

## Dijital fotogrametride yapısal görüntü eşleştirme

**Taner ÜSTÜNTAŞ\***, **Oğuz MÜFTÜOĞLU**, **Zekai ŞEN**

*İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

### Özet

*Görüntü eşleştirme algoritmaları bugüne kadar istatistiksel yaklaşımla problemi çözmeye çalışmıştır. Burada yeni bir yaklaşım denenmiş ve uzman sistem tanımlaması yapılmıştır. Bu çalışmada bulanık mantık tabanlı görüntü eşleştirme algoritması önerilmiştir. Yapılan çalışma bulanık mantığın fotogrametrik amaçlı bir uygulamasıdır. Resim ve üzerindeki modeli tanımlayan kontrol noktalarını eşleştirmek için bulanık bir algoritmayla birlikte yazılım geliştirilmiştir. Bulanık mantık algoritması bulunacak hedefin topolojik ve geometrik özelliklerinin uygunluğunu belirlemektedir. Hedefin yaklaşık koordinatları civarında yazılım, tanımlanan hedefi aramakta ve en doğru işaretleme yapılacak yerin kararını vermektedir. Bu metot için resim yaklaşık yöneltme elemanları bilinmesi ve değerlendirilen görüntülerin örtüşmeli olması gerekir. Doğruluk, bilinmeyenlerin doğruluğuna bağlıdır.*

**Anahtar Kelimeler:** *Bulanık mantık, görüntü işleme, yapısal görüntü işleme.*

### Structural image matching in digital photogrammetry

#### Abstract

*The human vision system can be adapted easily to the insufficient data of the vision information. We can not describe that the size color and shape of an object correctly digital every time. We use fuzziness tools for describing the ambiguity. Fuzzy Logic Image processing has been used for describing this fuzziness of the results of the human brain. The location of the corner and location of the edge of the object have been recognized in gray values of pixels also classified of gray values of pixels. Answers of these questions have been considered, as fuzzy logic algorithm of image processing must have been used for in image processing algorithms. Image matching algorithms have been used for problem solving by statistical approaches. Herein, a new approach has been suggested and expert systems have been defined. In this study, image matching which is based on fuzzy logic algorithms is recommended. This is photogrammetric application based on fuzzy logic methodology. In order to solve the matching problem between an image patch and the model, a control point description is developed and a software is prepared based on fuzzy logic algorithm. This technique determines the corresponding topological and geometrical relations features of target. Software searches near the target and estimates the true pixel coordinates. This method requires some a-priori information like approximate orientation parameters and image overlap. Accuracy depends on the accuracy of a-priori information.*

**Keywords:** *Fuzzy logic, image matching, structure image matching.*

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: **Taner ÜSTÜNTAŞ**, [ustuntas@itu.edu.tr](mailto:ustuntas@itu.edu.tr); Tel: (212) 285 63 27.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Dijital fotogrametride yapısal görüntü eşleştirme" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 24.03.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 04.01.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Görüntü eşleştirme, dijital fotogrametri ve Computer Vision (CV) çalışmalarının temel konularındandır. Eşleştirme algoritmalarını üç ana gruba ayırabiliriz (Lemmens, 1988). Bunlar,

1. Alan-Bazlı Eşleştirme (ABE),
2. Şekil-Bazlı Eşleştirme (ŞBE), ve
3. Yapısal-Eşleştirme (YE) dir.

ABE, farklı görüntü üzerindeki alanların grilik değerlerinin benzerliğini bulmak için kullanılır. Çapraz korelasyon eşleştirme ve en küçük kareler yöntemiyle eşleştirme yöntemleri ABE’de kullanılan yöntemlerdir. Bu uygulamayı yapabilmek için çok hassas olarak resim bilinmeyenlerinin bulunması gerekir.

ŞBE’de iki görüntü arasında benzerlik bulunmaya çalışılır. Nokta eşleştirme de dijital fotogrametride çok kullanılmaktadır (Greenfeld ve diğ., 1991; Tang ve Heipke, 1993; Schenk, 1997). Bu yöntemin uygulanabilmesi için çok hassas resim bilinmeyenlerinin hesaplanması ve görüntülerin bindirmeli çekilmiş olması gerekir. Yapısal bazlı eşleştirme olan CV de uzman sistem olarak tanımlanır, (Haralick ve Shapiro, 1993). Bu sistem, görüntüler arasında topolojik ve geometrik benzerlikleri belirlemede kullanılır (Haralick ve Shapiro, 1993). Vosselman ve Haala (1992) de bu yaklaşımı fotogrametride görüntü içerisindeki kontrol noktalarının belirlenmesinde kullandı. Daha sonra Wang (1994) ve Braess (1997)’de fotogrametrik uygulamalarda kullandılar. Yukarıda bahsedilen metotlar, istatistiksel yöntemlere dayanmaktadır. Yapılan çalışmada uzman sistemler olarak bilinen, bulanık mantık tabanlı çözüm önerilmiştir.

## Bulanık mantık

Gerçek dünya bulanıktır. Görüntü, gerçek dünyanın algılayıcıdaki izdüşümüdür. Bulanıklık ve müphemlik değerlerinin duru, katı ve özel durumu, Aristo mantığıdır. Dolayısı ile bulanık mantık, Aristo mantığını kapsar.

İnsan görme sistemi veriler ve bilgilerdeki bilinmeyenlere kolaylıkla uyum sağlayabilir. Bir

nesnenin sayısal olarak nasıl bir cisim olduğunu, rengini ve şeklini tam olarak tanımlayamayız. Kesin ifadeler yerine daha bulanık ifadelerle tanımlarız. Bulanık görüntü işlemleri, insanın yaptığı sezgisel mantık çıkartımını kullanabilmek içindir.

Gri piksel değerlerinde köşenin nereden başladığı, bulanık bir nesnenin kenarının nerede olduğu, pikselin hangi sınıfa ait olduğu, sorularının cevabı görüntü özelliklerini bulanık olarak düşünmek zorunda olduğumuzu gösterir. Bu problemleri birbirine geçişli kuralları sezgi veya hesap ile ortaya koyarak, görüntü üzerinde eşikleme, sınıflandırma işlemleri ile çözebiliriz.

Son zamanlarda bulanık mantık, kontrol teorisindeki kadar görüntü işleme konusunda da gelişmiştir (Bezdek, 1981; Pal 1983; Pal ve Rosenfeld 1988; Kundu ve Chaudhuri 1993; Russo ve Ramponi 1995; Nakamura 1996; Tizhoosh ve Michaelis 1998; Looney 2000; Karmakar ve Dodey 2002). Bu gelişmeler olurken, bulanık mantık iki konuda eleştirilmiştir. Matematiğin esasları bulunmadığı ve hiçbir şey olmadığı ama gizlice ihtimaller teorisini içerdiği öne sürülmüştür. Bulanık mantık ve ihtimaller teorisi şüphesiz benzerdir. Bunlar aynı değildir, ama tamamlayıcıdır.

Bulanık sistemin iki temel bileşeni, bulanık kümeler ve bu kümelerin işlemleridir. Bulanık mantık tanımladığı işlemcilerle bulanık kümeler üzerinde kurallar tanımlar, (Zadeh, 1965). Bulanık kümeler klasik kümelerin genel halidir. Bulanık kümedeki her A elemanı için, ayrı bir üyelik değeri  $\mu_A(x)$  belirlenir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (1)$$

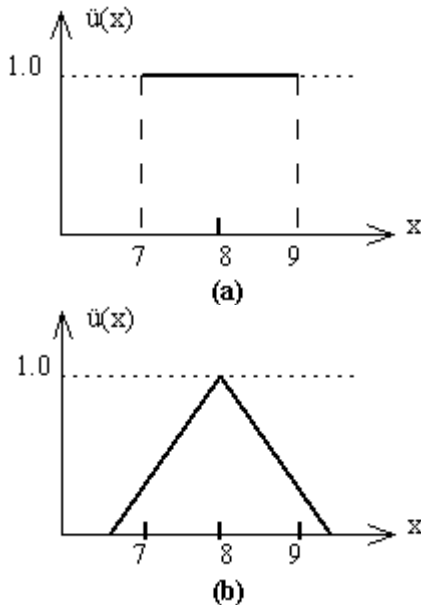
Burada,  $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ . Değişkenin alabileceği üyelik değeri 0 ile 1 arasındadır. Bulanık küme üçgen, yamuk, Gauss eğrisi vb. seçilebilir. Bu seçim tamamen uzman kişinin tercihidir. İşlem kolaylığı açısından genellikle üçgen kümeler seçilir. Bulanık kümelerin üyelik dereceleri aşağıdaki üç şartı sağlamak zorundadır (Şen, 2001).

1- Kümeye ait en büyük üyelik derecesi 1 olmalıdır.

2- Bulanık kümenin monoton olması istenir ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağdaki ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.

3- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik dereceleri birbirine eşit olmalıdır ki, buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi klasik ve bulanık kümenin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır.



Şekil 1. a) klasik küme b) bulanık küme

Üyelik derecelerinin toplamı 1 olmak zorunda değildir.

$$\mu_A(x) + \mu_B(x) + \dots \neq 1 \quad (2)$$

Zadeh (1975) tarafından açıklanan bulanık kümelerin genel gösterimi, bulanık görüntü işleme için uygundur. Klasik X kümesinin elemanları  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  şeklinde gösterilirken, A bulanık kümesi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_{i1}} \quad (3)$$

Bulanık küme sürekli olması durumunda, 3 eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} dx \quad (4)$$

Her iki gösterimde de bölme işareti bölümü göstermez. Pay üyelik derecesini, payda küme elemanını ifade eder. Artı işareti toplamı ifade etmez, küme öğelerinin topluluğunu ifade etmek içindir. Denklem (4)'deki entegral işareti topluluğu gösterir.

### Bulanık görüntü

R, 8 bitlik gri görüntünün boyutları MxN olsun. Her bir piksele ( $x_{mn}$ ) karşılık bir üyelik derecesi ( $\mu_{mn}$ ) atansın (Pal ve Majumder, 1986).

$$R = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \frac{\mu_{mn}}{x_{mn}} \quad (5)$$

Bir piksele karşılık gelen bulanık üyelik derecesi komşu piksel değerleri kullanılarak da hesaplanabilir (Tizhoosh ve Michaelis 1998).

Bulanık görüntü işleme, doğrusal (lineer) olmayan görüntü işleme metodlarına benzemektedir. Bu görüntü işleme metodu ile diğerleri arasındaki fark, üyelik dereceleri üzerinde işlem yapılmasıdır. Bu işlemin ilk adımı da bulanıklaştırma. Görüntü bulanıklaştırma, genel olarak, üç şekilde yapılır. Bunlar Şekil 2'de gösterildiği gibi, gri seviyede histogramı bulanıklaştırma, piksel komşuluk değerleriyle bulanıklaştırma veya özellikleri bulanıklaştırma şeklinde yapılabilir.

### Üyelik derecesi üzerinde yapılan işlemler

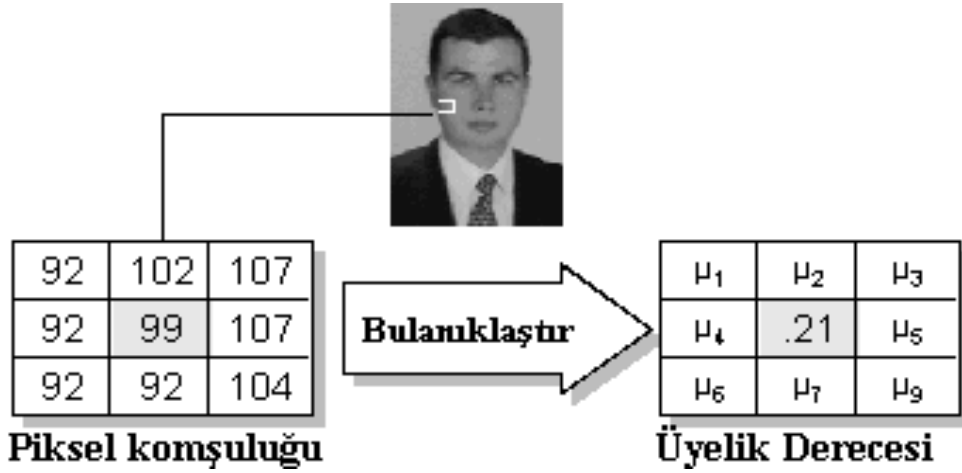
Üretilen üyelik değerleri uygun bulanık mantık yaklaşımları ile değiştirilebilir. Kural tabanlı bulanık mantık işlemleri EĞER-İSE kuralları ile yapılır.

Harmanlama: İSE'den sonra çıkan kuralların harmanlanarak genel bir çıkartımın elde edilme-

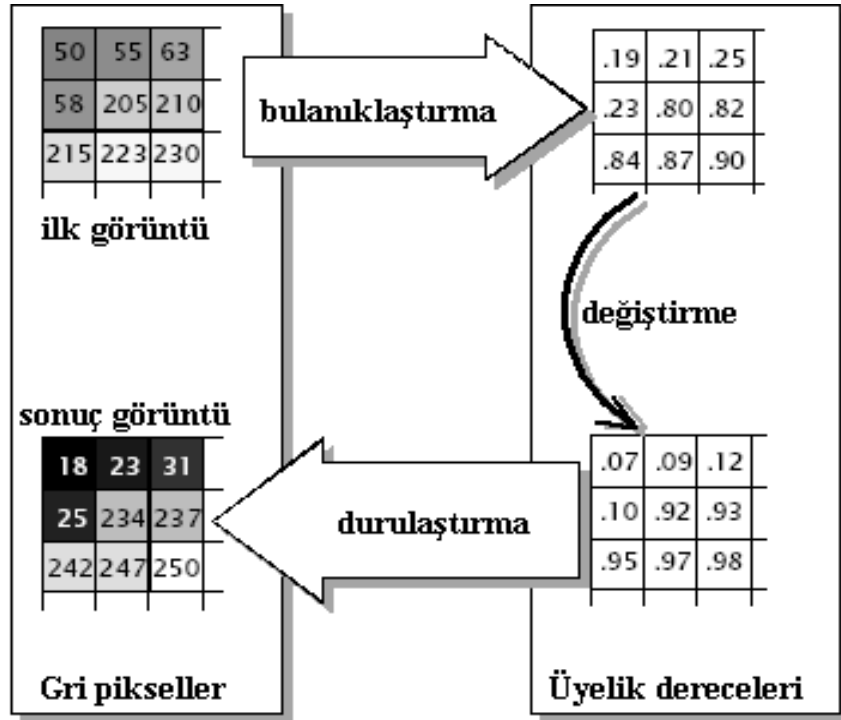
si işlemidir. Oluşabilecek iki uç noktayı belirleyebilmek için, “ve” bağlacını kullanarak kesişim kümesi elde edilerek, “veya” bağlacı kullanılarak birleşim kümesi elde edilerek yapılır (Vadiee, 1993).

Değiştirme: Üyelik derecesini değiştirme basamakları Şekil 3’te gösterilmektedir. Bu değiştirmeye örnek olarak, sözel eşikler ve uzaklığa bağlı değiştirmeler verilebilir. Bu işlem sonucunda herbir bulanıklaştırılan özelliğin yeni bir üyelik derecesi olur.

Sınıflandırma: Bulanık sınıflandırma metodu, girdi verilerinin sınıflandırılmasında kullanılır. Bu amaçla, sayısal yaklaşım (bulanık sınıflandırma algoritması, bulanık toplamlar, vb.) veya yapay yaklaşım (EĞER-İSE kuralları vb.) kullanılabilir. Üyelik derecesinin elde edilmesine göre, sınıflandırma, değiştirme veya harmanlama işlemi gibi görülebilir. Sonuç Çıkartma: Girdi değere göre EĞER-İSE yapısı kullanılarak sonuç kümenin nasıl oluşacağını belirleme işlemidir.



Şekil 2. Piksel komşuluklarını kullanarak bulanıklaştırma

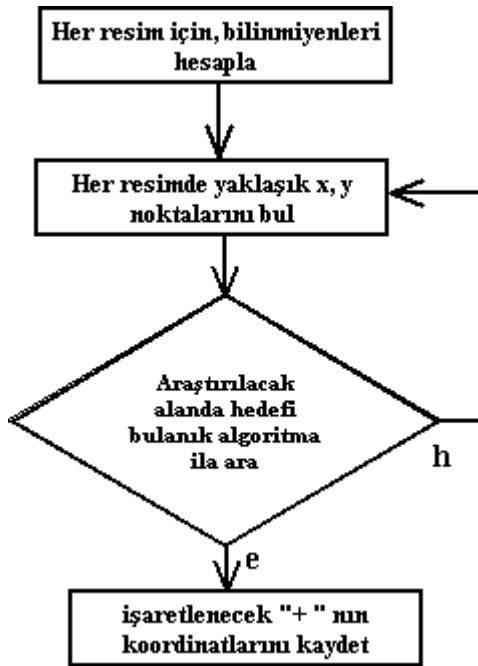


Şekil 3. Değiştirme tabanlı bulanık görüntü işleme

## Dijital fotogrametride yapısal eşleştirme

Test amaçlı bir çalışma maketi oluşturulmuştur. Bu maket üzerinde 21 nokta vardır ve her bir noktanın hassas olarak koordinatları belirlenmiştir. Resim bilinmeyenlerinin çözümü bu noktalara göre yapılmaktadır.

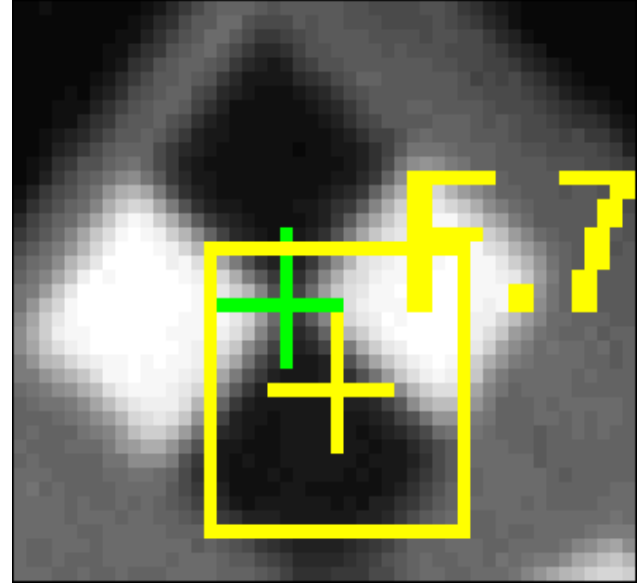
Bu çalışmada FM (Fuzzy Measurements) isimli Visual C++ programı yazılmıştır. Program 3 ana bölümden oluşmaktadır. Program fuzz.dll, bulanık mantık işlemlerinin yapıldığı dinamik kütüphane, matlib.lib, matris işlemlerinin yapıldığı statik kütüphane, fotogrametrik işlemlerin yapıldığı hesap.lib statik kütüphaneden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntem, sisteme eğitim ve renk bilgisi girildiğinde, bu noktanın civarındaki bölge içinde işaretleme yapılacak uygun nokta olup olmadığına karar veriliyor. Programın genel akış şeması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. FM akış şeması

Şekil 5'de işleme giren kare bölge ve algoritmanın bulunduğu yer gösterilmiştir. Bilinen noktalara göre resimler yöneltilip, bir hedef noktası civarına işaretledikten sonra diğer resimlerde de hedefin yaklaşık koordinatlarını bulur. Bu nokta civarı bulanık mantık algoritmasıyla taranır ve

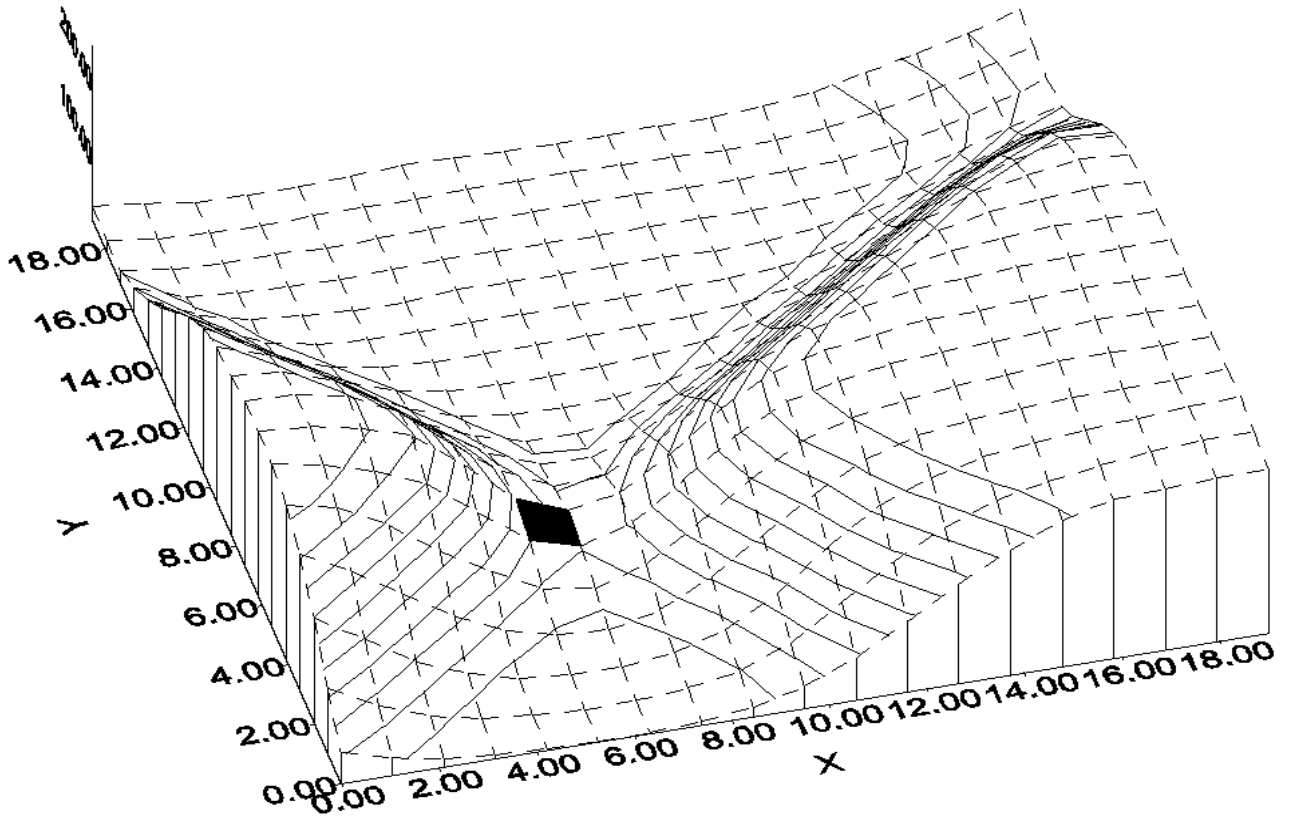
tanımlanan geometriye uyan bir şekil varsa, bu şeklin en uygun yerine işaretleme yapmak üzere koordinatlarını kayıt eder. Hedef nokta civarında F.7 noktası tıklanılmıştır. F.7 noktası etrafında çizilen kare ve ortasındaki artı işareti ile gösterilen alan içindeki pikseller işlem kümesini göstermektedir. İki siyah ve iki beyaz bölgenin kesiştiği yerdeki ikinci "+" ise, bulanık algoritmanın bulunduğu yerdir. Algoritmanın doğruluğu tüm test noktaları işaretlenerek test edilmiştir.



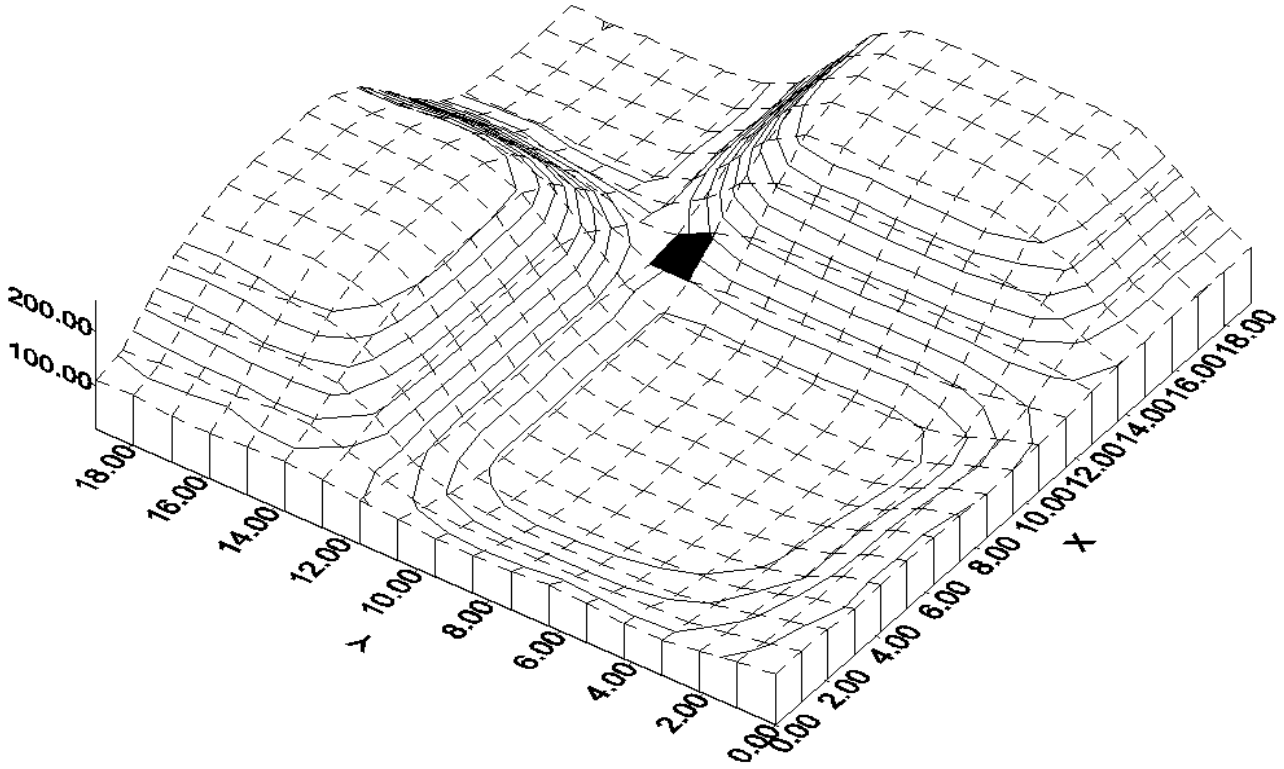
Şekil 5. İşlem kümesi ve bulanık algoritmanın doğru hedefi bulması

Noktanın kesin yerinin belirlenmesi için görüntüdeki piksel ve bu piksellerden türetilen eğim değerleri kullanılmıştır. Piksel grilik değerleri ile türetilen eğim değerleri lineer bağımlı değildir. Bu nedenle iki veri de anlamlıdır ve bulanık mantık girdileri olarak kullanılabilirler. Şekil 5 deki görüntü, Z eksenini piksel parlaklık değerleri alınarak 3 boyutlu hale getirilmiştir. Şekil 6 ve 7'de görünen üç boyutlu model yardımıyla bulanık mantık kuralları belirlenmiştir.

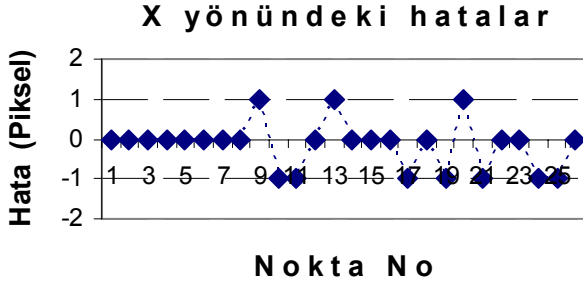
Resimde kullanılan 21 noktanın yedi tanesi bilinen nokta yani kontrol noktası olarak kabul edilmiştir. 13 nokta bulanık mantık algoritması ile hesaplanmıştır. İki tane test resmi kullanıldığı için algoritmanın bulacağı koordinat sayısı 26'dır. Şekil 8 ve 9 algoritma ve gerçek değerlerle farkı gösteren grafiklerdir.



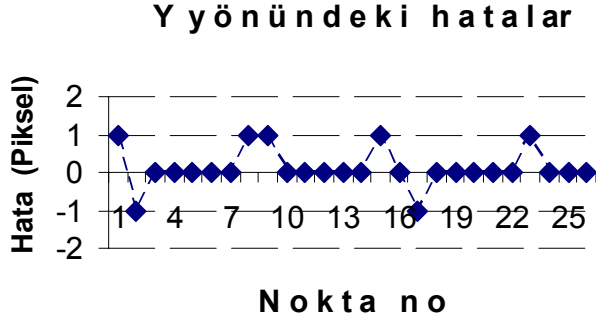
Şekil 6. Test resmi 3.bmp için bulanık algoritma çözümü



Şekil 7. Test resmi 10.bmp için bulanık algoritma çözümü



Şekil 8. Bulanık algoritmanın x yönünde hatası



Şekil 9. Bulanık algoritmanın y yönünde hatası

## Sonuçlar

Algoritma, sırasıyla x ve y yönündeki doğrulukları, 3. test resmi için %54, %62, 10. test resmi için %77, %85 ihtimalle  $\pm 1$  piksel hatayla bulunmuştur. Bu algoritma ile işaretleme hızlı ve yeterli doğrulukta yapılabilmektedir. Yukarıdaki değerlendirmelerin özetini aşağıdaki gibi yapabiliriz.

- 1- Bu algoritma, tecrübeli operatör kadar doğru işaretleme yapılabilmektedir.
- 2- Operatörün yapabileceği hatalardan algoritma arındırılmıştır.
- 3- Hassas işaretleme yapabilmek için resmi büyütme zorunluluğu yoktur.
- 4- Ölçek ve dönüklük parametrelerinden bağımsız işlem yapmaktadır.
- 5-Görüntü bilinmeyenlerinin doğruluğu algoritmanın başarısını belirler.

## Kaynaklar

- Ackermann, R., (1983). High precision digital image correlation. In: *Proceedings of 39th Photogrammetric Week*. Institute of Photogrammetry, University of Stuttgart, 231-243.
- Bezdek, J.C., (1981). Pattern recognition with fuzzy

objective function algorithms, Plenum, New York.

- Braess, M., (1997). Strukturbasierte Merkmalsszuordnung in kurzen stereoskopischen Videosequenzen. Ph.D. dissertation, Technical University Aachen, Publication of the Geodetic Institute, No. 54, 119.
- Greenfeld, J.S., Schulte-Hinsken, S., Schulte-Hinsken, S., Müller, W., (1991). A strategy for automated stereo model orientation using a feature-based matching procedure, *Proceedings of the 1991 ASPRS Annual convention*, 131-140.
- Haralick, R.M., Shapiro, L.G., (1993). Computer and robot vision, **II**, Addison-Wesley, New York.
- Karmakar Gour C., Dooley Laurence S., (2002). A generic fuzzy rule based image segmentation algorithm, *Pattern Recognition Letters*, 23, 1215-1227.
- Kundu P., Chaudhuri B.B., (1993). Fuzzy geometric feature-based texture classification, *Pattern Recognition Letters*, 14, 825-832.
- Lemmens, M., (1988), A survey on stereo matching techniques, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 27, B3, 11-23.
- Looney Carl G., (2000). Fuzzy and rule-based image convolution, *Math. and Computers in Simulation*, 51, 209-219.
- Li, M., (1988). High precision relative orientation using feature based techniques, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 27, B3, 456-465.
- Nakamura A., (1996), 'Continuous' functions on fuzzy digital pictures, *Pattern Recognition Letters*, 17, 557-563.
- Pal S.K., King R.A., Hashim A.A., (1983). "Automatic gray level thresholding through index of fuzziness and entropy", *Pattern Recognition Letters*, 1, 141-146.
- Pal, S. K. ve Dutta Majumder, D., (1986). Fuzzy mathematical approach to pattern recognition. New York: John Wiley & Sons.
- Pal S.K., Rosenfeld A., (1988). Image enhancement and thresholding by optimization of fuzzy compactness, *Pattern Recognition Letters*, 7, 77-86.
- Russo F., Ramponi G., (1995). A fuzzy operator for the enhancement of blurred and noisy images, *IEEE Transactions on Image Processing*, 4, 8, 1169-1174.
- Schenk, T., (1997). Towards automatic aerial triangulation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52, 3, 110-121.
- Şen, Z., (2001), Bulanık mantık ve modelleme ilkelere, Bilge Kültür Sanat Basımevi, 172 sayfa.
- Tang, L., Heipke, C., (1993). An approach for auto-

- matic relative orientation. In: Gruen, A., Kahmen, H. (Eds.), *Optical 3D Measurement Techniques II*. Wichmann-Verlag, Karlsruhe, 347-354.
- Tizhoosh, H., Michaelis, B., (1998). Improvement of image quality based on subjective evaluation and Fuzzy aggregation techniques. In *EUFIT'98*, Aachen, Germany, **2**, 1325–1329.
- Vadiee, N. (1993). Fuzzy rule-based expert systems – I Fuzzy logic and control: software and hardware applications, *Prentice Hall*, 51-85.
- Vosselman, G., Haala, N., (1992). Erkennung topographischer Paßpunkte durch relationale Zuordnung. *Z. Photogramm. Fernerkd.* **6**, 170-176.
- Wang, Y., (1994). Strukturzuordnung zur automatischen Oberflächenrekonstruktion. Ph. D. dissertation, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Verfahren zur automatischen gegenseitigen Orientierung der digitalen Bilder. *Z. Photogramm. Fernerkd.*, **3**, 122-130.
- Zadeh, L. A., (1975). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning, *Information Science*, **8**:199–249.
- Zadeh, L.A., (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, **8**, 338-353.