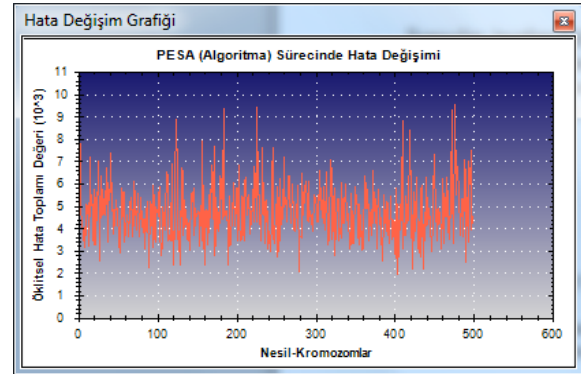
Yazılımın etkinliğini görmek adına, örnek olarak varsayılan değerler (Popülasyon Sayısı=10, Nesil Sayısı=50, Çaprazlama Oranı=(%)20 ve Mutasyon Oranı=(%)30) için PESA çalıştırılmıştır. Süreç sonrası elde edilen genel görünüm Resim 4'teki gibidir:

Sonuçlar incelendiğinde; orta alanda çizilen eğri, 1938,83808 değerinde bir Öklitsel toplam hata ($m=108$ düğüme göre) ile elde edilmiştir. İlgili değer, 41. nesil, 4. kromozom için elde edilmiştir. Söz konusu değerler ışığında elde edilmiş olan Hata Değişim ve Uygunluk Değişim grafikleri ise, daha büyük ölçekte, Resim 5 altında gösterilmektedir.

Daha önce de ifade edildiği üzere, süreçle ilgili daha detaylı bilgi, her eğri tahmininde elde edilen X ve Y koordinatlarının, her nesil ve kromozom için elde edilen hata değerlerinin ve yine her nesil ve kromozom için elde edilen uygunluk değerlerinin listelendiği, ilgili kontroller altından elde edilebilmektedir.

Giriş Arayüzü'nün sağ alanında yer alan ve "PESA (Algoritma) Sürecinde Sayısal Değerler" başlığı ile sunulan bu kısımda, yine belirtildiği gibi, gerekli veriler dosyaya (.TXT) formatında da yazdırılabilmektedir. Resim 6, örnek uygulamada elde edilen en iyi değerlerin

söz konusu olduğu, 41. nesil 4. kromozomun, ilk 32 nokta için taşıdığı koordinat değerlerini gösteren, ilgili .TXT dosyası içeriğini sunmaktadır.



Resim 5. PESA süreci sonunda "Hata Değişim" ve "Uygunluk Değişim" grafikleri.

Nokta	x	y
1. Nokta	517,02594	241,80714
2. Nokta	520,58840	243,41460
3. Nokta	523,96710	244,97236
4. Nokta	528,80338	247,36396
5. Nokta	536,73793	251,47264
6. Nokta	548,14123	257,53080
7. Nokta	559,45747	263,75913
8. Nokta	566,58444	268,09101
9. Nokta	569,47717	270,39711
10. Nokta	571,76101	272,30064
11. Nokta	576,28964	275,09410
12. Nokta	581,25423	278,03887
13. Nokta	584,69095	280,38684
14. Nokta	588,07956	283,03868
15. Nokta	593,11405	286,96538
16. Nokta	599,10620	291,76585
17. Nokta	604,35898	296,44844
18. Nokta	608,37587	300,47164
19. Nokta	612,04780	303,81419
20. Nokta	616,14710	306,62215
21. Nokta	620,47804	309,72792
22. Nokta	624,55262	314,15879
23. Nokta	628,18850	320,18864
24. Nokta	631,62079	327,06238
25. Nokta	635,08175	333,97040
26. Nokta	638,40090	340,33081
27. Nokta	641,13832	345,71572
28. Nokta	643,02179	350,01061
29. Nokta	644,42556	354,26559
30. Nokta	645,85370	359,73881
31. Nokta	647,32703	366,27837
32. Nokta	648,40279	372,37624

Resim 6. Örnek uygulama kapsamında, 41. nesil 4. kromozom için elde edilen ilk 32 noktanın koordinat değerlerine ilişkin .TXT dosyası içeriği.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, B-Spline eğri tahmini kapsamında, Genetik Algoritma türlerinden birisi olan Pareto Zarflama-Temelli Seçim Algoritmasının (Pareto Envelope-Based Selection Algorithm – PESA) kullanımı açıklanmıştır. Söz konusu eğrinin düğüm tahmini aşamasında, ifade edilen ters mühendislik yaklaşımları ve PESA işlem adımları bir araya getirilmiştir. Eğri tahmini noktasında, Genetik Algoritma tekniği kapsamındaki işlem birimi olarak tanımlayabileceğimiz kromozomlar, tahmin noktasında kullanılacak rastgele noktaların belirtilmesi ve değerlendirme sokulması amacıyla işe koşulmuştur. PESA kapsamındaki farklı popülasyon ve parametrik yaklaşımlar da, çoklu kriter optimizasyonu problemlerinde kullanılan bu algoritmanın, eğri tahmini düzeyinde de değerlendirilmesi yolunda kullanılmıştır. Genel olarak, öne sürülen yöntemin etkinliğini göstermek adına, sunulan veri noktalarından B-Spline eğrisi düğüm tahminini gerçekleştiren bir uygulama ortamı geliştirilmiştir. Elde edilen PESA süreç değerleri göstermektedir ki; C# programlama dili temelli bir yazılım olarak sunulan bu uygulama ortamı, verilen nokta bilgilerine bağlı olarak, uygun B-Spline eğrisinin noktalarının ve dolayısıyla çiziminin, etkili bir biçimde elde edilmesini sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Galvez, A. Iglesias, J. Puig-Pey, "Iterative two-step genetic-algorithm-based method for efficient polynomial B-spline surface reconstruction", *Information Sciences*, vol.182,56-76, 2012.
- [2] A. Galvez, A. Iglesias, "Particle swarm optimization for non-uniform rational B-spline surface reconstruction from clouds of 3D data points", *Information Sciences*, vol.192,174-192, 2012.
- [3] E. Ülker, A. Arslan, "Automatic knot adjustment using an artificial immune system for B-spline curve approximation", *Information Sciences*, vol.179,1483-1494, 2009.
- [4] E. Ülker, A. Arslan, "The calculation of parametric NURBS surface interval values using neural networks", *Lecture Notes in Computer Science*, vol.3992,247-254, 2006.
- [5] E. Ülker, **Yapay Zeka Teknikleri Kullanılarak Yüzey Modelleme**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi – Elektronik Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye, 2007.

- [6] D. W. Corne, J. D. Knowles, M. J. Oates, "The Pareto Envelope-based Selection Algorithm for Multiobjective Optimization", **6th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature**, Paris, France, 2000.
- [7] T. Sağ, **Çok Kriterli Optimizasyon için Genetik Algoritma Yaklaşımları**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi – Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye, 2008.
- [8] A. Konak, D. W. Coit, A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial", *Reliability Engineering and System Safety*, vol.91,992-1007, 2006.